



---

---

# ВЕСТНИК

Белорусского  
Государственного  
Университета  
Транспорта

---

---

## НАУКА и ТРАНСПОРТ

---

---

2/2023



ВЕСТНИК  
Белорусского  
Государственного  
Университета  
Транспорта

---

Научно-практический журнал

---

НАУКА  
и ТРАНСПОРТ

№ 2(47)/2023

«ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ»

Научно-практический журнал № 2 (47) 2023 года

Издается с апреля 2000 года

Выходит один раз в полугодие

Учре д и т е л и:

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

Главный редактор *Ю. И. КУЛАЖЕНКО*

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

Редакционная коллегия:

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

Ответственный секретарь *Т. А. ВЛАСЮК*

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

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

На белорусском и русском языках

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

Подписано в печать 28.12.2023 г. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman.  
Печать цифровая. Усл. печ. л. 10,23. Уч.-изд. л. 10,34. Тираж 100 экз. Изд. № 59. Зак. № 2618.

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

© Оформление. БелГУТ, 2023

# ВЕСТНИК БелГУТа: НАУКА И ТРАНСПОРТ

Научно-практический журнал

2023. № 2 (47)

## СОДЕРЖАНИЕ

Ерофеев А. А., Васильев А. А. К юбилею Либаво-Роменской железной дороги. История становления и развития .....	4
<b>АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ</b>	
Медведев Д. Д., Хоменко С. И., Жигалин И. О. Определение первичных параметров элементов ЖАТС с ферромагнитными компонентами .....	11
Комнатный Д. В. Потенциальные коэффициенты системы тонких бесконечно длинных проводников в трехслойной диэлектрической среде .....	14
<b>АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ</b>	
Миленский В. С., Круглый П. Е., Круглый С. П. Анализ составных частей эргономической системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда» .....	19
<b>ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС</b>	
Поддубный А. А., Печенев Е. В. Инженерные решения автомобильного наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под максимальную осевую нагрузку до двух тонн .....	25
Поддубный А. А., Демидович И. С. Предложения по организации работ в полевых условиях при изготовлении элементов конструкций быстровозводимых мостов .....	28
Романенко В. В., Ковтун П. В., Власенко А. О. Исследование эффективности применения составных деревянных шпал .....	32
Васильев А. А., Кабышева Ю. К. Прогнозирование карбонизации бетонов классов по прочности на сжатие С12/15–С50/60 для различных эксплуатационных условий .....	35
Ковтун П. В., Осипова О. В., Биндюк С. А. Особенности строительства и эксплуатации железнодорожных путей необщего пользования в стесненных условиях .....	38
Ковтун П. В., Дубровская Т. А., Кравченко Н. Н., Никитин Е. В., Шабан Д. С. Оценка интенсивности бокового износа головки рельса в криволинейных участках пути .....	43
<b>ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ</b>	
Галушко В. Н., Мирош Д. В., Громыко И. Л., Монархович И. Е. Совершенствование конструкции асинхронного двигателя с помощью 3D-моделирования электромагнитных и тепловых процессов .....	49
<b>ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА</b>	
Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Кебиков А. А. Самооценка производственных процессов выпуска железнодорожной продукции .....	54
Кулаженко Ю. И., Зайчик В. С., Кебиков А. А. Дистанционные методы проведения процедур при подтверждении соответствия и опыт их применения .....	58
Кузнецов В. Г., Ерофеев А. А., Килочицкая М. А., Литвинова И. М., Захаревич А. А. Структурно-иерархические подходы к системе разработки комплексного плана транспортного обслуживания населения региона .....	62
Федоров Е. А., Кузнецов В. Г., Килочицкая М. А., Литвинова И. М., Дубина Ю. В. Процессный подход к системе разработки комплексного плана транспортного обслуживания населения регионов Республики Беларусь .....	67
Бородина Е. В., Кол С. Н. Практико-ориентированный подход к организации проектной деятельности .....	75
Юницкий А. Э., Шебзухов Ю. А., Покульницкий А. Р. Влияние внешних факторов на вероятность возникновения резонанса в системе «струна – подвижной состав» .....	79
<b>ПОДГОТОВКА КАДРОВ</b>	
Гришанкова Н. А. Анализ типичных ошибок в понимании глагольных устойчивых словосочетаний при чтении научно-технических текстов .....	83



УДК 656.2

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

## К ЮБИЛЕЮ ЛИБАВО-РОМЕНСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ. История становления и развития

Рассмотрена история становления и развития Либаво-Роменской железной дороги. Приведены технические и экономические параметры дороги. Представлена основная деятельность Либаво-Роменской дороги за 1871–1894 гг. Рассмотрено влияние Либаво-Роменской дороги на развитие Гомельщины.

**Введение.** Строительство Либаво-Роменской железной дороги в значительной степени изменило и ускорило развитие промышленности, городов, рыночных отношений на белорусских землях.

Либаво-Роменская железная дорога состояла из трех участков: Либавского, Калкунского и Роменского.

Либавский участок – длиной 294 версты, Калкунский – протяженностью 186 верст, Роменский – протяженностью 711 верст.

Длина главного пути – 1191,19 версты. Общее направление линии от Либавы к Ромнам – на юго-восток.

**Пропускная и провозная способность дороги и структура подвижного состава.** Первые паровозы, поступившие на Ландварово-Роменскую железную дорогу, были построены на иностранных заводах, в основном Борзинга и Шварцкопфа в Германии. В 1873 г. на Ландварово-Роменскую железную дорогу поступили первые 6 товарно-пассажирских паровозов российского производства, изготовленные на Невском заводе (Санкт-Петербург), а в 1877 г. товарные паровозы Коломенского завода. В дальнейшем на Либаво-Роменской железной дороге преобладали паровозы, построенные в России на Невском, Коломенском и Брянском заводах [1].

На Ландварово-Роменской пассажирские поезда обслуживались паровозами ПБ (завода Борзиг, Германия), ПР (Невского завода), ПВ (Коломенского); товарные ТБ (завод Борзиг), ТР (Невского), ПК, ТВ (завода Струге).

Ландварово-Роменская железная дорога серию паровозов обозначала двумя буквами: первая – род службы (П – пассажирский, Т – товарный, М – маневровый), а вторая – завод-изготовитель.



Рисунок 1 – Пассажирский паровоз П.35 № 478 Либаво-Роменской железной дороги, построенный на Коломенском машиностроительном заводе в 1879 г.

До перехода в казенное управление пропускная способность в главном грузовом направлении, т. е. от Ромна к Либаве, представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Пропускная способность Либаво-Роменской ж. д.

Участок	Поезд	Количество поездов	Количество вагонов при зимнем составе
Ромны – Бахмач	Почтовый	1	12
	Товарно-пассаж.	1	15
	Воинский	1	20
	Товарный	7	196
Бахмач – Гомель	Почтовый	1	12
	Воинский	2	40
	Товарный	9	252
Гомель – Минск	Почтовый	1	12
	Воинский	2	40
	Товарный	9	252
Минск – Вилейка	Почтовый	1	12
	Пассажирский	1	8
	Воинский	2	40
	Товарный	13	364
Комедар – Радзивиличи	Почтовый	1	12
	Воинский	2	40
	Товарный	13	364
Калкуны – Радзивиличи	Товарно-пассаж.	1	15
	Воинский	1	20
	Товарный	7	196
Радзивиличи – Либав	Почтовый	1	12
	Товарно-пассаж.	1	15
	Воинский	2	40
	Товарный	16	448

Таким образом, дорога могла доставлять в Либаву 448 груженых вагонов в сутки. После перехода дороги в казенное Управление быстро увеличивающееся коммерческое движение выявило неподготовленность дороги к выполнению предъявляемых к ней требований по перевозке грузов. Вследствие этого были произведены крупные работы по увеличению пропускной способности дороги и по переустройству и развитию путей на станциях для увеличения их приемоспособности, что позволило увеличить приемную и пропускную способность дороги в главном грузовом направлении от Ромна к Либаве (таблица 2).

Таблица 2 – Пропускная способность Либаво-Роменской ж. д. после реконструкции

Участок	Наименование поездов	Зима		Лето	
		Количество поездов	Количество вагонов	Количество поездов	Количество вагонов
Ромны – Бахмач	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	1	28	1	33
	Товарный	8	224	8	264
Бахмач – Гомель	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	2	56	2	66
	Товарный	14	392	14	462
Гомель – Минск	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	2	56	2	66
	Товарный	14	392	14	462

Окончание таблицы 2

Участок	Наименование поездов	Зима		Лето	
		Количество поездов	Количество вагонов	Количество поездов	Количество вагонов
Минск – Вилейка	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	2	56	2	66
Кошелар – Радзивиличи	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	2	76	2	90
Калкуны – Радзивиличи	Пассажирский	1	15	1	15
	Почтовый	1	28	1	33
	Воинский	1	20	1	25
Радзивиличи – Либава	Пассажирский	1	8	1	9
	Почтовый	1	11	1	12
	Воинский	2	76	2	90
	Товарный	15	570	15	675

После перехода Либаво-Роменской железной дороги в казенное управление развитие ее средств выразилось в увеличении числа паровозов, механических средств дороги в мастерских, в усилении существующих водокачальных машин новыми.

Инвентарное число паровозов увеличившись в 1878–1879 гг. до 287 не подвергалось изменениям до 1891 г., когда после назначения 10 пассажирских паровозов на Полесские дороги, трех – на Балтийскую и 30 товарных паровозов – на Сибирскую дорогу, а также с зачислением в инвентарь Либаво-Роменской железной дороги 39 четырехосных паровозов Брянского завода и 5 паровозов Т-III число паровозов на 1 января 1896 г. достигло 288, из них 29 товарных паровозов подлежали сдаче в 1896 г. в инвентарь Сибирской дороги.

Число пассажирских вагонов, увеличившись в 1878 г. до 232, до 1894 г. включительно подвергалось незначительным изменениям и только в 1895 г. возросло до 264 вагонов.

Число товарных вагонов, увеличившись в 1878 г. до 5089 шт., также подвергалось крайне незначительным изменениям и на первое число 1896 г. достигло 5728 вагонов.

На 1 января 1896 г. числилось 288 паровозов (из них пассажирских – 46, товарных трехосных – 203, четырехосных – 39); вагонов пассажирских – 264, товарных – 5728 [2].

Паровозы, применявшиеся с 1877 г. на Либаво-Роменской дороге, могли водить товарные поезда весом до 2300 пудов, состоящие из 23–40 двухосных вагонов, нагруженных до 600 пудов каждый при весе тары около 400 пудов. В конце XIX в. была начата эксплуатация товарных вагонов с повышенной грузоподъемностью до 1800 и даже 2400 пудов груза [3].

На Либаво-Роменской, равно как и на других частных железных дорогах, пассажирские и товарные вагоны были собственностью предприятия. Вместе с тем взаимодействие этих дорог осуществлялось посредством объединенного вагонного парка на основе «Общего соглашения о взаимном пользовании товарными вагонами» [4]. На практике это означало, что, сдавая определенное количество исправных вагонов другой дороге, владельцы магистрали получали обратно столько же исправных вагонов. Эти правила

были впервые разработаны в России. Всё это избавляло грузоотправителей от необходимости перегружать товары из вагонов одной дороги в вагоны другой.

Либаво-Роменская железная дорога осуществляла перевозки преимущественно по своей линии в собственных вагонах, но были и исключения. Так, 71 версту (от станции Кошелары до Вилейки) поезда Либаво-Роменской железной дороги проходили по линии Петербурго-Варшавской железной дороги, за что последняя взysкивала плату по особому тарифу. В свою очередь с 1887 г. поезда Полесских железных дорог проходили по участку между станцией Гомель-Новобелица и по мосту через реку Сож Либаво-Роменской железной дороги общей протяженностью в 4,5 версты, за что вносили плату [5]. В 1889 г. было принято соглашение об условиях передачи вагонов со сборными грузами по станции Гомель-Полесский и той же станции Либаво-Роменской железной дороги. Такие грузы Либаво-Роменская железная дорога грузила в отдельный вагон своего состава.

За время эксплуатации Либаво-Роменской железной дороги Казенным управлением выполнены следующие основные работы:

- построена при Либавских мастерских деревообделочная мастерская по образцу Гомельской;
- возведены чугунно-литейная и трубная при Гомельских мастерских;
- построены новые паровозные здания на ст. Радзивиличи, Минск и Сновск, всего на 14 столб в дополнение к существующим;
- устроены новые пункты водоснабжения на ст. Калкуны, Сновск и Семеновка.

Подразделения и учреждения Либаво-Роменской железной дороги: железнодорожные мастерские в Гомеле, Либаве (рисунок 2) и Минске; депо (Ново-Вилейск, Ромны); лаборатория дороги; магазинная служба; 13 школ, 7 училищ, курсы по подготовке агентов служб движения для подготовки специалистов по ремонту и эксплуатации дороги и подвижного состава; библиотеки служащих в Минске (при Управлении дороги), Гомеле, Бахмаче; пенсионная касса служащих; ссудо-сберегательная касса служащих; общество вспомоществования служащим.

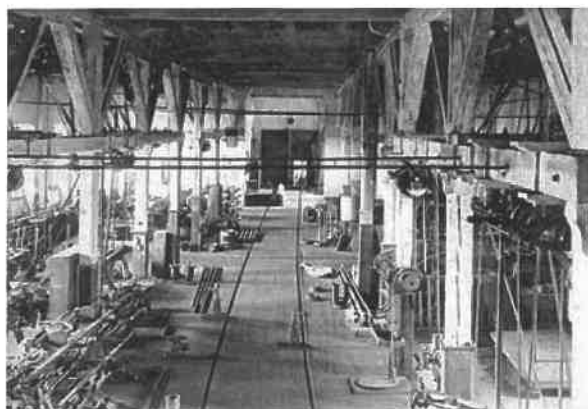


Рисунок 2 – В одном из цехов мастерских Либаво-Роменской железной дороги в Либаве

**Экономика и тарифы.** В таблице 3 приведена основная деятельность Либаво-Роменской железной дороги за 1871–1894 гг.

Таблица 3 – Сводная таблица основной деятельности Либаво-Роменской железной дороги за 1871–1894 гг.

Параметр	Год														
	1871	1872	1873	1874	1875	1876	1877	1878	1879	1880	1881	Либаво-Роменская			1881
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Железная дорога	Либавская														
Длина главного пути, версты	294	294	480	455	480	711	480	711	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191
Количество поездо-верст	85286	517568	626652	530872	802655	2039215	884745	2356716	3094298	1072772	5532216	5069549	4421942	4275004	
Количество паровозо-верст	139866	604754	850099	1095773	1132335	2912778	1246178	3295735	3296560	5773962	8234912	8357058	6196356	6012407	
Количество перевезенных вагоно-осе-верст	1845623	10071840	14300121	15593158	23180082	64678257	26573047	87102313	111046883	169673047	239452740	247850586	197325908	208018277	
Количество перевезенных частных пассажиров, военных чинов, рабочих, переселенцев и проводников, чел.	27380	121715	188508	177455	290461	484815	296244	537720	732257	888812	1160611	987130	970674	1060861	
Количество перевезенного багажа, товаров большой скорости, частных, военных, служебных и попутных предметов и животных, пудов	381760	3185980	6288996	7489850	9271087	25084538	11802955	26686971	38120736	70818586	82006692	91128129	70473263	61190344	
Валовой доход, руб.	54646,13	305079,37	505821,19 <sup>1/2</sup>	578686,40	673837,74 <sup>1/2</sup>	2657628,11	818630,21 <sup>1/2</sup>	3059487,47	3928536,32 <sup>1/2</sup>	70000561,88	8855670,27	8727961,65	6316134,09	6872153,51	
Эксплуатационные расходы, руб.	124301,44 <sup>1/2</sup>	435229,74	525110,45	670591,48	900162,64	2027727,10	1020408,16 <sup>1/2</sup>	2476098,75	3414292,74 <sup>1/2</sup>	5103840,68	7222538,49	8014869,39	7291654,46	5838256,91	

Окончание таблицы 3

Параметр	Год														
	1882	1883	1884	1885	1886	1887	1888	1889	1890	1891	1892	1893	1894	1894	28
1	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Железная дорога	Либаво-Роменская														
Длина главного пути, верст	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191	1191
Количество поездо-верст	4838169	5566064	5194992	4933755	4145817	4856311	6135046	5500616	4958027	5670948	4875681	5878910	7053747		
Количество паровозо-верст	6730613	7705687	7220455	6708951	5711425	6634119	7805511	7093708	6460307	7363411	6354038	7677492	9113341		
Количество вагоно-осе-верст	252245448	303619199	284255668	272202033	217578581	272223019	364352798	321013036	288122512	317649564	270418764	326511746	418124800		
Количество перевезенных частных пассажиров, военных чинов, рабочих, переселенцев и проводников, чел.	1064367	1080642	1114560	1096571	1184867	1097572	1127216	1137015	1085019	1269535	1286690	1348309	1368590		
Количество перевезенного багажа, товаров большой скорости, частных, военных, служебных и попутных предметов и животных, пудов	72934763	84026188	76617232	75691463	64888453	82166210	109943224	154053963	129368485	109039348	106559476	127518514	157300322		
Валовой доход, руб.	8434754,76	10338484,45	9510840,24	9213281,60	7528002,73	8533729,56	10979397,91	10704805,80	9959685,09	10746795,31	9667697,81	11442452,65	13522205,69		
Эксплуатационные расходы, руб.	6069422,50	6835505,45	6445181,42	3035181,10	6319912,42	6160042,25	6823251,50	7469916,91	7372800,20	7812256,41	5910474,60	6432427,52	7648134,57		

Анализ таблицы 3 показывает, что в 1876–1879 гг. доходы превышали эксплуатационные расходы; в 1880 г. доход значительно упал, дав недовыручку в 975 520 руб. 37 коп., что было вызвано уменьшением перевозки хлебных продуктов, произошедшим вследствие неурожая губерний района Либаво-Роменской дороги.



Рисунок 3 – Форменная пряжка служащего Либаво-Роменской железной дороги

С 1881 г. доход дороги снова поднялся, постепенно вырастая до 1886 г., когда выручка вновь значительно упала из-за того, что из Курского района в Севастополь был установлен тариф в 1/67 коп. с пуда и версты, тогда как на перевозку такого же груза в Либаву существовала пудоверстная ставка в 1/55 коп., вследствие чего грузы приняли другое направление.

Хотя по ходатайству Либаво-Роменской дороги и Либавского биржевого комитета были допущены некоторые тарифные понижения на перевозку грузов из Курска в Либаву, это оказалось недостаточным, и влияние Севастопольского тарифа отразилось на деятельности дороги и в 1887 г.

С урожайного 1888 г. выручка снова поднялась и осталась почти в таком состоянии до 1891 г.

Следует заметить, что за это время доходы дороги значительно превышали эксплуатационные расходы. Но, так как стоимость дороги по статистическим сведениям Государственного контроля за 1891 г. в сумме рублей кредитных 93 007 345 и 56 коп., превышения доходов не хватало как для уплаты 5 % по акциям и облигациям и 0,1 % на погашение, так и для удовлетворения других обязательств дороги.

1 мая 1891 г. Либаво-Роменская железная дорога перешла во владение казны. В первые два года после перехода дороги в казенное управление доходность ее не увеличивается, но причиной этого следует считать повсеместный неурожай 1891 г. и уменьшение хлебных перевозок вследствие запрещения вывоза хлеба за границу.

В 1893 и 1894 гг. деятельность дороги настолько увеличилась, что с этого времени Либаво-Роменскую дорогу следует причислять к числу доходных. Это подтверждается данными из «Пояснительной записки к отчету Государственного контроля за 1894 г.», где указано, что избыток дохода на Либаво-Роменской дороге после покрытия платежей по основным капиталам составил в том году 1 655 870 руб.

Следует заметить, что доходность дороги зависит исключительно от перевозки грузов малой скорости;

пассажирское же движение, мало изменяясь, на колебания доходности, не влияет.

В качестве примера, вся перевозка по Либаво-Роменской дороге в поездах большой и малой скорости, за исключением пассажиров, составила: в 1892 г. – 106 559 476 пудов; в 1893 г. – 127 518 514; в 1894 г. – 157 300 322 пуда. Около 60 % всех перевозимых грузов составили грузы, прибывшие с чужих дорог или проследовавшие транзитом.

Главнейшим предметом перевозки стали хлебные грузы (около 40 % всех перевозок), причем на 59,5 млн пудов хлебного груза, прибывшего в 1894 г. на Либаво-Роменскую железную дорогу с других дорог, приходится лишь 8 млн пудов, отправленных со станций своей дороги, т. е. около 14 % всего количества. Следующим по важности предметом перевозки, явились лесные материалы и дрова (около 7 %), отправляемые исключительно со станций Либаво-Роменской железной дороги. Из остальных грузов, следующих транзитом по Либаво-Роменской железной дороге, можно отметить еще соль, составившую 3 % всех перевозок.

Несмотря на непрерывное увеличение коммерческого грузооборота, финансовое положение Либаво-Роменской железной дороги сложно назвать стабильным. Сезонная перевозка хлебных грузов в экспортный Либавский порт не обеспечивала магистраль устойчивым источником дохода. Работу Либаво-Роменской магистрали определял односторонний характер грузопотока в направлении Либавского порта. В сторону от Вилейки к Ромнам подавляющее большинство вагонов шли порожними, что значительно снижало прибыль от экспортных перевозок [6]. Кроме того, в борьбе за привлечение экспортируемого хлеба Либаво-Роменская магистраль была вынуждена вести напряженные «тарифные войны» с конкурирующими Курско-Киевской линией и Юго-Западными железными дорогами [7]. С этой целью правление Либаво-Роменской железнодорожной линии устанавливало заниженные тарифы на перевозку хлеба, что вело к прямым убыткам, так как на ее акционерный капитал не распространялась правительственная гарантия. Снижение доходности обозначенных дорог требовало увеличения правительственных выплат по гарантийным обязательствам. Поэтому для урегулирования конкуренции при перевозке хлебных грузов МПС в период с 1880 по 1887 г. инициировало проведение целого ряда конференций, сопровождавшихся подписанием договоров между тремя вышеназванными железнодорожными обществами. Однако заключаемые между экспортными магистралями соглашения о распределении грузопотоков и согласованности действий в тарифной политике не носили обязательный характер и часто нарушались [8]. Это было вызвано тем, что до принятия в 1889 г. имевшего силу закона Временного положения о железнодорожных тарифах и об учреждениях по тарифным делам тарифы на железных дорогах России складывались под воздействием сложившегося соотношения сил между многочисленными частными железнодорожными обществами и вмешательство правительства в их дела носило номинальный

характер. Пересмотр тарифов правительством в 1889 и 1893 гг. был осуществлен в интересах российских аграриев, а также в целях активизации хлебного экспорта. Установившиеся в результате дифференцированные железнодорожные тарифы (понижение провозной платы с увеличением расстояния) значительно укрепили положение землевладельцев Черноземного центра России, а также южных частей Черниговской и Полтавской губерний [9].

Устойчивый рост пассажирских перевозок по Ливаво-Роменской железной дороге не приносил ощутимых доходов до 1894 г. За 1877 г. было перевезено 887 756 чел., в 1882 г. – 996 245 чел., в 1889 г. – 1 177 463 чел., 1896 г. – 1 312 528 и в 1899 г. – 2 114 323 пассажира.

В 1877 г. пассажиры III класса составляли 93 % от общего числа, II класса – 6 % и I класса – лишь 1 %.

С февраля 1879 г. на железной дороге устанавливалась единая оплата за проезд. Билет в вагон I класса обходился пассажиру 3 руб. 75 коп.; II класса – 2 руб. 81 коп., III класса – 1 руб. 43 коп. с версты. Из-за высокой платы за проезд средний пробег одного пассажира в 1882 г. не превысил 81 версты, а процентное соотношение занятых мест ко всем местам в вагоне составило в среднем 25,4 %. Таким образом, более половины пассажиров ездили лишь на расстояние до 50 верст и лишь 6 % ездили более чем за 3,00 верст [10]. Процентное же отношение дохода от перевозки пассажиров к общей сумме валового дохода не превышало 10,63 %. Среди причин такого положения вещей можно назвать высокие тарифы и бедность населения.

В этой ситуации единственно правильное решение – установление системы гибких скидок при увеличении проезда одного пассажира. Руководство МПС вняло требованиям населения, и с 1 декабря 1894 г. были введены новые пассажирские тарифы на всех казенных железных дорогах. Предполагалось, что начиная со 100 верст пробега тариф понижается на 50 %. Благодаря реформе пассажирские тарифы были уменьшены на 60–70 % без снижения доходности от пассажирских перевозок. Дальнейший рост пассажирского движения открыл возможность еще понизить тарифы.

Финансовое положение Ливаво-Роменской железнодорожной линии с самого начала оказалось весьма сложным. Расчеты фон Мекка на значительное увеличение перевозок по Ландварово-Роменской железной дороге из украинских и белорусских губерний в направлении экспортного Ливавского порта оказались ошибочными. Большинство грузов, минуя Ливаво-Роменскую магистраль, уходило в Кенигсберг [11]. Ливавский порт, в отличие от прусских, оказался не приспособлен для обслуживания крупнотоннажных судов (был слишком мелким).

И без того непростое положение компании усугублялось финансовыми махинациями, которые осуществляло ее правление. В частности, заключались крайне убыточные для железной дороги контракты с российскими и иностранными заводами по поставке рельсов и подвижного состава по ценам на 30–40 % выше рыночных [12]. С целью личного обогащения фон Мекк продал еще пригодные для эксплуатации

железные рельсы со всей дороги в металлолом, заменив их стальными, которые приобретал по завышенным расценкам [13]. «Откаты» правлению общества за такие сделки составляли миллионные суммы.

В 1881 г. все акции наследников К. Ф. фон Мекка были приобретены группой предпринимателей во главе с А. Заком за 4 млн руб. Правительство, осведомленное о фиктивном характере действовавшего до этого акционерного общества Ливаво-Роменской дороги, проявило заинтересованность в действительной реализации акционерного капитала. Новые держатели контрольного пакета планировали примерно половину акций сразу реализовать на западных фондовых рынках, а остальные ценные бумаги через 5 лет, после того, как финансовое положение дороги улучшится, разместить в России. В состав правления Ливаво-Роменской железной дороги был введен правительственный директор, который мог наложить запрет на любое решение акционеров, вступающее в противоречие с государственными интересами [14]. Несмотря на принятые меры, эта дорога ни разу не вышла из правительственной гарантии по облигационному капиталу и ее долг государству к моменту выкупа в 1891 г. вырос до 58 785 тыс. руб.

Правительство приобрело в свою собственность акции выкупленной компании и таким образом устранило от управления делами прежних хозяев. Выкупленные акции бывшей Ливаво-Роменской компании обменивались на 4%-е правительственные облигации. В дальнейшем на государство переходили все долги и финансовые обязательства упраздненного общества, в том числе уплата процентов и погашения по облигационным капиталам. В ходе выкупа железных дорог Министерству финансов пришлось списать безнадежный долг бывшей частной компании на сумму в 58 784 074 руб. Вместе с тем с бюджетной точки зрения данная выкупная операция была удобна для государства. Выплата выкупной компенсации правительственными 4%-ми облигациями, выпущенными взамен 5%-х бумаг ликвидированного акционерного общества, требовала от государства значительно меньших расходов на оплату процентов. Переход в государственную собственность Ливаво-Роменской магистрали создал новый прецедент в соответствующей практике. Особенностью процесса национализации данной железной дороги стало то, что Министерство финансов высчитало из причитающейся акционерам компенсации сумму оставшихся долговых обязательств бывшего акционерного общества [15].

**Гомельщина.** Третий участок – до Гомеля длиной в 141,3 версты – открылся 17 ноября 1873 г. Четвертый – до Бахмача (184 версты) – 12 января 1874 г. (рисунок 4).

Л. А. Виноградов, автор книги «Гомель: Его прошлое и настоящее. 1142–1900 г. (Москва, 1900 г.), отмечал: «Проведение в 1873 г. через Гомель Ливаво-Роменской железной дороги и пятнадцатью годами позже, Полесской железной дороги, привлекло в город многих предпринимателей, вызвало основание банков, контор и заводов, а вместе с тем изменила крестьян-

ско-обывательский характер старого Гомеля на торговый и маклерский».

В пределах Гомеля линию Либаво-Роменской железной дороги прокладывали по самой западной окраине тогдашнего города. На участке от нынешней улицы Полесской и до современного железнодорожного вокзала пришлось делать насыпь, так как

местность здесь была низменная, кое-где даже болотистая. Справа и слева отсюда тянулись настоящие болота, известные под названием Горелое болото. За Моховым переездом в районе Лещинской улицы, грунт, наоборот, плавно срезали, чтобы по почти незаметному склону подвести линию железной дороги к реке Сож.

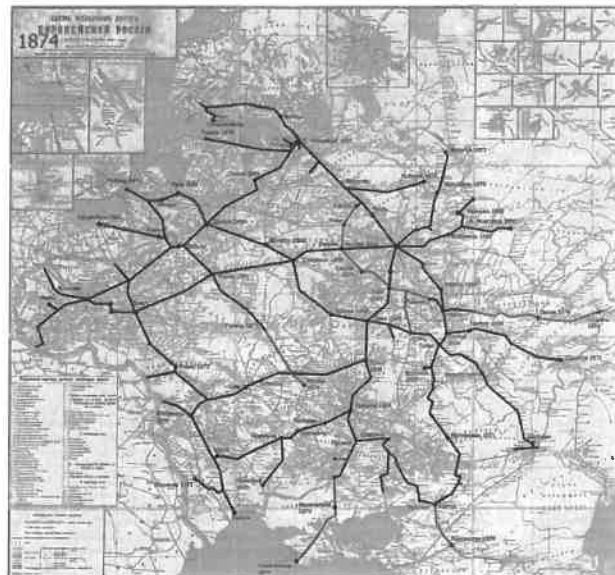
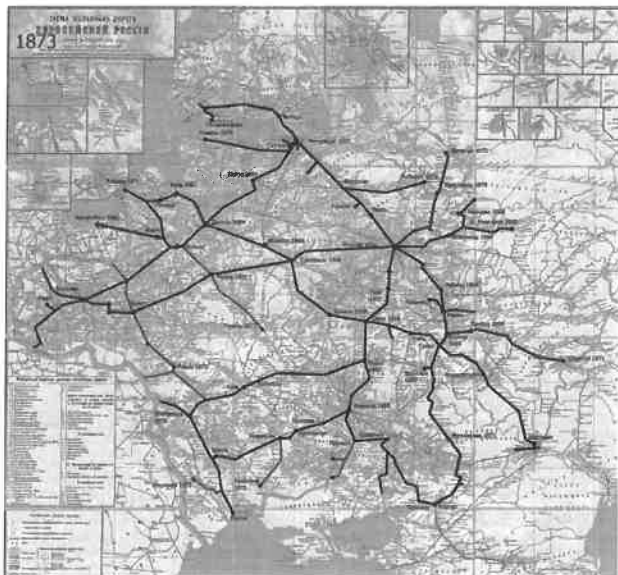


Рисунок 4 – Карта Европейской части России с нанесенными участками развития Либаво-Роменской железной дороги

Вскоре после 1873 г. к западу от линии Либаво-Роменской железной дороги начал формироваться так называемый Залинейный район. Здесь поселились главным образом железнодорожные служащие и мастера.

Название железной дороги обусловило возникновение наименования одной из дореволюционных гомельских улиц – Либавской. Последняя начала формироваться после 1873 г. и была ориентирована от вокзала в направлении на север параллельно линии Либаво-Роменской железной дороги. Слева от

улицы располагались товарная станция и Либаво-Роменские железнодорожные мастерские (прообраз будущего вагоноремонтного завода). А далее было Горелое болото. Улица росла быстро, застраивалась жилыми домами для железнодорожных рабочих, обсаживалась деревьями. Благоустройство ее зависело полностью от железнодорожных служб. К началу XX века Либавская улица дошла почти до самой сортировочной станции на северной окраине Гомеля (рисунки 5, 6).



Рисунок 5 – Либавский вокзал в Гомеле, начало XX века

На рисунке 7 – здания главных механических мастерских Либаво-Роменской железной дороги, которые и стали прообразом Гомельского вагоностроительного завода. Гомельский вагоностроительный завод был основан еще в 1874 г. При этом главные ремонтные мастерские для ее обслуживания начали

строить еще раньше – в 1871 г. К декабрю 1873 г. уже имелись паровозосборочный, вагонный, кузнечный, чугуно-литейный, колёсный, токарно-инструментальный и деревообделочный цехи. Территория в пятнадцать с лишним гектаров точно соответствовала тому, что завод имеет и сегодня.





Рисунок 6 – Либавский вокзал, вид со стороны  
Замковой улицы, начало XX века



Рисунок 7 – Гомельские железнодорожные мастерские  
в 1910 году

В 1878 г. на средства Общества Либаво-Роменской железной дороги в Гомеле открылось техническое железнодорожное училище (рисунок 8). Кроме общеобразовательных предметов здесь изучались железнодорожное дело, механика общая, паровая и паровозная, а также телеграфия.



Рисунок 8 – Первый учебный корпус  
Гомельского технического училища

В 1884 г. Либаво-Роменской железной дорогой были приобретены у князя Паскевича четыре каменных дома, находящиеся по ул. Пробойной, Канатной и Липовой, с целью занятия таковых впоследствии под помещения для больных железнодорожных служащих, аптеки и других заведений.

Получено 06.10.2023

**A. A. Erofeev, A. A. Vasilyev.** For the anniversary of the Libavo-Romain railway. History of Formation and Development. The history of the formation and development of the Libavo-Romny railway was considered. The technical and economic parameters of the road are given. The main activities of the Libavo-Romny road for the period 1871–1894 are presented. The influence of the Libavo-Romny road on the development of the Gomel region is considered.

### Заключение.

Исключительно важное значение для развития промышленности, городов, рыночных отношений на бело-русских землях имела Либаво-Роменская железная дорога, соединившая хлебородные районы Украины с единственным незамерзающим в Российской империи портом Балтийского моря – Либавским [16].

Много составов пришло, грузов перевалено, границ передвинуто, названий изменено. В общем, воды немало утекло... Империя – уже советская – рухнула.

В начале новейшей истории железная дорога оказалась разделена между четырьмя государствами: Латвией, Литвой, Беларусью и Украиной.

### Список литературы

- 1 Януш, Л. Б. Русские паровозы за 50 лет / Л. Б. Януш. – М.–Л. : Трансжелдориздат, 1950. – 261 с.
- 2 Либаво-Роменская железная дорога. Краткое описание дороги. – Минск : Паровая Типо-литография Х. Я. Дворжеца. – 1896. – 41 с.
- 3 Обзор деятельности Министерства путей сообщения за время царствования императора Александра III (1881–1894 гг.). – СПб. : Тип. Д. В. Чичинадзе, 1902. – 578 с.
4. Общий Устав Российских железных дорог. – Т. XIX. – Ч. 1. – СПб., 1911.
- 5 Статистический сборник МПС. – СПб. : Типография товарищества И. Н. Кушнерев и Ко, 1890. – Вып. 50. – 356 с.
- 6 Либаво-Роменская железная дорога. – СПб. : Типография Р. Голике, 1881. – 19 с.
- 7 Витте, С. Ю. Принципы железнодорожных тарифов по перевозке грузов / С. Ю. Витте. – Киев : Типография товарищества И. Н. Кушнерев и Ко, 1883. – 284 с.
- 8 Слепнев, И. Н. Предпринимательство в сфере железнодорожного транспорта в XIX в. / И. Н. Слепнев // История предпринимательства в России. Кн. 2: Вторая половина XIX – нач. XX века. – М. : Росспэн, 1999. – С. 127–174.
- 9 Шаулов, А. Л. Железнодорожная тарифная политика царизма в 60–90-е гг. XIX в. (на примере перевозок хлебных грузов) : автореф. дис. .... канд. ист. наук : 07.00.02 / А. Л. Шаулов ; Ростовский гос. ун-т. – Ростов н/Д, 1977. – 25 с.
- 10 Статистический сборник МПС. – СПб. : Типография товарищества И. Н. Кушнерев и Ко, 1885. – Вып. 10. – 320 с.
- 11 Труды общества для содействия русской промышленности и торговли. – СПб. : Знаменская типо-литография С. Ф. Яздовского, 1890. – Ч. 20. – 150 с.
- 12 Мигулин, П. П. Русский государственный кредит 1769–1899 гг. : в 2 т. / П. П. Мигулин. – Харьков : Типо-литография «Печатное дело», 1900. – 585 с.
- 13 РГВИА. – Фонд 400. – Оп. 24. – Д. 504.
- 14 Государственный архив Российской Федерации. Фонд 677. – Оп. 1. – Д. 561.
- 15 Мигулин, П. П. Наша новейшая железнодорожная политика и железнодорожные займы (1893–1902 гг.) / П. П. Мигулин. – Харьков : Типо-литография «Печатное дело», 1903. – 348 с.
- 15 Жихарев, С. Б. Либаво-Роменская железная дорога в последней четверти XIX в.: строительство и эксплуатация / С. Б. Жихарев // Известия Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины. – 2008. – № 4 (49). – С. 81–91.
- 16 Ерофеев А. А. К юбилею Либаво-Роменской железной дороги. История образования, техническое описание дороги / А. А. Ерофеев, А. А. Васильев // Вестник БелГУТА: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 88–94.



## АВТОМАТИКА, ТЕЛЕМЕХАНИКА И СВЯЗЬ

УДК 621.372.5

Д. Д. МЕДВЕДЕВ, магистр, С. И. ХОМЕНКО, И. О. ЖИГАЛИН, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРВИЧНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ЖАТС С ФЕРРОМАГНИТНЫМИ КОМПОНЕНТАМИ

Рассмотрены особенности измерений первичных параметров четырехполосников с нелинейными ферромагнитными элементами. Выполнен анализ существующих методов измерения активно-реактивных компонентов устройств ЖАТС. Разработана методика определения коэффициентов четырехполосников и их проверки для минимизации погрешностей рассчитываемой модели элементов устройств ЖАТС.

**Б**езопасность и надежность автоматизированных систем управления движением поездов в значительной мере зависит от элементов контроля свободности путевых участков. В качестве таких элементов контроля наиболее широко применяются рельсовые цепи. Также с помощью рельсовых цепей организуется телемеханический канал для передачи сигналов автоматической локомотивной сигнализации (АЛС).

В настоящее время всё чаще применяются тональные рельсовые цепи (ТРЦ), в которых несущие частоты сигналов контроля рельсовой линии находятся в диапазоне от 420 до 5555 Гц. Использование сигнального тока тонального диапазона позволяет ослабить взаимные влияния между рельсовыми цепями, повысить помехоустойчивость к сети тягового тока подвижного состава, использовать централизованное размещение аппаратуры, исключить изолирующие стыки.

Расчет рельсовой цепи в каждом из режимов ее работы выполняется с использованием схем замещения ее составных частей. Традиционными методами расчета РЦ являются методы, использующие теорию четырехполосников. Как правило, рельсовая линия и другие элементы РЦ заменяются четырехполосниками [1].

При этом определяются параметры четырехполосника каждого элемента, а затем параметры общего четырехполосника всей РЦ. После определения параметров общего четырехполосника устанавливается связь между входными и выходными сигналами рельсовой цепи. Такая методика позволяет выполнить расчет РЦ в установленном режиме на фиксированной частоте.

При использовании данной методики, для выполнения расчета необходимо определить коэффициенты четырехполосников элементов рельсовой цепи. В случае обратимого четырехполосника для граничных нагрузок (холостой ход и короткое замыкание) справедливы равенства [1]:

$$A = \frac{Z_{1xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; B = \frac{Z_{1кз}Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}};$$

$$C = \frac{1}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}}; D = \frac{Z_{2xx}}{\sqrt{Z_{2xx}(Z_{1xx} - Z_{1кз})}},$$

где  $Z_{1xx}$  – сопротивления холостого хода со стороны входных зажимов при разомкнутых соответственно выходных зажимах;  $Z_{2xx}$  – сопротивления холостого хода со стороны выходных зажимов при разомкнутых

соответственно входных зажимах;  $Z_{1кз}$  – сопротивление короткого замыкания со стороны входных зажимов при коротком замыкании выходных;  $Z_{2кз}$  – сопротивление короткого замыкания со стороны выходных зажимов при коротком замыкании входных.

Таким образом, для определения параметров четырехполосника необходимо произвести измерения его входного сопротивления при холостом ходе или коротком замыкании на его выходе.

Для измерения входного сопротивления можно воспользоваться различными методами.

Метод прямого измерения посредством амперметра, вольтметра и ваттметра достаточно сложно реализовать по причине высокой погрешности ваттметра в необходимых режимах измерений.

Для измерения  $Z_{вх}$  возможно применение специализированных приборов – измерителей иммитанса (измерители  $RLC$ ). Современные измерители  $RLC$  выполняются на основе аппаратно-программного логометра или автоматических уравновешивающихся измерительных мостов. Диаграмма, поясняющая метод измерения с помощью измерителя иммитанса, представлена на рисунке 1. Измерение отношения напряжений зажимах (токовом и напряжения) осуществляется аппаратно-программным логометром. Измерительный преобразователь формирует два напряжения, одно из которых ( $U_T$ ) пропорционально току ( $I_T = U_T / R_m$ ), протекающему через измеряемый объект, другое ( $U_H$ ) – напряжению на нем. Отношение этих напряжений равно комплексному сопротивлению ( $Z$ ) объекта. Проекция векторов (см. рисунок 1)  $U_T$ ,  $U_H$  на опорное напряжение  $U_{оп}$  и  $jU_{оп}$  (отрезки  $A$ ,  $C$ ,  $B$  и  $D$ ) выделяются и измеряются в некотором произвольном масштабе измерителем интегрирующего типа.

Очевидны соотношения

$$Z = R + jX = \frac{U_H}{I_T} = \frac{A + jB}{C + jD}, \quad (1)$$

где  $R$  – активное сопротивление;  $X$  – реактивное сопротивление.

Из (1) следует

$$R = \frac{AC + BD}{C^2 + D^2} \quad (2)$$

и

$$X = \frac{BC - AD}{C^2 + D^2}. \quad (3)$$

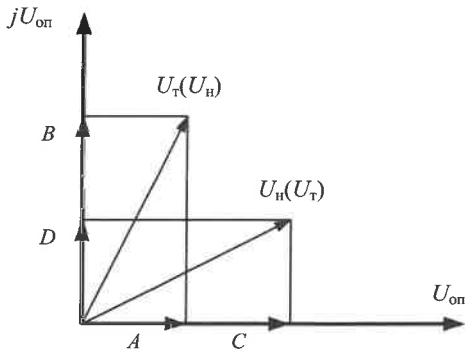


Рисунок 1 – Метод измерения измерителя иммитанса

При измерении параметров элементов, содержащих ферромагнитный сердечник, образуется значительная погрешность измерения. Данная погрешность обусловлена существенным искажением формы тока, протекающего по обмотке при перемагничивании магнитопровода индуктивности. Данное искажение характерно при измерении в режиме холостого хода. Таким образом для данного режима получить приемлемую точность измерения затруднительно.

Также одним из методов измерений, который наиболее просто реализовать, является метод трех вольтметров.

Достоинством метода является эксплуатационная простота и удобство, заключающееся в том, что для определения параметров измеряемого сопротивления достаточно всего лишь определить напряжения на трех участках электрической цепи, состоящей из приемника электрической энергии (изменяемого сопротивления) с последовательно включенным образцовым активным сопротивлением.

На рисунке 2, а представлена эквивалентная схема измерительной цепи для определения составляющих индуктивного импеданса методом трёх вольтметров и её векторная диаграмма (рисунок 2, б), где  $E$  – напряжение генератора гармонических колебаний;  $R_o$  – образцовое сопротивление;  $L, r$  – индуктивность и активное сопротивление измеряемого импеданса  $Z_x$ ;  $U_o, U_x$  – падения напряжения на образцовом сопротивлении и измеряемом импедансе;  $U_L, U_r$  – реактивная и активная составляющие напряжения  $U_x$ ;  $I$  – ток в измерительной цепи.

Импедансы измеряемой индуктивности  $Z_x$  и измерительной цепи  $Z$  имеют вид

$$Z_x = \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2}, \quad Z = \sqrt{(R_o + r)^2 + \omega^2 L^2}, \quad (4)$$

где  $\omega$  – частота колебаний гармонического генератора  $E$ .

Для последовательной цепи значения импедансов можно представить как

$$Z_x = R_o U_x / U_o, \quad Z = R_o E / U_o. \quad (5)$$

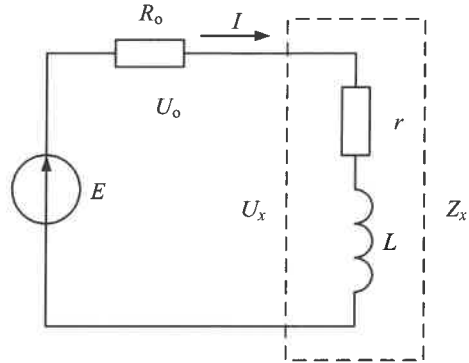
Из (4), (5) следует система уравнений

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{r^2 + \omega^2 L^2} &= R_o U_x / U_o \\ \sqrt{(R_o + r)^2 + \omega^2 L^2} &= R_o E / U_o \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

решение которой позволяет получить выражения для активной составляющей индуктивного импеданса и его индуктивности

$$r = \frac{R_o}{2} \left( \frac{E^2 - U_x^2}{U_o^2} - 1 \right), \quad L = \frac{R_o}{\omega} \sqrt{\frac{U_x^2}{U_o^2} - \frac{1}{4} \left( \frac{E^2 - U_x^2}{U_o^2} - 1 \right)^2}. \quad (7)$$

а)



б)

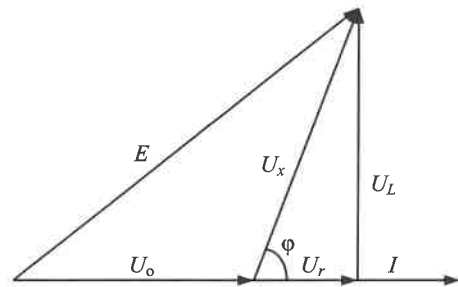


Рисунок 2 – Измерительная цепь для метода трёх вольтметров (а) и её векторная диаграмма напряжений и тока (б)

Для определения коэффициентов четырехполосника нам необходимо значение

$$Z_{xx} = Z_x \cdot e^{j\varphi},$$

где  $Z_x$  – модуль сопротивления по формуле (5);

$\varphi = \arccos \left( \frac{E^2 - U_x^2 - U_o^2}{2U_x U_o} \right)$  – аргумент сопротивления  $Z_x$ .

К недостаткам данного метода можно отнести низкую точность определения фазового угла. Точность измерения фазового угла при данном способе измерения зависит от значения измеряемого угла:

$$\delta_\varphi = \frac{(1 + \cos \varphi) \sqrt{6}}{\varphi \sin \varphi} \delta U. \quad (8)$$

Из уравнения (8) следует, что погрешность измерения  $\delta_\varphi$  с уменьшением угла сдвига фаз  $\varphi$  увеличивается (рисунок 3). Как видно из графика на рисунке 3, измерение фазового угла методом трёх вольтметров непригодно для небольших его значений – до  $60^\circ$  [3].

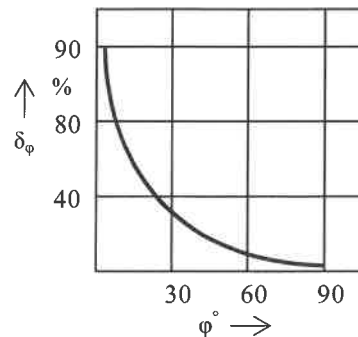


Рисунок 3 – График погрешности при измерении фазы

При измерении параметров индуктивностей в режиме холостого хода угол находится в области малых погрешностей, а в режиме короткого замыкания уменьшается значение угла и погрешность его определения значительно возрастает.

Кроме этого, как недостаток данного метода следует отметить, что в режиме короткого замыкания измерительный генератор работает на очень малую нагрузку. Это вызывает сложность при выборе генератора из-за нестабильности параметров выходного сигнала (частоты и амплитуды) при его использовании.

Поэтому при определении параметров четырехполосника оптимально использовать метод трех вольтметров для определения  $Z_{xx}$  и измеритель иммитанса для определения  $Z_{кз}$ .

Проведенные таким образом измерения позволяют с приемлемой точностью определить параметры четырехполосников элементов, содержащих ферромагнитные компоненты.

Так, для трансформатора ПОС2-50, применяемого в тональных рельсовых цепях при использовании предложенной методики, определены параметры четырехполосника для частоты 780 Гц. На рисунке 4 представлена схема для последующей проверки правильности определения параметров четырехполосника.

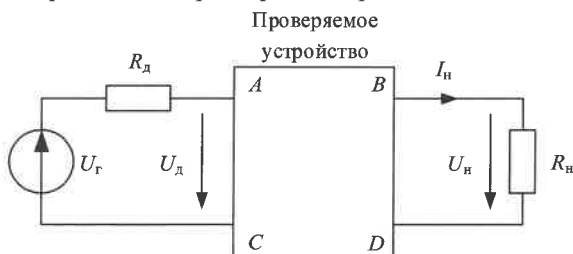


Рисунок 4 – Схема проверки параметров четырехполосника

Проведение измерений в соответствии со схемой дает возможность проверить правильность определения коэффициентов четырехполосника. Так, параметры нагрузки (сопротивление  $R_n$  и напряжение на нагрузке) и их связь с входным напряжением четырехполосника позволяют оценить правильность вычисления коэффициентов  $A$  и  $B$ , а их связь с напряжением генератора ( $U_\Gamma$ ) – правильность рассчитанного коэффициента  $C$ .

$$\left. \begin{aligned} U_d &= AU_n + B \frac{U_n}{R_n} \\ I_n &= CU_n + D \frac{U_n}{R_n} \end{aligned} \right\}, \quad (9)$$

$$\left. \begin{aligned} U_\Gamma &= (A + R_d C)U_n + (B + R_d D) \frac{U_n}{R_n} \\ I_\Gamma &= CU_n + D \frac{U_n}{R_n} \end{aligned} \right\}. \quad (10)$$

Получено 03.02.2023

**D. D. Medvedev, S. I. Homenko, I. O. Zhigalin.** Determination of the parameters of the four-pole with ferromagnetic components in a RATC.

The features of measuring the parameters of four-pole devices with nonlinear ferromagnetic elements are considered. The analysis of existing methods for measuring active-reactive components of railroad automation, telemechanics and communication devices is carried out. The method for determining the coefficients of four-poles and their verification to minimize the errors of the calculated model of the elements of railroad automation, telemechanics and communication have been developed.

В таблицу 1 сведены результаты расчета в соответствии с (9) и (10) и измерения напряжений в соответствии с рисунком 4.

Таблица 1 – Проверка правильности определения коэффициентов четырехполосника

Сопротивление нагрузки, Ом	Добавочное сопротивление, Ом	Напряжение на выходе четырехполосника $U_n$ , В	Напряжение генератора $U_\Gamma$ , В		Напряжение на входе четырехполосника $U_d$ , В	
			рассчитанное	измеренное	рассчитанное	измеренное
10000	5000	0,037	2,63	2,65	1,56	1,58
100	5000	0,030	2,14	2,19	1,25	1,27
1	5000	0,026	4,80	4,79	1,10	1,08

Как видно из таблицы 1, погрешность расчетов не превышает трех процентов, что позволяет использовать полученные данные при составлении регулировочных таблиц ГРЦ.

Комбинация различных методов измерения позволяет использовать преимущества и устранить недостатки отдельных методов измерений. Предлагаемая методика позволяет осуществлять измерения первичных параметров четырехполосников с помощью широко распространенных измерительных приборов. При этом измерения осуществляются в некритических режимах работы приборов, что существенно снижает погрешность измерений.

Предложенная схема проверки параметров четырехполосников позволяет оценить корректность параметров математической модели измеряемого элемента.

#### Список литературы

- 1 **Аркатов, В. С.** Рельсовые цепи. Анализ работы и техническое обслуживание / В. С. Аркатов, Ю. А. Кравцов, Б. М. Степенский. – М. : Транспорт, 1990. – 295 с.
- 2 Рельсовые цепи магистральных железных дорог : справ. / В. С. Аркатов [и др.]. – 3-е изд. – М. : Транспорт, 2006. – 496 с.
- 3 **Дмитриенко, И. Е.** Измерения в устройствах автоматики, телемеханики и связи на железнодорожном транспорте / И. Е. Дмитриенко, А. А. Устинский, В. И. Цыганков. – М. : Транспорт, 1982. – 312 с.
- 4 **Гончаров, К. В.** Исследование переходных процессов в тональных рельсовых цепях / К. В. Гончаров // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2013. – Вип. 4. – С. 8–17.

УДК 621.3(075): 656.25(075.8)

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

## ПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ СИСТЕМЫ ТОНКИХ БЕСКОНЕЧНО ДЛИННЫХ ПРОВОДНИКОВ В ТРЕХСЛОЙНОЙ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ

Получены выражения для потенциальных коэффициентов тонких бесконечно длинных цилиндрических проводников, расположенных в верхнем слое трехслойной диэлектрической среды. Слой ограниченной толщины находится между двумя полубесконечными слоями. Для вывода этих выражений использованы метод зеркальных изображений и метод оптической аналогии. Рассмотрен частный случай расположения проводника на границе раздела диэлектриков. Путем анализа граничных условий выведены частные формы выражений потенциальных коэффициентов. Показано, что из предлагаемых выражений могут быть получены уже известные соотношения для потенциальных коэффициентов при наличии двухслойной диэлектрической среды и для разности потенциалов проводов уединенной двухпроводной линии. Потенциальные коэффициенты для трехслойной среды могут использоваться в численном методе расчета электростатических полей – методе эквивалентных электродов.

**Р**асчет характеристик электростатического поля в среде, состоящей из нескольких слоев диэлектрических материалов, востребован для большого числа технических приложений. В частности, можно указать разработку печатных плат [1] и электроемкостных датчиков [2].

Поскольку в технических приложениях зачастую рассматриваются электродинамические системы, состоящие из нескольких проводников, то расчет электростатического поля в слоистой среде оказывается возможен только численными методами. Одним из численных методов расчета электростатического поля является метод граничных элементов [2]. С целью сформулировать расчетные соотношения этого метода в форме, наиболее близкой к физическому смыслу задачи расчета электростатического поля, разработаны модификации метода граничных элементов, использующие максвелловы потенциальные коэффициенты [3, 4].

Одной из таких модификаций является метод эквивалентных электродов [5]. В этом методе для расчета плоскопараллельного электростатического поля потенциал поля отдельного граничного элемента принимается равным потенциалу поля эквивалентного электрода в виде тонкого бесконечно протяженного проводника круглого сечения. Расчет линейных плотностей зарядов эквивалентных электродов выполняется путем решения системы линейных алгебраических уравнений, сформированной на основе первой группы формул Максвелла. Соответственно, для записи этой системы требуются выражения потенциальных коэффициентов. Потенциальные коэффициенты тонких цилиндрических проводников получены для расположения проводников у плоской границы металл – диэлектрик [6] и для расположения у границы раздела двух диэлектрических сред с различной диэлектрической проницаемостью [7]. Следовательно, для обеспечения необходимой универсальности метода эквивалентных электродов требуется получить выражения для потенциальных коэффициентов тонких проводников круглого сечения и бесконечной длины, находящихся в многослойной диэлектрической среде.

В рамках статьи ограничиваемся трехслойной диэлектрической средой, в которой ограниченный слой толщины  $b$  расположен между двумя полубесконечными слоями диэлектрика. Абсолютная диэлектрическая проницаемость верхнего полубесконечного слоя равна  $\epsilon_1$ , проницаемость ограниченного слоя равна  $\epsilon_2$ , проницаемость нижнего полубесконечного слоя равна  $\epsilon_3$ . Проводники расположены в верхнем слое. Такая конфигурация граничных поверхностей весьма часто встречается при расчете технических устройств [1, 2]. Конфигурация среды показана на рисунке 1.

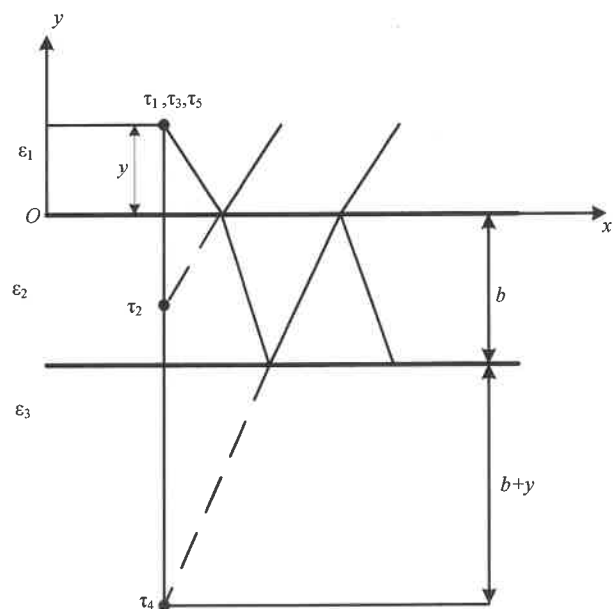


Рисунок 1 – Трехслойная диэлектрическая среда с линейным электрическим зарядом в верхнем слое

Целью статьи является получение выражений для потенциальных коэффициентов в описанной выше электродинамической системе.

Решение уравнения Лапласа для потенциала точечного заряда в слоистой среде выражается несобственным интегралом в цилиндрических координатах [8–10]:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\infty J_0(\lambda r) \Phi(\lambda, z - z_0) d\lambda, \quad (1)$$

где  $\varphi$  – потенциал, В;  $q$  – заряд, Кл;  $\epsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;  $J_0$  – функция Бесселя первого рода нулевого порядка;  $\lambda$  – непрерывный параметр;  $z, r$  – цилиндрические координаты, м;  $\Phi$  – функция, определяемая граничными условиями.

При рассмотрении плоскопараллельных полей, созданных линейными электрическими зарядами, выражение для потенциала еще более усложняется. Поэтому для получения выражений потенциальных коэффициентов используется метод зеркальных изображений [11].

Так как в рассматриваемой электродинамической системе проводники расположены в верхнем слое диэлектрика, необходимо вычислить в этом слое потенциалы электростатического поля, созданного связанными зарядами на границах раздела сред. Влияние границы сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  учитывается по известному правилу изображений [12]. Влияние границы раздела сред с  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_3$  учитывается построением двух изображений. В первом осуществляется изображение линейного заряда, введенного для расчета поля под границей сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  в границе раздела сред с  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_3$ . Во втором строятся изображения линейного заряда, введенного для расчета поля над границей раздела сред с  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_3$ , в

границе раздела сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ . В выражении для потенциального коэффициента учитывается потенциал заряда, введенного для расчета поля над границей раздела сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$ . Изображение заряда, для расчета поля под границей сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  служит для построения изображения в границе сред с  $\epsilon_2$  и  $\epsilon_3$ . Так формируется бесконечная система зеркальных изображений исходного заряда в границах раздела сред. Начальные этапы процесса зеркальных изображений исходного заряда приведены на рисунке 1.

Так как процесс построения системы зеркальных изображений заряда оказывается длительным и не наглядным, в [11] описан способ формирования этой системы на основе аналогии с распространением света в слоистой оптически неоднородной среде. Указанным методом в статье получены коэффициенты отражения  $\alpha$ , преломления  $\beta$ , начального отражения  $\lambda_1, \lambda_2$  и коэффициент повторного отражения  $\gamma$ , определяющие величины зарядов-изображений в диэлектрических границах. Эти заряды используются при выводе расчетных соотношений для потенциальных коэффициентов. Первые пятнадцать линейных зарядов из системы зеркальных изображений исходного линейного заряда приведены в таблице 1. Ход световых лучей по оптической аналогии с зеркальными изображениями заряда показан на рисунке 1.

Таблица 1 – Зеркальные изображения линейного заряда в границах раздела диэлектрических сред

Номер заряда	Граница	Формула для линейной плотности заряда	Используется для записи потенциального коэффициента	Координата заряда
1		$\tau$	Да	$y$
2	1-2	$\tau\alpha_{12} = \tau\lambda_1$	Да	$-y$
3		$\tau\beta_{12}$	Нет	$y$
4		$\tau\beta_{12}\alpha_{23}$	Нет	$-(y + 2b)$
5	2-3	$\tau\beta_{12}\beta_{23}$	Нет	$y$
6		$\tau\beta_{12}\alpha_{23}$	Нет	$-(y + 2b)$
7		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \beta_{21} = \tau\lambda_2$	Да	$-(y + 2b)$
8	1-2	$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12}$	Нет	$y + 2b$
9		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \beta_{21}$	Нет	$y + 2b$
10		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23}$	Нет	$-(4b + y)$
11	2-3	$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23}$	Нет	$-(4b + y)$
12		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \beta_{21}$	Да	$-(4b + y)$
13		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{12}$	Нет	$4b + y$
14	1-2	$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23}$	Нет	$4b + y$
15		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \beta_{21} = \tau\lambda_2\gamma^2$	Да	$-(6b + y)$
16		$\tau\beta_{12}\alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{12} \alpha_{23} \alpha_{12}$	Нет	$6b + y$

Примечание –  $\lambda_1 = \alpha_{12} = \frac{\epsilon_1 - \epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}$ ,  $\alpha_{23} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_3}{\epsilon_2 + \epsilon_3}$ ,  $\alpha_{21} = \frac{\epsilon_2 - \epsilon_1}{\epsilon_2 + \epsilon_1}$ ,  $\beta_{21} = \frac{2\epsilon_1}{\epsilon_1 + \epsilon_2}$ ,  $\beta_{12} = \frac{2\epsilon_2}{\epsilon_1 + \epsilon_2}$ ,  $\lambda_2 = \beta_{12}\alpha_{23}\beta_{21}$ ,  $\gamma = \alpha_{21}\alpha_{23}$ .

В [2] получены такие же расчетные соотношения для коэффициентов отражения и преломления трехслойной диэлектрической среды. Но в этой работе не упомянут метод оптической аналогии и не объясняется алгоритм зеркальных изображений исходного заряда в границах сред. Поэтому алгоритм изображений рассмотрен в статье подробнее.

Для вывода формул потенциальных коэффициентов в центре цилиндрического проводника размещается линейный электрический заряд. Чтобы найти собственный потенциальный коэффициент, потенциал исходного заряда проводника вычисляется в точке на поверхности проводника, а потенциалы зарядов-изображений исходного заряда – в центре проводника.

Чтобы найти взаимный потенциальный коэффициент, потенциал поля исходного заряда проводника  $i$  и потенциал поля зарядов-изображений этого заряда рассчитываются в центре проводника  $j$  [12]. Линейная плотность заряда принимается численно равной единице. Таким путем получают выражения потенциальных коэффициентов:

– собственного:

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left[ \ln \frac{1}{r_i} + \lambda_1 \ln \frac{1}{2y_i} + \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{2y_i + 2(n+1)b} \right]; \quad (2)$$

– взаимного:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left[ \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}} + \lambda_1 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}} + \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + (2(n+1)b + y_j))^2}} \right]; \quad (3)$$

где  $\alpha$  – потенциальный коэффициент, м/Ф;  $\epsilon_0$  – абсолютная диэлектрическая постоянная, Ф/м;  $r_i$  – радиус проводника, м;  $x_i, x_j, y_i, y_j$  – координаты центров проводников, м;  $n$  – счетная переменная.

В частном случае проводник может лежать на границе раздела сред. Если рассматривать потенциальные коэффициенты для классического случая тонких цилиндрических проводников, то достаточно в формулах (2) и (3) принять координату  $y$  центра такого проводника численно равной его радиусу  $r$ . Если цилиндрический проводник является эквивалентным электродом для граничного элемента пренебрежимо малой толщины в методе эквивалентных электродов, то возникает трудность, заключающаяся в том, что центр цилиндрического проводника лежит на границе раздела сред. В [13] предложен способ учета этого случая, но этот способ противоречит установленному в [12] правилу использования зарядов-изображений для вычисления характеристик электростатического поля под и над границей двух диэлектрических сред.

Для выработки способа учета этого частного случая рассматривается известная схема изображения линейного заряда  $\tau_1$  в плоской границе раздела двух диэлектрических сред (рисунок 2) [12].

Из рисунка 2 следует, что граничное условие для тангенциальной составляющей напряженности электростатического поля на границе имеет вид [12]

$$\frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0 r} (\tau_1 + \tau_2) \cos\alpha = \frac{1}{2\pi\epsilon_2\epsilon_0 r} \tau_3 \cos\alpha. \quad (4)$$

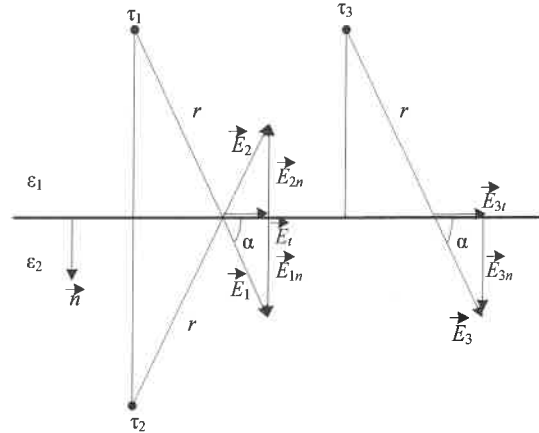


Рисунок 2 – Изображение заряда в границе раздела двух диэлектрических сред

Граничное условие для нормальной составляющей вектора индукции электростатического поля на границе имеет вид [12]

$$\frac{1}{2\pi r} (\tau_1 - \tau_2) \sin\alpha = \frac{1}{2\pi r} \tau_3 \sin\alpha. \quad (5)$$

Если заряд  $\tau_1$  приближается к границе, то угол  $\alpha$  стремится к нулю. Тогда в пределе соотношение (5) удовлетворяется, если принять  $\tau_2 = \alpha_{12}\tau$  и  $\tau_3 = \beta_{12}\tau_1$ . Соотношение (4) удовлетворяется тождественно.

Следовательно, для получения выражения для потенциального коэффициента достаточно полагать, что исходный заряд и два заряда-изображения в границе раздела сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  находятся в одной точке, поскольку граничные условия оказываются выполненными.

Частные выражения для потенциальных коэффициентов могут быть записаны в следующем виде:

– собственный:

$$\alpha_{ii} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left[ \ln \frac{1}{r_i} + \lambda_1 \ln \frac{1}{r_i} + \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{2(n+1)b} \right]; \quad (6)$$

– взаимный при нахождении проводника  $i$  на границе раздела сред:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left[ \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_j)^2}} + \lambda_1 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_j)^2}} + \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (2(n+1)b + y_j)^2}} \right]; \quad (7)$$

– взаимный, при нахождении проводника  $j$  на границе раздела сред:

$$\alpha_{ij} = \frac{1}{2\pi\epsilon_1\epsilon_0} \left[ \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i)^2}} + \lambda_1 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i)^2}} + \sum_{n=0}^{\infty} \gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{\sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i + (2(n+1)b))^2}} \right]. \quad (8)$$

Как видно из (2), (3), (6)–(8), выражения для собственных и взаимных потенциальных коэффициентов имеют вид бесконечных рядов. При осуществлении практических расчетов ограничиваются несколькими слагаемыми ряда. Условие отбрасывания слагаемых рационально ввести из следующих соображений. В общем случае изображения данного заряда находятся ближе к исходному заряду, нежели прочие заряды и их изображения. Поэтому из (2) следует, что слагаемые с номером, равным или большим  $n$  отбрасываются, если выполняется условие

$$\frac{\gamma^n \lambda_2 \ln \frac{1}{R(n)}}{\ln \frac{1}{r_i} + \lambda_1 \ln \frac{1}{2r_i}} < \delta, \quad (9)$$

где  $R(n)$  – расстояние от заряда изображения  $n$  до исходного заряда.

Физически условие (9) означает, что потенциал поля заряда-изображения существенно меньше суммарного потенциала поля исходного заряда и его первого изображения. Достоинствами предложенного условия является малая зависимость от характерных размеров электродинамической системы, а также возможность его рекуррентного вычисления.

Проверка предложенных в статье выражений для потенциальных коэффициентов возможна путем вычисления несобственного интеграла (1) с помощью аппроксимаций [9, 10]. Но тогда возникает необходимость проверки точности аппроксимации и корректности ее реализации в компьютерной программе, что затрудняет верификацию полученных в статье результатов. С другой стороны, в [2] приведены выражения для коэффициентов зеркальных изображений без вывода, а в [14] выведены потенциальные коэффициенты для малой сферы в многослойной диэлектрической среде. Причем в [14] декларируется развитие метода оптической аналогии, но расчетные соотношения получены путем решения уравнения Лапласа. Результаты указанных источников и настоящей статьи, полученные разными методами, совпадают по существу.

Кроме этого, можно показать, что при устремлении толщины среднего слоя к бесконечности, выражения (2), (3) переходят в формулы для потенциальных коэффициентов в случае расположения проводника над границей раздела двух полубесконечных диэлектриче-

ских сред [7]. При удалении границы раздела сред с  $\epsilon_1$  и  $\epsilon_2$  в бесконечность выражения для потенциальных коэффициентов позволяют получить формулу для разности потенциалов между двумя бесконечными круглыми проводниками одинакового радиуса, несущих одинаковые по модулю заряды разных знаков (двухпроводной уединенной линии) [15]. Следовательно, допустим вывод, что результаты, полученные в статье, можно полагать верными, причем обоснование этого вывода проведено так же, как в [16], путем сравнения с уже известными опубликованными результатами.

Предлагаемые в статье выражения для потенциальных коэффициентов в случае наличия трехслойной диэлектрической среды получены апробированным методом зеркальных изображений и оптической аналогии. Они соответствуют имеющимся в литературе выражениям для расчета поля в трехслойной среде. Из полученных в статье формул могут быть выведены как частные случаи уже известные формулы для потенциальных коэффициентов в случае двухслойной диэлектрической среды и для разности потенциалов двух проводников в свободном пространстве. Это дает основание полагать предлагаемые в статье выражения верными.

Следует отметить, что метод оптической аналогии позволяет получить потенциальные коэффициенты в случае расположения проводников в любом слое трехслойной среды. В статье рассмотрен наиболее технически значимый случай [1, 2]. Также отметим, что аналогично могут быть получены потенциальные коэффициенты трехмерных проводников, так как правила изображения зарядов в границах остаются теми же [11, 12].

Приведенные в статье выражения для потенциальных коэффициентов являются существенным и практически полезным дополнением к уже полученным формулам потенциальных коэффициентов при наличии границ других электрических свойств или геометрических конфигураций. Эти формулы могут найти применение в методе эквивалентных электродов, который используется для решения задач электромагнитной совместимости микросистемных узлов, в том числе и железнодорожной автоматики и телемеханики. Обеспечение электромагнитной совместимости микропроцессорных и микросистемных систем автоматики и телемеханики в настоящее время является актуальной научно-технической задачей [5], следовательно, полученные результаты являются востребованными практикой.

#### Список литературы

- 1 Кечиев, Л. Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры / Л. Н. Кечиев. – М. : ООО Группа «ИДТ», 2007. – 616 с.
- 2 Джежора, А. А. Электроемкостные преобразователи и методы их расчета : [монография] / А. А. Джежора. – Минск : Белорусская наука, 2007. – 351 с.
- 3 Кайданов, Ф. Г. Электростатическая индукция на автотранспорт вблизи воздушных линий переменного тока / Ф. Г. Кайданов // Исследования электрического поля линий



и подстанций сверхвысокого напряжения : сб. науч. тр. / НИИПТ. – Л. : Энергоатомиздат, 1985. – С. 5–13.

4 Quasi-static tool for the EMI/EMC Analysis of Analog Circuits: Parasitic Extractor Tool and Simulator of EMI Parameters / S. Piedra [et. al.] // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility – 1998. – Vol. 40, no 2. – P. 127–137.

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

6 **Коровкин, М. В.** Теоретические основы электротехники : сб. задач / М. В. Коровкин, Е. С. Селина, В. Л. Чечурин. – СПб. : Питер, 2004. – 512 с.

7 **Кузнецов, С. А.** Особенности расчета электростатических полей многопроводных линий у границы раздела диэлектрических сред / С. А. Кузнецов, В. В. Рудаков // Теоретическая электротехника : респ. межвед. науч.-техн. сб. – Львов : Изд. Львовского ун-та, 1990. – Вып. 49. – С. 126–131.

8 **Пановский, В.** Классическая электродинамика / В. Пановский, М. Филипс. – М. : Физматгиз, 1963 – 432 с..

9 **Конников, И. А.** Вычисление функции Грина для уравнения Лапласа / И. А. Конников // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, вып. 1. – С. 15–20.

10 **Конников, И. А.** Вычисление квазистационарного поля в слоистой среде / И. А. Конников // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77, вып. 4. – С. 138–140.

11 **Бургсдорф, В. В.** Заземляющие устройства электроустановок / В. В. Бургсдорф, А. И. Якобс. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 399 с.

12 **Бессонов, Л. А.** Теоретические основы электротехники: Электромагнитное поле : учеб. для студентов вузов / Л. А. Бессонов. – М. : Высш. шк., 1978. – 231 с.

13 Техника высоких напряжений, теоретические и практические основы применения / М. Бейер [и др.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 553 с.

14 **Петрин, А. Б.** Развитие и обобщение метода отражений в задачах электростатики и теплопроводности плоскостных тел / А. Б. Петрин // Журнал технической физики. – 2023. – Т. 93, № 3. – С. 318–331.

15 **Бенинг, П.** Электрическая прочность изоляционных материалов и конструкций / П. Бенинг. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1960. – 216 с.

16 Метод многократных электрических изображений при расчете погонных параметров проводов кабеля в диэлектрической оболочке вблизи проводящей поверхности / О. А. Тарасов [и др.] // Технологии электромагнитной совместимости. – 2021. – № 4. – С. 3–12.

Получено 10.10.2023

#### **D. V. Komnatny.** Potential coefficients of thin endlessly long conductors system in three-layer dielectric medium.

The expressions for potential coefficients of thin endlessly long cylindrical conductors, placed in upper layer of inhomogeneous three layer dielectric medium, are obtained. The layer of bounded thickness is placed between two semi-infinite layers. The method of mirror images and method of optical analogy are used for these expressions deducing. The particular case of conductor location on the boundary of two dielectric separation is considered. By the boundary conditions analysis the particular forms of potential coefficients expressions are deduced too. It is shown, that already known expressions for potential coefficients in two-layer dielectric medium and for potential difference secluded two-wire line wires can be obtained from proposed expressions. The potential coefficients in tree-layer medium can be used in numerical method of electrostatic field calculation, named equivalent electrode method.

**АВТОМОБИЛЬНЫЙ ТРАНСПОРТ**

УДК 656.13

*В. С. МИЛЕНЬКИЙ, кандидат технических наук, Республиканское унитарное предприятие «Белорусский научно-исследовательский институт транспорта "Транстехника", г. Минск; П. Е. КРУГЛЫЙ, кандидат технических наук, Белорусский государственный аграрный технический университет, г. Минск; С. П. КРУГЛЫЙ, ГУ «Транспортная инспекция Министерства транспорта и коммуникаций Республики Беларусь», г. Минск*

### **АНАЛИЗ СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ ЭРГОНОМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ – АВТОМОБИЛЬ – ДОРОГА – ВНЕШНЯЯ СРЕДА»**

Выполнен анализ составных частей эргономической системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда». Основным звеном системы является водитель. Приводится диапазон скорости, в котором достигается оптимальный уровень психофизиологического напряжения водителя. Установлено, что значительное влияние на эффективность применения транспортных средств оказывают конструкция кузова, грузоподъемность, проходимость и срок эксплуатации. Приведены методы оценки ровности дорожного полотна.

**В**ведение. Перевозка грузов или пассажиров транспортными средствами происходит в рамках системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда» с взаимовязанными составными частями. При этом человек, управляющий машиной или задействованный на обслуживании объектов системы, является ее важным звеном, независимо от степени автоматизации процессов. Человек планирует и реализует цели функционирования системы, направляет и контролирует все процессы, происходящие в ней. Его взаимодействие с системой можно проанализировать в рамках самостоятельной технико-психологической области науки и техники – эргономики<sup>1)</sup>.

Любой системный объект в наиболее общем виде создается ради определенной цели и в процессе достижения этой цели функционирует или изменяется. В процессе перевозки грузов или пассажиров происходят процессы движения, управления, технического обслуживания, ремонта и другие. В составе системы имеется объект с источником энергии и соответствующей инфраструктурой для его функционирования, а также водитель, который пользуется информацией о дорожной обстановке, дорожной разметке, дорожных знаках у другой информацией. Все составные части системы обеспечивают выполнение определенных функций.

Каждая из составных частей системы может рассматриваться как система более низкого уровня, так как она входит в систему более высокого уровня: транспортные системы региона, страны или мира.

Нарушения в функционировании любой составной части системы приводят к снижению ее эффективности (уменьшению скорости движения, немотивированным остановкам, увеличению расхода топлива и т. п.).

**Основная часть.** Перевозка грузов или пассажиров автомобильным транспортом представляет собой сложный технологический процесс, эффективность которого зависит от многих факторов, в том числе от структуры автомобильного парка. Например, нерациональная грузоподъемность парка транспортных средств снижает эффективность его эксплуатации и качество обслуживания потребителей транспортных услуг [1–5].

Применение автомобильных транспортных средств в различных отраслях экономики страны, имеет свои особенности, что приводит к предъявлению дополнительных требований к машинам или их обслуживанию. Например, сезонность изменения объемов работ и сжатые сроки проведения уборки урожая различных культур требуют применения автотранспортных средств с повышенной надежностью, независимо от эксплуатации их в неблагоприятных дорожных условиях. В настоящее время в хозяйствах Беларуси эксплуатируются автомобильные транспортные средства с невысокой средней грузоподъемностью и имеют сравнительно большой срок эксплуатации, что не позволяет обеспечить требуемый уровень качества обслуживания потребителей этого вида услуг [3–8]. Необходимо в этом направлении проводить научные исследования по определению типажа и структуры автомобильного парка хозяйств на основе анализа перевозимых объемов и номенклатуры грузов, особенно в напряженные периоды года, а также функционирования эргономической системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда».

Одной из основных составных частей эргономической системы является водитель. С годами объекты системы усложняются, и от квалификации персонала во многом зависит качество функционирования системы. Поэтому в научных кругах большое внимание уделяется исследованиям психофизиологических качеств водителей. Для проведения исследований созданы специальные приборы и программные продукты, которые используются для проверки кандидатов в водители или водителей, которые имеют определенный опыт управления транспортным средством.

<sup>1)</sup>Эргономика – наука, изучающая особенности деятельности человека (или группы людей) в условиях производства и жизнедеятельности с целью оптимизации орудий труда, условий и процесса труда.

В процессе проведения исследований установлено, что определение усталости водителя транспортного средства только на основе суммирования количества включений передач или нажатия педалей не отражает в полной мере усталость конкретного участника эксперимента. В связи с этим необходимо учитывать его нервное напряжение, которое можно косвенно оценить на основе измерения частоты пульса человека и его кожно-гальванической реакции, мВ. Оптимальный уровень психофизиологического напряжения водителей достигается при скорости 55–85 км/ч (в этом диапазоне находится и зона наименьшей аварийности на двух полосных асфальтированных дорогах). Однако в литературе отсутствуют данные об оптимальном нервном напряжении водителей при движении автомобилей по дорогам различных категорий или по пересеченной местности. В этом направлении целесообразно продолжить исследования, чтобы иметь определенные показатели, позволяющие оценить усталость водителя. На основании этих данных можно разработать рекомендации для ознакомления водителей транспортных средств, при проведении с ними профилактической работы. Это позволит снизить количество дорожно-транспортных происшествий по причине невнимательности водителей, которая нарастает по мере усталости человека.

Второй составной частью эргономической системы является автомобиль. Конструктивные особенности автомобильных транспортных средств характеризуют их эксплуатационные качества и экономические показатели. Значительное влияние на эффективность применения транспорта при перевозке грузов оказывают конструкция кузова, грузоподъемность, проходимость и срок эксплуатации автомобиля. В сельской местности преимущественно перевозятся навалочные грузы, поэтому более целесообразно применять специализированные транспортные средства с самосвальным кузовом. Хотя в процессе проведения сельскохозяйственных работ необходимо разбрасывать жидкий навоз и минеральные удобрения, вносить аммиак и т. д., что требует применения других специализированных транспортных средств. В странах Европы для выполнения этих видов работ применяются съемные кузова. Целесообразно в Беларуси для повышения эффективности применения транспортных средств расширить практику применения съемных кузовов, а также надставных бортов при перевозке легковесных грузов.

Важной характеристикой транспортного средства является его номинальная скорость. При этом в условиях эксплуатации автомобиля по пересеченной местности конструкция подвески не позволяет получать номинальные значения этого параметра.

Компьютерным моделированием установлено, что скорость автомобилей на неровных дорогах можно повысить, увеличив ход подвески до 500–600 мм вместо существующих 200–300 мм. Эти особенности должны быть учтены при конструировании современного транспортного средства.

В ряде стран мира для осуществления работ в сельской местности сконструированы транспортные средства, в которых объединены лучшие качества тракторов

и автомобилей: обеспечена необходимая проходимость, сцепные качества, скорость, широкий диапазон передач.

На эффективность применения автомобильных транспортных средств отрицательное воздействие оказывает срок их эксплуатации. Общеизвестно, что для поддержания автомобильного парка в работоспособном состоянии важное значение имеет качество и своевременность технического обслуживания, особенно для машин с длительным сроком эксплуатации [6–8]. Поэтому необходимо строго соблюдать сроки и объемы проведения регламентных работ. При этом учитывать специфику применения транспортного средства на определенных видах перевозок и сроки выполнения заказов. Это позволит достичь высоких показателей качества обслуживания потребителей транспортных услуг.

Современный научно-технический прогресс позволяет системно подойти к решению проблем в области транспорта [1–6]. Одним из актуальных направлений является статистический анализ показателей эксплуатации автомобильного парка. Выбор исходных данных и их анализ позволяют оценить эффективность применения автотранспортных средств и разработать многофакторные линейные и нелинейные математические модели. Однако в начальной стадии проведения расчетов возникает проблема вынужденного ограничения количества показателей. Включение в модель большого количества факторов значительно усложняет проведение расчетов, что затрудняет ее практическое применение. Поэтому рекомендуется малозначимые показатели (с логической точки зрения) не учитывать в расчетах. Это обстоятельство, наряду с недостаточно информативной системой учета, приводит к необходимости изыскания различных вариантов решения задачи.

В этой связи становится актуальным применение факторного анализа [3, 10], который позволяет выделять наиболее существенные связи в корреляционных матрицах различной размерности и объединять показатели в группу с учетом причинной обусловленности. Этот метод не требует предварительного подразделения анализируемых показателей, поэтому его применение особенно эффективно в начальной стадии статистического анализа.

Показатели интерпретированы следующим образом:  $F_1$  – оснащенность и управляемость предприятия;  $F_2$  – условия труда в предприятии;  $F_3$  – обеспеченность предприятия транспортными средствами;  $F_4$  – эффективность проведения погрузо-разгрузочных работ;  $F_5$  – территориальная характеристика предприятия. Каждый показатель представляет обобщенную характеристику объекта анализа и отражает взаимосвязь скоррелированных показателей.

На основе применения факторного анализа построены множественные регрессионные модели, в которых выбор показателей обоснован их связью с основными группами. Для оценки показателей введена безразмерная характеристика –  $F$ :

$$F_{kp} = \sum_{j=1}^p a_{jk} \frac{x_{jp} - x_j}{\sigma_j}, \quad (1)$$

где  $F_{kp}$  – безразмерная характеристика показателя  $\bar{F}_k$  для предприятия  $p$ ;  $a_{jk}$  – влияние показателя  $F_k$  на показатель  $x_j$ ;  $x_{jp}$  – значение показателя  $x_j$  в предприятии  $p$ ;  $x_j$  – среднее значение показателя;  $n$  – общее количество показателей.

Расчет безразмерной характеристики –  $F$  позволил определить принципы дифференцированного подхода к оценке эффективности эксплуатации транспортных средств. Однако представляет интерес проведение факторного анализа эксплуатации автомобильных транспортных средств с включением в комплексный анализ показателей условий эксплуатации.

Для проведения факторного анализа эксплуатации автомобильных транспортных средств выделены пять групп показателей:

- размер и конфигурация предприятия;
- оснащенность основными фондами и персоналом;
- общехозяйственная деятельность предприятия;
- условия осуществления перевозок грузов;
- уровень эксплуатации автомобильных транспортных средств и качество их технического обслуживания.

Эти группы показателей приняты за основу при проведении оценки. С учетом продолжительности рассматриваемого периода их можно разделить на следующие подгруппы:

- а) показатели, связанные с напряженным периодом эксплуатации автомобильных транспортных средств;
- б) показатели, характеризующие деятельность предприятия.

Методикой факторного анализа предусмотрено последовательное выделение 2–6 и более показателей. Каждая модель с определенным количеством показателей описывает часть суммарной дисперсии признаков. С ростом количества выделенных показателей суммарная дисперсия, приходящаяся на них, возрастает, но при этом каждый последующий показатель оказывается менее значимым, чем предыдущий. Кроме того, большое количество показателей может затруднить интерпретацию исследуемого процесса. Поэтому после предварительного ознакомления с результатами расчета целесообразно остановиться на оценке 6 показателей, которые позволяют оценить 79,8 % суммарной дисперсии признаков. Следует отметить, что седьмой фактор, как правило, описывает только 4,1 %.

Каждый показатель связан положительной либо отрицательной корреляционной связью, поэтому результаты могут быть как положительными, так и отрицательными. Для достаточно достоверной интерпретации показателей необходимо определить уровень их значимости. Для этого уровень доверительной вероятности целесообразно принять в размере 0,9. В этом случае критическое значение коэффициента корреляции составляет 0,44.

На основании анализа безразмерных характеристик показателей для дальнейшего рассмотрения процесса эксплуатации автомобильных транспортных средств выделены следующие факторы:

–  $\Phi_1$  – оснащенность и управляемость предприятия. Характеризует оснащенность и управляемость предприятия в зависимости от изменения размера организации, наличия и квалификации трудовых ресурсов (21,5 % суммарной дисперсии показателей);

–  $\Phi_2$  – эффективность организации транспортных процессов. Характеризует производительность проведения транспортных работ в зависимости от дорожных и условий эксплуатации автомобилей (14,3 %);

–  $\Phi_3$  – условия труда персонала предприятия (12,2 %);

–  $\Phi_4$  – качество организации технической эксплуатации автомобильных транспортных средств (11,2 %);

–  $\Phi_5$  – территориальная характеристика предприятия. Характеризует расположение предприятия относительно объектов зоны обслуживания (11,0 %);

–  $\Phi_6$  – интенсивность эксплуатации автотранспортных средств. Характеризует объем грузооборота, который выполняется предприятием за определенный период времени (9,6 %).

Сопоставление выделенных факторов с ранее интерпретированными показателями, показывает, что первые пять в определенной мере совпадают. Однако распределение факторов  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ ,  $\Phi_4$  по значимости отличается. Это связано с особенностями эксплуатации автомобильного парка предприятия.

Факторы, определяющие эффективность эксплуатации автомобильных транспортных средств, оказывают на процессы комплексное воздействие. При этом степень влияния каждого фактора различна. Определения и оценка влияния каждого фактора проводятся на основании рассчитанных уравнений множественной регрессии линейного вида. Вычисления проводятся по стандартной программе. Значимость коэффициентов уравнений проверяется по критерию Стьюдента, критическое значение которого составляет 1,6 при уровне доверительной вероятности 0,9. Для уравнений рассчитываются также и коэффициенты эластичности по каждому аргументу:

$$\varepsilon_i = \frac{a_i \cdot x_i}{y}, \quad (2)$$

где  $a_i$  – коэффициент регрессии для  $i$ -го фактора;  $x_i$  – среднее значение  $i$ -го фактора;  $y$  – среднее значение показателя эксплуатации парка автомобильных транспортных средств.

Коэффициент эластичности показывает, на сколько процентов изменяется выходная функция, если соответствующий аргумент изменяется на 1 %.

Для расчета уравнений регрессии по каждому фактору выбран наиболее скоррелированный с этим фактором или по физическому смыслу близкий показатель, который является представителем данного фактора в уравнении.

В условиях сельскохозяйственного производства представляет интерес проведение анализа показателей эксплуатации автомобильных транспортных средств по отношению к валовой продукции хозяйства.

После исключения из рассмотрения показателей, которые оказывают незначительное влияние на процесс, установлена следующая зависимость:

$$y = 1072,4 + 103,5x_1 + 1074,4x_2 - 1,7x_3, \quad (3)$$

где  $y$  – валовая продукция на 1 га пашни;  $x_1$  – удельная грузоподъемность автомобильного парка хозяйства на 100 га пашни;  $x_2$  – удельное количество инженерно-технического персонала автомобильного парка хозяйства на 100 га пашни;  $x_3$  – влияние дорожных условий на транспортное средство.

Принимаем для расчетов коэффициент множественной регрессии –  $R = 0,90$ , детерминации –  $D = 0,81$ . Выбранные показатели объясняют 81 % общей дисперсии признаков, а 19 % дисперсии приходятся на неучтенные признаки.

Приведенную методологию можно использовать для прогнозирования грузоподъемности парка автомобильных транспортных средств в предприятии, количества инженерно-технического персонала при определенном объеме валовой продукции. Для этого определены коэффициенты эластичности для каждого показателя и рассчитаны их вклады. Самый большой вклад на изменение выходной функции дает показатель неровности дорог – 54,1 %, количество инженерно-технического персонала – 23,5 %, грузоподъемность парка автомобильных транспортных средств – 22,4 %.

Для расчета эксплуатации автомобильных транспортных средств в напряженные периоды года при выполнении работ по уборке урожая в сельском хозяйстве целесообразно проводить расчеты по следующей формуле:

$$\alpha_n = 1,67 + 0,27x_4 - 0,45x_5 - 0,08x_6 - 0,01x_7, \quad (4)$$

где  $\alpha_n$  – коэффициент интенсивности эксплуатации автомобильных транспортных средств;  $x_4$  – удельная плотность асфальтированных дорог в км на 100 га общей площади хозяйств;  $x_5$  – доля применения автомобилей самосвалов от общего количества автомобилей, задействованных на выполнении работ;  $x_6$  – время в наряде, ч;  $x_7$  – средний возраст автомобильного парка, лет.

Коэффициент множественной регрессии  $R = 0,77$ . Вышеуказанные показатели объясняют 59 % общей дисперсии признаков, а необъясненными остаются 41 % дисперсии. Большое количество необъясненных причин связано с низкой достоверностью первичной документации учета работы автомобилей в сельскохозяйственных предприятиях.

Структура показателей при оценке эффективности применения автомобильных транспортных средств в напряженные периоды года состоит из следующих долей: плотность асфальтированных дорог – 2,7 %, доля самосвалов – 14,8 %, время в наряде – 73,6 % и возраст автомобилей – 8,9 %. Как видно из приведенных данных, плотность асфальтированных дорог незначительно оказывает влияние на коэффициент использования  $\alpha_n$ , хотя значимость коэффициента регрессии для плотности асфальтированных дорог достаточна. Увеличение количества самосвалов снижает значение показателя  $\alpha_n$  в связи с тем, что они имеют меньшую надежность, по сравнению с бортовыми автомобилями. Кроме того, показатель  $\alpha_n$  снижается с увеличением срока эксплуатации автомобильных транспортных средств. Наибольший вклад в снижение показателя  $\alpha_n$  вносит время в наряде. Длинный рабо-

чий день не позволяет водителю надлежащим образом следить за техническим состоянием автомобиля и своевременно выполнять техническое обслуживание, что приводит к простоям из-за отказов.

Для определения производительности автомобилей хозяйств в напряженный период, т·км/ч, получена зависимость

$$W = -15,21 + 0,13x_8 + 1,34x_{12} + 0,15x_5 + 36,52x_{11}, \quad (5)$$

где  $x_8$  – среднее расстояние перевозки одной тонны груза в напряженный период, км;  $x_{12}$  – эксплуатационная скорость в напряженный период, км/ч;  $x_5$  – количество самосвалов в процентах от общего количества автомобилей;  $x_{11}$  – коэффициент использования пробега в напряженный период.

Коэффициент множественной регрессии  $R = 0,85$ . Структура удельного веса показателей имеет следующие значения: расстояние перевозки – 5,3 %, эксплуатационная скорость – 43,3 %, количество самосвалов – 10,8 %, коэффициент использования пробега – 40,6 %. Управлять изменением расстояний перевозок и количеством самосвалов затруднительно, поэтому повысить производительность при выполнении перевозок грузов автомобильными транспортными средствами можно за счет совершенствования технологического процесса организации перевозок.

Для оценки влияния факторов на эксплуатационную скорость автомобильных транспортных средств в напряженный период уборки урожая в сельском хозяйстве можно на основе анализа объема перевозок грузов и грузооборота в течение августа и октября по формуле

$$S = 1,477 - 0,007Q + 0,009x_8 + 0,046x_9 + 0,004x_5 - 0,099x_{10}, \quad (6)$$

где  $S$  – неравномерность перевозок  $x$  грузов;  $Q$  – удельный объем перевозок грузов на 1 га пашни, т/га;  $x_8$  – среднее расстояние перевозки одной тонны груза, км;  $x_9$  – средняя грузоподъемность одного автомобиля, т;  $x_5$  – количество самосвалов в процентах от общего количества автомобилей;  $x_{10}$  – удельная плотность дорог в км на 100 га общей площади хозяйств.

Коэффициент множественной регрессии  $R = 0,90$ . Наибольший удельный вес влияния на эксплуатационную скорость автомобильных транспортных средств в напряженный период уборки урожая в сельском хозяйстве оказывают: плотность дорог – 29 %, средняя грузоподъемность одного автомобиля – 19,2 %, интенсивность перевозок, т. е. объем грузов на 1 га пашни – 17 %, среднее расстояние перевозки одной тонны груза – 17,3 %, количество самосвалов – 17,5 % (таблица 1).

Таблица 1 – Показатели неравномерности перевозок по объему грузов

Показатель	Коэффициент эластичности	Вклад показателей, %
Объем грузов в расчете на 1 га пашни	-0,097	17
Расстояние перевозки	0,099	17,3
Грузоподъемность автомобиля	-0,110	19,2
Количество самосвалов	0,100	17,5
Плотность всех дорог	-0,166	29,0

Неравномерность перевозок по грузообороту в напряженный период уборки урожая в сельском хозяйстве имеет следующую зависимость:

$$S' = 0,326 - 0,079x_1 + 0,032x_8 + 0,147x_9 + 0,011x_5 - 0,069x_{10} - 0,014x_{13}, \quad (7)$$

где  $x_1$  – удельная грузоподъемность автомобильного парка хозяйства на 100 га пашни;  $x_8$  – среднее расстояние перевозки одной тонны груза, км;  $x_9$  – средняя грузоподъемность одного автомобиля, тс;  $x_5$  – количество самосвалов в процентах от общего количества автомобилей;  $x_{10}$  – плотность всех дорог в км на 100 га общей площади хозяйств;  $x_{13}$  – площадь пашни, тыс. га.

Коэффициент множественной регрессии  $R = 0,96$ . Неравномерность грузооборота уменьшается с ростом грузоподъемности автомобильного парка хозяйства и плотности дорог, а увеличивается с ростом среднего расстояния перевозок, средней грузоподъемности одного автомобиля и количества самосвалов.

Немаловажное значение в эргономической системе имеют транспортные коммуникации. Плотность и качество автомобильных дорог положительно влияют на эффективность организации перевозок грузов и пассажиров. При этом в сельской местности нагрузка на дорожную сеть планируется в 2–2,5 раза ниже реальной, что приводит к быстрому разрушению дорожного полотна [3]. В то же время плохая ровность дороги оказывает отрицательное влияние на эффективность выполнения перевозок и расход топлива транспортным средством.

Определение степени ровности дороги может выполняться следующими методами (ГОСТ 30412 (ГОСТ Р 56925–2016) [9]): измерением просвета между трехметровой рейкой и дорожным полотном, измерением высоты амплитуды неровностей на расстоянии 5 метров дороги.

После измерения просвета на различных участках дорожного полотна данные обрабатываются корреляционной зависимостью или, после аппроксимации, степенной функцией.

По второму методу степень ровности дорог определяют по реакции автомобиля на неровности, измеряя амплитуду и ускорение колебаний кузова. В качестве критерия ровности используют суммарное перемещение кузова в см на 1 км дороги и среднеквадратичные значения ускорений. При оценке ровности дорожного покрытия рекомендуется выдерживать равномерную скорость (для грузовых автомобилей в 50 км/ч). Для более точного учета влияния подвески автомобиля скорость движения во время замеров необходимо выбрать с использованием переходных коэффициентов.

Кроме того, ровность дороги можно определять по международному индексу ровности (IRI) на основе применения дорожного профилометра.

Требования к показателям ровности по методу амплитуд и международному индексу ровности IRI для оснований и покрытий из асфальтобетона, цементобетона, каменных материалов и грунтов, обработанных вяжущими веществами, приведена в таблице 2.

При этом 90 % полученных в процессе измерения величин амплитуд должны быть в пределах допустимых значений, а оставшиеся 10 % величин – не превышать допустимые значения более чем в 1,5 раза.

Таблица 2 – Показатели ровности дорожного покрытия, измеренные различными методами

Таблица 2 – Показатели ровности дорожного покрытия, измеренные различными методами

Категория автомобильной дороги	Допустимые значения амплитуд, мм			IRI, м/км, не более
	Длина прямой линии, м			
	10	20	40	
I	5	8	16	2,2
II	5	8	16	2,2
III	5	8	16	2,2
IV	6	10	20	2,6
V	6	10	20	2,6

Скорость автомобилей в значительной мере зависит от величины ровности дорожных покрытий. Так, при изменении оценки ровности от 0 до 200 см/км (суммарное перемещение кузова в см на 1 км дороги) скорость движения грузовых автомобилей снижается несущественно. Однако снижение скорости автомобилей происходит с ростом неровности дорог до 500–600 см/км.

В процессе проведенных исследований установлена корреляционная связь между оценкой ровности и относительным количеством дорожно-транспортных происшествий. Кроме неровностей дорогу характеризуют уклоны продольного профиля и извилистость дороги, которые влияют на режим движения автомобиля. Целесообразно при конструировании автомобильных транспортных средств увеличивать количество передач. Это позволит положительно повлиять на увеличение средней скорости движения автомобиля при движении по дорогам с частыми подъемами и спусками.

Последним звеном эргономической системы является внешняя среда, которая в известной степени влияет на все остальные звенья. Скорость автомобилей снижается в темное время суток и на участках с ограниченной видимостью из-за извилистости дорог, тумана и осадков в виде дождя и снега.

**Заключение.** В процессе анализа составных частей эргономической системы установлено, что любое ее звено может иметь несколько состояний. Различные комбинации этих состояний дают множество результатов и приводят к необходимости учета всех переменных, особенно в условиях осуществления перевозок грузов и пассажиров в сельской местности, где наблюдается высокая доля трудовых, энергетических и денежных затрат на транспортировку продукции в общей сумме затрат на производство сельскохозяйственной продукции.

В результате факторного анализа выявлено, что на использование автомобилей в напряженный период существенно влияют шесть показателей, которые описывают 79,8 % общей дисперсии. Факторы интерпретированы следующим образом (в порядке значимости): фактор оснащенности и управляемости хозяйств (21,5 % суммарной дисперсии показателей), фактор эффективности транспортных работ (14,3 %), фактор условий труда (12,2 %), фактор технической эксплуа-

тации машинно-тракторного парка (11,2 %), фактор территориальной структуры хозяйства (11,0 %), фактор интенсивности использования автотранспорта хозяйств (9,6 %). В связи с этим целесообразно проводить дальнейшие научные исследования по совершенствованию в этой области эргономической системы «водитель – автомобиль – дорога – внешняя среда».

#### Список литературы

1 Транспорт в Республике Беларусь / Нац. стат. комитет Респ. Беларусь. – Минск, 2021. – 22 с.

2 Перспективы развития транспортного комплекса: материалы VII Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2022. – 425 с.

3 **Кормаков, Л. Ф.** Формирование и использование технического потенциала сельскохозяйственного производства / Л. Ф. Кормаков. – М. : Лань, 2005. – 240 с.

4 **Миленский, В. С.** Планирование перевозок грузов на основе применения математических методов решения транспортной задачи / В. С. Миленский, П. Е. Круглый // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2016. – С. 104–107.

5 Планирование технического обслуживания и ремонта автомобильных транспортных средств / В. С. Ивашко [и др.] // Изобретатель. – 2016. – № 2 (194). – С. 36–41.

6 Применение передвижных ремонтных мастерских на базе автомобилей для оперативного устранения отказов машин / В. С. Ивашко [и др.] // Изобретатель. – 2013. – № 1 (157). – С. 43–45.

7 **Миленский, В. С.** Планирование годового объема ремонтно-обслуживающих работ при технической эксплуатации автомобильных транспортных средств / В. С. Миленский, П. Е. Круглый, С. П. Круглый // Перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. заочной науч.-практ. конф. – Минск : БелНИИТ «Транстехника», 2022. – С. 353–364.

8 Методология нормирования работ, выполняемых при ремонте транспортных средств / В. С. Миленский // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 2 (33). – С. 168–171.

9 ГОСТ Р 56925–2016. Дороги автомобильные и аэродромы. Методы измерения неровностей оснований и покрытий. – М. : Стандартиформ, 2019. – 11 с.

10 **Лоули, Д.** Факторный анализ как статистический метод / Д. Лоули, А. Максвелл. – М. : Книга по требованию, 2013. – 145 с.

Получено 29.09.2023

**V. S. Milenky, P. E. Krugly, S. P. Krugly.** Analysis of components of ergonomic system: driver – car – road – external environment.

The components of the ergonomic system were analyzed: driver – car – road – external environment. It is noted that the main link in the system under consideration is the driver. The speed range in which the optimal level of psychophysiological stress of the driver is achieved is given. It has been found that the body design, carrying capacity, cross-country ability and life of the car have a significant impact on the efficiency of vehicle use. The methods for assessing the flatness of the roadway are given.



**ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС**

УДК 624.21.033.1

*А. А. ПОДДУБНЫЙ*, кандидат физико-математических наук, *Е. В. ПЕЧЕНЕВ*, магистр технических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

**ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ  
АВТОМОБИЛЬНОГО НАПЛАВНОГО СБОРНО-РАЗБОРНОГО БЫСТРОВЗВОДИМОГО  
МОСТА ПОД МАКСИМАЛЬНУЮ ОСЕВУЮ НАГРУЗКУ ДО ДВУХ ТОНН**

Рассматриваются варианты схем наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку. Представлены инженерные и технические решения наплавного моста с помощью 3D-моделирования существующих инвентарных сборно-разборных быстровозводимых мостов. Проанализирована возможность 3D-моделирования и проектирования новых конструкций быстровозводимых мостов под заданную нагрузку.

**В**ведение. Быстровозводимые сборно-разборные мосты показали свою востребованность в определенных структурах и сферах Республики Беларусь. Они продемонстрировали высокую надежность и прочность при длительной эксплуатации в различных климатических условиях, в труднопроходимой, заболоченной местности.

С 2020 года произведено на предприятиях Республики Беларусь и эксплуатируется быстровозводимых сборно-разборных мостов с пролетными строениями СРММП-1.1 – 1992 м; СРММП-1.2 – 16,8 м; СРММП-2 – 56 м. В том числе завершена научно-исследовательская опытно-конструкторская работа «Обоснование основных параметров элементов сборно-разборного металлического наплавного моста грузоподъемностью до 0,5 т» шифр «МНПМ-1,0» и проведены испытания плавучей опоры [1].

Возник вопрос о разработке новых типовых конструкций, удовлетворяющих требованиям сборно-разборных быстровозводимых плавучих мостов с большей грузоподъемностью для выполнения большего количества задач.

Увеличение грузоподъемности пролетных строений влечет за собой повышение материалоемкости конструкций, а это в свою очередь увеличивает массу пролетных строений. Соответственно это будет нарушать саму концепцию и преимущества быстровозводимых мостов, а именно применение конструкций без грузоподъемной техники.

Использование автомобильного легкового транспорта со временем становится всё более востребованным. В среднем в 2022 году на 1000 жителей Республики Беларусь приходилось 323 легковых автомобиля. Нагрузка на ось не превышает двух тонн.

**Варианты схем наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку.**

Для реализации наплавного моста под автомобильную нагрузку с учетом существующих конструкций плавучих опор рассматривается два способа. Конструктивные особенности позволяют увеличивать грузоподъемность секций наплавного моста за счет увеличения количества наплавных опор. Варианты наплавного сборно-разборного быстровозводимого

моста под автомобильную нагрузку представлены на рисунке 1.

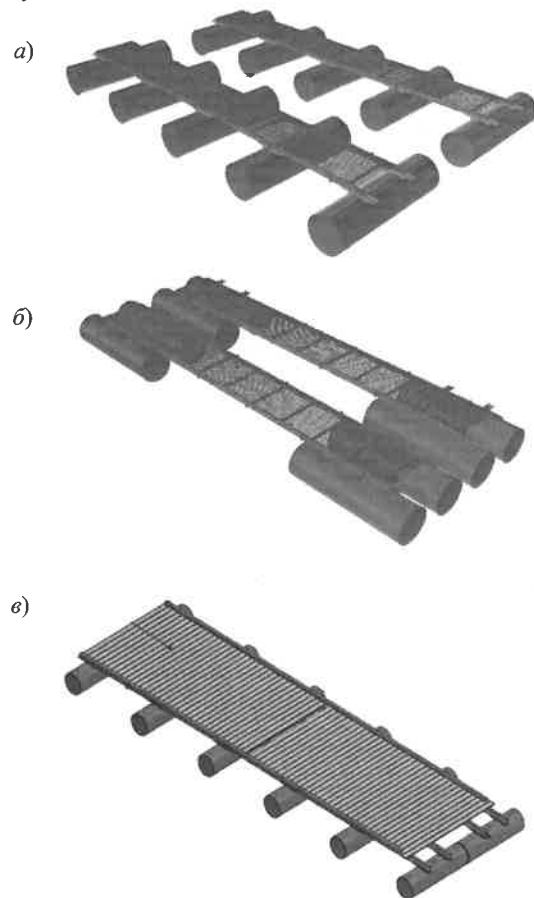


Рисунок 1 – Варианты наплавного сборно-разборного быстровозводимого моста под автомобильную нагрузку:  
*а* – с продольным расположением плавучих опор;  
*б* – с поперечным расположением плавучих опор;  
*в* – с использованием несущей двутавровой балки

При использовании типовых двутавровых балок для восприятия основной нагрузки повышается масса самого пролетного строения и соответственно уменьшается грузоподъемность наплавного моста.

В соответствии с тактико-техническими характеристиками легковых автомобилей и их геометриче-

скими размерами принимаем расчетные схемы наплавных мостов (рисунок 2). Принимаем нагрузку на ось не более двух тонн.

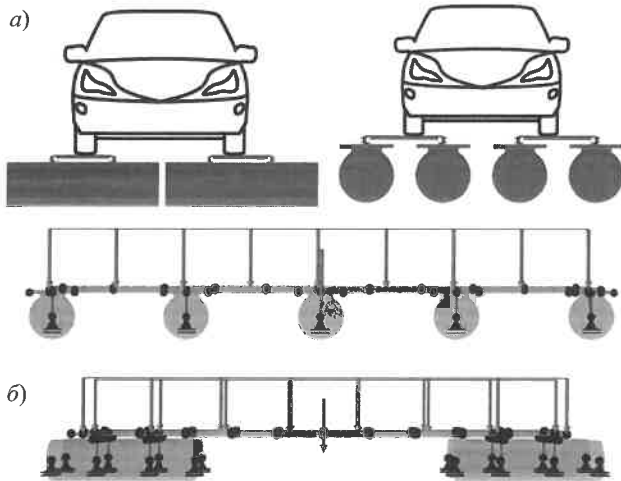


Рисунок 2 – Расчетные схемы загруженности наплавного моста под автомобильную нагрузку с продольным (а) и поперечным (б) расположением плавучих опор

### Основы расчета по схеме балки на сплошном упругом основании.

Внешние нагрузки, приложенные к балке, уравновешиваются распределенной по длине реакцией упругого основания, величина которой прямо пропорциональна прогибу балки в данном сечении (осадке моста):  $q_x = ky$ , где  $k$  – коэффициент основания, имеющий размерность кгс/см<sup>2</sup> и равный реакции основания на единицу длины балки, возникающей при углублении этой единичной площадки в упругое основание на единицу длины. В мостах-лентах  $k = \gamma B$ , то есть равен произведению объемного веса воды на ширину моста  $B$  по расчетной ватерлинии. Для мостов на отдельных опорах  $k = \gamma F / l$ , где  $F$  – расчетная площадь ватерлинии опоры;  $l$  – пролет моста в осях плавучих опор.

Зная жесткость балки  $EI$  (суммарную жесткость балок пролетного строения моста), имеем

$$M = -EI \frac{d^2 y_1}{dx^2} \text{ и } \frac{d^2 M}{dx^2} = p = EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} \quad (1)$$

Поскольку на участках, не загруженных активными силами, внешняя распределенная нагрузка  $p$  представлена только реакцией основания, то  $p = -q = -ky$  и условие равновесия балки в сечении имеет вид

$$EI \frac{d^4 y_1}{dx^4} + ky = 0 \quad (2)$$

Решение этого дифференциального уравнения изогнутой оси балки берется в виде

$$y = C_1 e^{a_1 x} \cos a_1 x + C_2 e^{a_1 x} \sin a_1 x + C_3 e^{-a_1 x} \cos a_1 x + C_4 e^{-a_1 x} \sin a_1 x, \quad (3)$$

где  $a_1$  – упругая характеристика системы «балка – основание»,

$$a_1 = \sqrt[4]{\frac{k}{4EI}} \quad (4)$$

Для бесконечно длинной балки (рисунок 3) в бесконечности прогиб равен нулю ( $y = 0$ ). При наличии в решении дифференциального уравнения непрерывно возрастающей функции это возможно только при  $C_1 = C_2 = 0$ , и первые два члена уравнения исчезают [2].

Полагая начало координат в сечении под нагрузкой  $P = 1$ , стоящей неподвижно, из симметрии системы получим начальный угол поворота  $\phi = y_0 = 0$  и поперечную силу  $Q_0 = 0,5 = -EI y'''$ . Взяв производные  $y_1$  и  $y'''$  от основного решения и решив систему, получим

постоянные интегрирования:  $C_3 = C_4 = \frac{a_1}{2k} e$  [3].

$$y = \frac{a_1}{2k} e^{-a_1 x} (\cos a_1 x + \sin a_1 x) = \frac{a_1}{2k} \eta_x \quad (5)$$

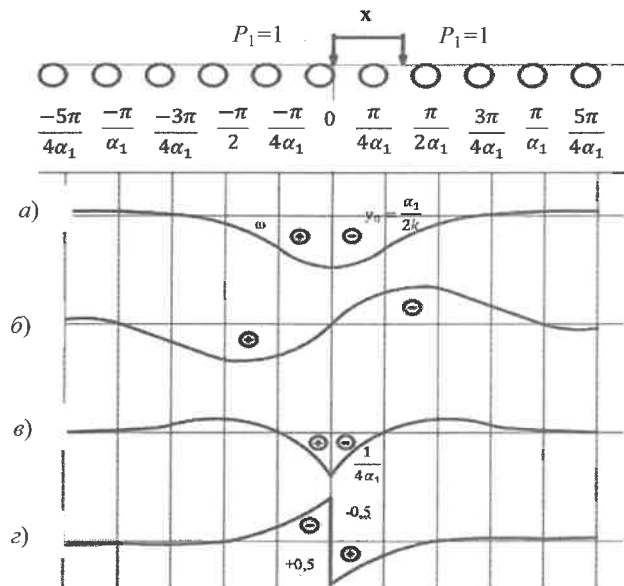


Рисунок 3 – Линия влияния деформаций и усилий в середине речной части наплавного моста неразрезной системы:

$a - \Delta n_{x_0} = \text{л.в. } t_{ox}$ ;  $b - \Delta n_{\phi_{x_0}} = \text{л.в. } \phi_{ox}$ ;  $c - \Delta n_{M_{x_0}} = \text{л.в. } M_{ox}$ ;  
 $d - \Delta n_{Q_{x_0}} = \text{л.в. } Q_{ox}$

### Выбор оптимального варианта посредством моделирования прогиба с помощью программного продукта.

С помощью программного продукта Autodesk Inventor Professiona смоделирована конструкция двух основных принятых инженерных решений наплавного моста под автомобильную нагрузку.

Моделирование прогибов с помощью программного продукта (рисунок 4) показало, что распределение наплавных опор по всей длине пролетного строения значительно снижает прогиб.

В свою очередь при использовании пролетного строения СРММП-1,3 и продольном расположении плавучих опор прогиб в пролетном строении превышает 32 мм и является критическим.

Таким образом, одним из положительных инженерных решений является расположение плавучих опор попеременно пролетного строения.

При этапе моделирования в расчетную схему могут закладываться различные параметры, будь то нагрузка или сечение элементов конструкций. Это позволяет производить моделирование инженерных конструкций нового образца под заданную нагрузку [4].

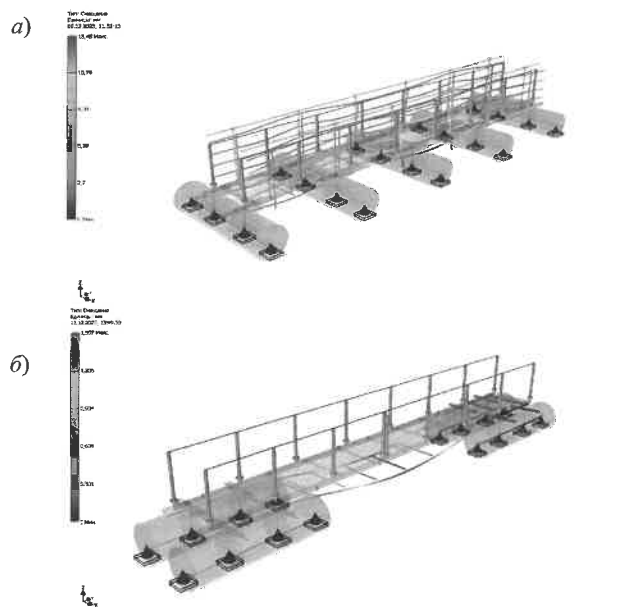


Рисунок 4 – Моделирование прогибов с помощью программного продукта Autodesk Inventor Professional с продольным (а) и поперечным (б) расположением плавучих опор

Количество плавучих опор на одну ось пролетного строения обеспечивает заданную нагрузку в две тонны на ось. За счет уменьшения расстояния между плавучими опорами существующее пролетное строение позволяет воспринимать заданную нагрузку без критических деформаций.

**Вывод.** Разработка инженерных решений быстро-возводимых сборно-разборных мостов под заданную нагрузку является актуальным направлением развития данной концепции мостов. Путем моделирования различных задач, нагрузок с помощью программных комплексов и существующих конструкций быстро-возводимых мостов проектировщик разрабатывает новые инженерные решения технических объектов под заданную нагрузку.

#### Список литературы

- 1 Поддубный, А. А. Особенности применения сборно-разборных быстро-возводимых мостов / А. А. Поддубный, И. С. Демидович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 39–41.
- 2 Poddubny, A. A. Dynamic Loading of the Rod at a Sudden of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // IOP Conference Series: Material Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – P. 1–18.
- 3 Added stress of a cantilever under sudden alterations in its foundation / A. A. Poddubny [et al.] // AIP Conference Proceedings. – 2023. – Vol. 2497, is. 1. – P. 1–10.
- 4 Поддубный, А. А. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 42–44.

Получено 16.10.2023

**A. A. Poddubny, E. V. Pechanov.** Engineering solutions for an automobile floating prefabricated bridge for a maximum axial load of up to two tons.

Variants of schemes for a floating, prefabricated, prefabricated bridge for vehicle loads are being considered. Engineering and technical solutions for a floating bridge are presented using 3D modeling of existing inventory prefabricated prefabricated bridges. The possibility of 3D modeling and design of new structures of prefabricated bridges under a given load is analyzed.

УДК 624.8

А. А. ПОДДУБНЫЙ, кандидат физико-математических наук, И. С. ДЕМИДОВИЧ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОРГАНИЗАЦИИ РАБОТ В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ МОСТОВ

Рассматриваются предложения по организации работ по изготовлению элементов конструкций быстровозводимых мостов в полевых условиях, а именно изготовлению металлических пролетных строений.

**Введение.** В процессе выполнения государственной задачи и проведения научно-исследовательских работ шифры «Строение», «Строение-2», был разработан и изготовлен ряд мостовых конструкций, предназначенных для быстрой установки низководных мостов под различную нагрузку в труднодоступных местах, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий. При разработке основной задачей являлось снижение трудоемкости монтажа мостового пролета, упрощение конструкции для уменьшения массы и количества деталей, снижение стоимости при изготовлении, сборке и эксплуатации. В Республике Беларусь уже возведены и эксплуатируются объекты с применением данных конструкций.

В перспективе дальнейшего расширения применения быстровозводимых мостов рассматривается возможность изготовления элементов конструкций на месте их возведения, в тех случаях, когда доставка готовых элементов невозможна или затруднена.

Как правило, работы по возведению мостового пролета включают в себя:

- 1) проведение геодезических и гидрогеологических изысканий (проведение технической разведки, оценка характеристик грунтов, проведение геодезических изысканий) нескольких створов мостовых переходов;
- 2) проектирование новых конструкций мостовых переходов;
- 3) моделирование воздействия нагрузок на конструкции моста с использованием программного обеспечения Autodesk Inventor;
- 4) разработка конструкторской документации для изготовления пролетов;
- 5) производство пролетного строения;
- 6) натурные испытания изготовленного пролетного строения на соответствие расчетным характеристикам;
- 7) производство и монтаж всех конструкций моста;
- 8) испытание мостового пролета.

В ходе выполнения научно-исследовательских работ шифры «Строение», «Строение-2» были спроектированы сборно-разборные металлические мостовые пролеты СРММП-1 в трех вариантах и СРММП-2, с их использованием были спроектированы и возведены мостовые переходы под различную нагрузку, однако все основные элементы мостовых конструкций изготавливались в условиях производства.

В ряде случаев доставка готовых элементов конструкций с использованием транспортных средств не-

возможна или затруднена местными условиями. Однако еще на стадии проектирования мостовых конструкций была заложена возможность их изготовления в полевых условиях непосредственно на месте строительства мостового перехода.

**Предложения по организации работ по изготовлению сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1 в полевых условиях.**

Сборно-разборный металлический мостовой пролет СРММП-1 (рисунок 1) предназначен для возведения низководных пешеходных мостов грузоподъемностью 500 кг.

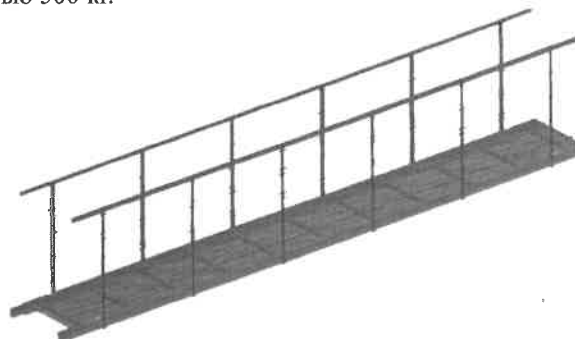


Рисунок 1 – 3D-модель сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1

Составными частями СРММП-1 являются главные балки, пешеходный настил, перильное ограждение.

Сборно-разборный металлический мостовой пролет состоит из двух главных балок, изготовленных из профильной трубы по ГОСТ 30245–2003 сечением 120×80×5 мм длиной 6 м, марка стали не ниже Ст45 по ГОСТ 27772–1988.

Пешеходный настил состоит из поперечных и продольных связей, выполненных из уголков по ГОСТ 8509–1993 сечением 40×40×4 мм и просечно-вытяжного листа ПВЛ 506 по ГОСТ 8706–1978, сечением 1,0×1,0 м, марки стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Перильное ограждение выполнено из уголка по ГОСТ 8509–1993 сечением 30×30×3 мм и состоит:

- из стойки перил высотой 1,25 м;
- перил длиной 6 м;
- продольного усиления, выполненного из полосы стали по ГОСТ 103–2006 сечением 30×4 мм, длиной 6 м, марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Технические характеристики сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-1-1 (СРММП-1-2, СРММП-1-3):

- грузоподъёмность до 500 кг;
- ширина – 1 м;
- длина – 6,0 м (8,4, 9,2 м);
- масса пролетного строения – 300 кг (340, 410 кг);

Изготовление малогабаритного сборно-разборного мостового пролета можно организовать как на предприятиях, так и в полевых условиях. При этом все его элементы рассчитаны таким образом, что не составляет трудностей их перевозить любым видом транспорта, производить погрузочно-разгрузочные работы без использования специальной техники [2].

Для изготовления данного пролета в полевых условиях необходима доставка к месту работ ряда оборудования и инструмента, а также материалов. При этом подготовительные работы должны быть сведены к минимуму.

При выборе площадки для производства работ нет особых требований, она должна лишь позволять разместить пролетное строение длиной 6 м (8,4, 9,2 м, в зависимости от варианта пролетного строения), необходимое оборудование и материалы.

Последовательность работ включает в себя:

- доставку материалов и оборудования к месту производства работ;
- подготовку материалов (обрезка в проектный размер всех элементов, при необходимости очистка);
- установку главных балок пролетного строения из профильной трубы с соблюдением необходимого пространственного положения (параллельность, ширина между осями, перпендикулярность их торцов);
- установку и приваривание к главным балкам поперечных связей пешеходного настила;
- установку и приваривание продольных связей пешеходного настила;
- установку и приваривание просечно-вытяжного листа пешеходного настила;
- приваривание креплений для перильного ограждения к главным балкам пролетного строения;
- сборку перильного ограждения;
- установку и закрепление перильного ограждения на пролетное строение;
- покрасочные работы.

Для выполнения данных работ необходимо следующее оборудование и инструмент:

- 1) сварочный аппарат ручной дуговой сварки (ММА-сварка) или сварочный полуавтомат для сварки в среде активного или инертного газа (MAG или MIG сварка);
- 2) бензиновый или дизельный генератор переменного тока напряжением 220 В мощностью не менее 4 кВт для надежного обеспечения работы сварочного оборудования;
- 3) инструмент для резки и зачистки металла – углошлифовальная машина под круг диаметром 180 или 230 мм, углошлифовальная машина под круг диаметром 125 мм;
- 4) инструмент для сверления отверстий в металле – электродрель или аккумуляторная дрель-шуруповерт;
- 5) оснастка и расходные материалы – сверла, абразивные отрезные и зачистные круги, сварочные электроды, а при использовании сварочного полуавтомата – сварочная проволока и баллон с углекислым газом или сварочной смесью газов, резьбовой крепеж;

- 6) слесарный инструмент для сборки конструкций;
- 7) измерительный инструмент – рулетка, штангенциркуль, лазерный нивелир либо гидроуровень, пузырьковый уровень;

- 8) оборудование для лакокрасочных работ – компрессор и краскораспылитель, кисти.

Одной из важнейших задач при изготовлении пролетного строения является соблюдение геометрических параметров конструкции с заданной точностью. Для этого необходимо по уровню установить две монтажные поперечины. Они могут быть выполнены как из металла, так и из дерева. В грунт забиваются два бруска, на которые укладывается и закрепляется поперечина. Для контроля их положения наиболее удобно использовать лазерный нивелир, но можно обойтись и более простыми средствами – пузырьковым и гидроуровнем. Этому необходимо уделить особое внимание, так как от точности установки монтажных поперечин будет критически зависеть точность изготовления всего пролетного строения.

Далее на монтажные поперечины укладываются профильные трубы (рисунок 2), образующие главные балки, с помощью рулетки выставляется расстояние между ними, после чего необходимо проконтролировать диагонали (расстояние между противоположными углами должно быть одинаково) и при необходимости сдвигать одну из труб в продольном направлении для выравнивания длин диагоналей. Это обеспечит соблюдение прямых углов и правильное положение торцов главных балок.

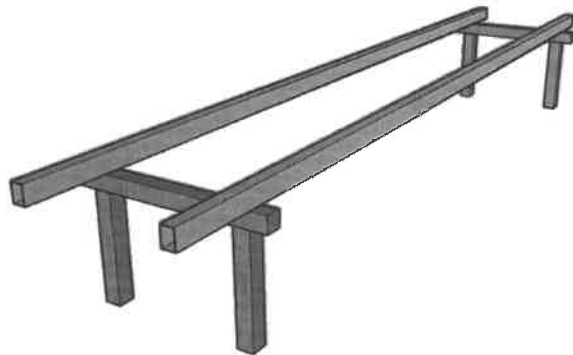


Рисунок 2 – Схема укладки главных балок на монтажные поперечины

После выставления главных балок между ними устанавливаются и привариваются поперечные связи пешеходного настила, выполненные из уголка. При этом целесообразно сначала установить крайние поперечные связи (рисунок 3), что обеспечит начальную жесткость конструкции, и после этого еще раз проконтролировать все геометрические размеры и, если корректировка не нужна, установить и приварить промежуточные поперечные связи.

Следующим этапом устанавливаются и привариваются продольные связи и просечно-вытяжные листы пешеходного настила. После выполнения данных операций будет обеспечена окончательная жесткость пролетного строения и его при необходимости можно снять с монтажных поперечин и переместить в сторону на подкладки, что позволит начать сборку следующего пролетного строения.



Рисунок 3 – Установленные и приваренные крайние поперечные связи пешеходного настила

Далее к главным балкам привариваются проушины для установки перильного ограждения, а в торцы главных балок с одной стороны ввариваются соединители, выполненные из профильной трубы меньшего сечения. Перильное ограждение может быть собрано отдельно и затем установлено и закреплено болтами в проушины пролетного строения.

Заключительным этапом изготовления пролетного строения СРММП-1 будет его окрашивание с помощью краскораспылителя и компрессора, который может быть как с собственным двигателем внутреннего сгорания, так и электрическим, подключаемым к генератору.

**Предложения по организации работ по изготовлению сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2 в полевых условиях.**

Для возведения мостовых переходов через водные преграды грузоподъемностью до 1 т спроектировано сборно-разборное металлическое мостовое пролетное строение СРММП-2. Составными частями СРММП-2 являются главные балки, металлический настил, колесоотбой и перильное ограждение (рисунок 4).

СРММП-2 предназначен для быстрой установки низководных мостов под нагрузку до 1 т через водные преграды, при чрезвычайных ситуациях и при ликвидации стихийных бедствий.

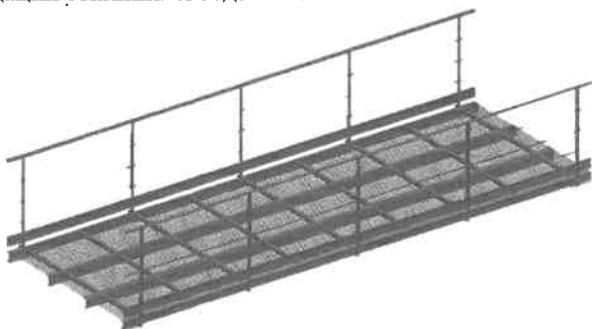


Рисунок 4 – 3D-модель сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2

В качестве несущих элементов СРММП-2 принимаются главные балки, которые выполнены из профильных труб по ГОСТ 8645–82 сечением  $120 \times 80 \times 5$  мм длиной 6 м и сечением  $100 \times 60 \times 4$  мм длиной 6 м. Марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88.

Пешеходный настил состоит из поперечных связей, выполненных из уголков по ГОСТ 8509–1993 сечением

$40 \times 40 \times 4$  мм, марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88, а также просечно-вытяжного листа ПВЛ  $406 \times 2000 \times 6000$  по ГОСТ 8706–78. Марка стали не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Для обеспечения надежного соединения секций пролетных строений между собой предусмотрено вваривание с одной стороны труб  $100 \times 60 \times 4$  мм длиной 350 мм и  $80 \times 40 \times 2$  мм длиной 300 мм по ГОСТ 8645-82, а также листов металла  $50 \times 70$  мм,  $50 \times 100$  мм,  $50 \times 50$  мм,  $50 \times 80$  мм по ГОСТ 19903-74. С целью усиления главной балки из профильной трубы сечением  $100 \times 60 \times 4$  мм на стыке пролетных строений снизу конструкции вваривается лист металла  $60 \times 250$  по ГОСТ 19903–74. Марка стали не ниже Ст 3 по ГОСТ 16523–97.

Колесоотбой (отбойник) состоит из полотна  $120 \times 6000$  мм (листовой прокат по ГОСТ 19903–74), марка стали Ст3 по ГОСТ 16523–97, уголка  $32 \times 32 \times 4$  мм по ГОСТ 8509–93. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 535–88 [3].

Перильное ограждение выполнено из уголка по ГОСТ 8509–1993 сечением  $30 \times 30 \times 3$  мм, состоит из стойки перил высотой 1,25 м, поручня перил длиной 6 м и из продольного усиления (полосовой стали по ГОСТ 103–2006 сечением  $30 \times 4$  мм, длиной 6 м. Марка стали – не ниже Ст3 по ГОСТ 380–2005.

Технические характеристики сборно-разборного металлического мостового пролета СРММП-2:

- расчетная ширина пролетного строения – не менее 1,8 м;
- длина пролетного строения – 6 м;
- грузоподъемность – до 1 т;
- высота моста – не менее 0,5 м от уровня высоких вод.

Грузоподъемность моста до 1 тонны позволяет пропуск по нему как пешеходов, так и легких транспортных средств (например, квадроциклов, мини-тракторов и т. п.), что значительно расширяет возможности его применения. [4]

Последовательность сборки пролетного строения СРММП-2 в полевых условиях принципиально не отличается от последовательности сборки пролетного строения СРММП-1, перечень необходимого оборудования также остается без изменений.

Ключевым отличием пролетного строения СРММП-2 является использование четырех главных балок, причем средние балки имеют большее сечение, чем крайние. В связи с этим технология изготовления пролетного строения в полевых условиях будет иметь некоторые отличия от предложенной технологии для пролетного строения СРММП-1.

Первым этапом так же, как и для пролетного строения СРММП-1, необходимо установить по уровню две монтажные поперечины. При этом нужно учитывать, что ширина пролетного строения СРММП-2 составляет 1,8 м, следовательно, поперечины должны иметь длину минимум 2 м для удобства работы. Так как высоты главных балок не равны, в местах укладки двух крайних балок на поперечины необходимо установить подкладки толщиной 20 мм.

Далее на монтажные поперечины укладываются две крайние главные балки, причем уложить их необ-

ходимо на заранее закрепленные подкладки толщиной 20 мм, так как их высота на 20 мм меньше высоты средних балок. После этого крайние балки необходимо выставить в правильное пространственное положение, контролируя ширину между ними и длины диагоналей. Следующими на необходимой ширине укладываются две средние балки, а их торцы выравниваются по шнуру между двумя крайними балками.

После выставления главных балок между ними устанавливаются и привариваются поперечные связи пешеходного настила, выполненные из уголка. Также целесообразно сначала установить крайние поперечные связи между всеми балками, а затем еще раз проконтролировать точность геометрических размеров пролетного строения. Если корректировка не требуется, далее устанавливаются и привариваются все остальные поперечные связи и просечно-вытяжной лист настила. По выполнении этих операций будет обеспечена жесткость пролетного строения, и дальнейшую сборку можно производить после снятия его с монтажных поперечин и перемещения на подкладки.

Последующая сборка осуществляется по аналогии с пролетным строением СРММП-1.

**Вывод.** Быстровозводимые мосты и переправы имеют широкие перспективы применения. Простота конструкции обеспечивает возможность изготовления пролетных строений при минимальном обучении тех-

нического персонала, практически в любых условиях обстановки. При невозможности или затруднении доставки готовых пролетных строений к месту строительства их изготовление можно организовать в полевых условиях, используя внесенные в статью предложения. Всё перечисленное оборудование и инструмент, необходимые для данных работ, могут перемещаться вручную, что значительно упрощает логистику их доставки и разгрузки.

#### Список литературы

1 Поддубный, А. А. Особенности применения сборно-разборных быстровозводимых мостов / А. А. Поддубный, И. С. Демидович // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 39–41.

2 Поддубный, А. А. Методика расчета критической силы сжатого стержня, погруженного в упругое основание / А. А. Поддубный, В. А. Гордон // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2019. – № 1 (38). – С. 49–52.

3 Poddubny, A. A. Dynamic Loading of the Rod at a Sudden of Elastic Foundation Structure / A. A. Poddubny, V. A. Gordon // IOP Conference Series : Material Science and Engineering. – 2021. – Vol. 1079. – Paper 042076.

4 Поддубный, А. А. Концепция интеллектуальной системы поддержки принятия решений по восстановлению мостовых переходов / А. А. Поддубный, Е. В. Печенев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2023. – № 1 (46). – С. 42–44.

Получено 02.10.2023

**A. A. Poddubny, I. S. Demidovich.** Development and manufacture of a small-size collapsible bridge span.

The development and manufacture of a small-size collapsible bridge span designed for quick installation of pedestrian low-water bridges in hard-to-reach places, in emergency situations and in the elimination of natural disasters is considered.



УДК 625.142.21

*В. В. РОМАНЕНКО, старший преподаватель, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель, П. В. КОВТУН, доцент, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. О. ВЛАСЕНКО, Белорусская железная дорога, г. Борисов*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОСТАВНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Существующие условия производства продукции ОАО «Борисовский шпалопродиточный завод» определяют наличие остатков лесоматериалов, получаемых после изготовления переводных брусьев для стрелочных переводов. С учетом ежегодных объемов изготавливаемых комплектов переводных брусьев как для внутреннего рынка, так и на экспорт, объемы остатков весьма значительны и не могут быть использованы для изготовления цельнобрусковых шпал.

Одним из вариантов применения этих остатков может стать изготовление составных деревянных шпал путем их сращивания по примеру «ласточкин хвост». Изготовление составных шпал позволит не только реализовать остатки, но и сэкономить объемы вырубленной деловой древесины. Применение таких шпал экономически оправдано для малодеятельных станционных путей и путей необщего пользования.

**Введение.** Основная цель работы железнодорожного транспорта – обеспечение безопасного пропуска поездов. Во многом это зависит от содержания верхнего строения железнодорожного пути (ВСП), в состав которого входят рельсы, подрельсовое основание, скрепления и балласт.

Каждый из элементов ВСП должен отвечать определенным требованиям, зависящим от его назначения, а также назначения железнодорожного пути (общего и необщего пользования) и условий эксплуатации.

Одним из основных требований, предъявляемых к надежности железнодорожного пути, является обеспечение стабильного геометрического положения рельсовой колеи. В значительной степени стабильность зависит от вида и состояния подрельсового основания: деревянных и железобетонных шпал (для путей), переводных (для стрелочных переводов) и мостовых (для мостов с ездой на балласте) брусьев [1].

Вся деревянная шпалопродукция для нужд Белорусской железной дороги (БЖД) выпускается ОАО «Борисовский шпалопродиточный завод» (БШПЗ). Для изготовления шпал БШПЗ приобретает лесоматериалы – пиловочные бревна сосны либо ели 1, 2, 3-го сортов диаметром от 26 см и более, а длиной от 5,5 до 6,0 метров.

Из бревна длиной 5,5 м возможно изготовить две шпалы длиной 2,75 м, при этом остатки пиловочного бревна либо отсутствуют, либо незначительны по величине. В отличие от шпал переводные брусья имеют размеры по длине от 3,0 до 5,5 м с шагом 0,25 м, что после их нарезки определяет остаток с каждого пиловочного бревна. В зависимости от нарезаемого бруса длина остатков варьируется от 2,5 до 0,25 м, которые в свою очередь не могут быть использованы для изготовления цельнобрусковой шпалопродукции согласно нормативам, установленным [2].

Значительные объемы образующихся остатков пиловочных бревен, которые нельзя использовать в качестве цельнобрусковых шпал, предлагается реализовать в виде составных деревянных шпал. Для реализации этого предложения необходимо разработать варианты, способы и конструкционные схемы составных деревянных шпал.

Предприятие ОАО «Борисовский шпалопродиточный завод» осуществляет автоклавную пропитку продукции: шпал, полушпал, брусьев для стрелочных переводов, мостовых брусьев для железных дорог и пиломатериалов – маслянистыми и водорастворимыми антисептиками. Современная технология пропитки и оборудование позволяют обеспечить долговременную защиту древесины от разрушений грибками и бактериями под воздействием окружающей среды, а значит, увеличить срок эксплуатации шпалопродукции [3].

Проектная мощность БШПЗ рассчитана на ежегодный выпуск 1 миллиона деревянных шпал. Кроме обеспечения в полном объеме потребностей БЖД с 2013 года предприятие является активным экспортером деревянной шпалопродукции (рисунок 1).



Рисунок 1 – География экспортных поставок в 2022 г.

Ежегодно дистанциями пути заменяются стрелочные переводы, выработавшие свой ресурс, новыми на железобетонном либо на деревянном основании, а также производится замена только комплектов деревянных переводных брусьев (таблица 1).

Таблица 1 – Реализация шпалопродукции БШПЗ

Показатель	Единица измерения	Год		
		2021	2022	2023
Шпалы деревянные пропитанные:	шт.			
		– внутренний рынок	108 681	113 050
– экспорт		219 347	220 514	342 500
Брусья деревянные пропитанные:	комплект			
		– внутренний рынок	602	475
– экспорт		497	285	326

В зависимости от места расположения брусьев они разделяются на подстрелочные (минимальной длины), промежуточные, подкрестовинные и закрестовинные (максимальной длины). Основные марки стрелочных переводов – 1/9 и 1/11, которые имеют различие в длине и соответственно в количестве переводных брусьев.

Наибольшее распространение получили переводы типа Р65 марки 1/11, для которых исходя из количества брусьев определенной длины количество остатков соответственно составит 2,5 м – 16 шт., 2,25 м – 10 шт., 2,0 м – 8 шт., 1,75 м – 7 шт., 1,5 м – 5 шт., 1,25 м – 6 шт., 1,0 м – 7 шт., 0,75 м – 6 шт., 0,5 м – 5 шт., 0,25 м – 6 шт.

Реализация БШПЗ остатков длиной 2,0, 2,25 и 2,5 м в незначительных объемах возможна для нужд населения. Остальные остатки либо не реализуются, либо их применение не соответствует назначению древесины 1-го и 2-го сортов, которая характеризуется достаточной прочностью, хорошей геометрией, отсутствием гнилых участков и существенных изломов и должна быть применима для строительных работ и конструктивных изделий.

Существующие на сегодняшний день конструктивные схемы составных деревянных шпал требуют наличия каких-либо крепежей (нагелей) либо склеивания элементов между собой. При этом все схемы предполагают горизонтальное соединение элементов, что не удовлетворяет требованиям поставленной задачи, так как реализация остатков должна предусматривать продольное соединение – сращивание.

**Продольное сращивание деревянных элементов.** Для продольного сращивания деревянных элементов существуют различные способы, одни из которых предполагают применение крепежных деталей, другие – нет. Применение крепежей поставит перед БШПЗ ряд новых задач по их изготовлению либо приобретению, что в свою очередь повысит стоимость составной шпалы и ограничит ее реализацию потребителям.

Одним из вариантов соединения без дополнительного крепления является способ сращивания впритык сквозным сквороднем – «ласточкин хвост». Это сращивание является одним из самых прочных, образует замок шип-паз. Шип имеет трапециевидную форму, которая и препятствует разъезжанию частей, паз повторяет форму шипа. Размеры остатков бревен позволяют разработать схему с одним соединением, при этом возможно будет использовать остатки длиной 1,75; 2,0; 2,25 и 2,5 м. При двойном сращивании элементов (рисунок 2) возможно применять остатки меньшей длины, например, для размера  $a$  – 1,25 м и более, для  $b$  – 0,75 м и более.

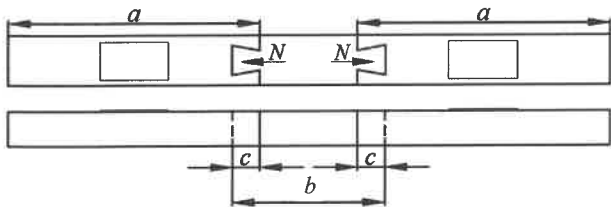


Рисунок 2 – Конструктивная схема составной деревянной шпалы с двойным сращиванием

Для равномерного восприятия поездной нагрузки длина крайних элементов должна определяться усло-

вием симметричности каждого из элемента относительно оси рельса. Исходя из длины шпалы 2750 мм и расстояния между осями рельсов 1600 мм размер  $a$  будет равен 1150 мм. Длина среднего элемента  $b$  будет зависеть от длины шипа  $c$ . В случае если  $c \leq 150$  мм, то размер среднего элемента будет в пределах 750 мм.

Для разработки конструктивных схем необходимо определить количество остатков различной длины для определения преимуществ их применения (рисунок 3).

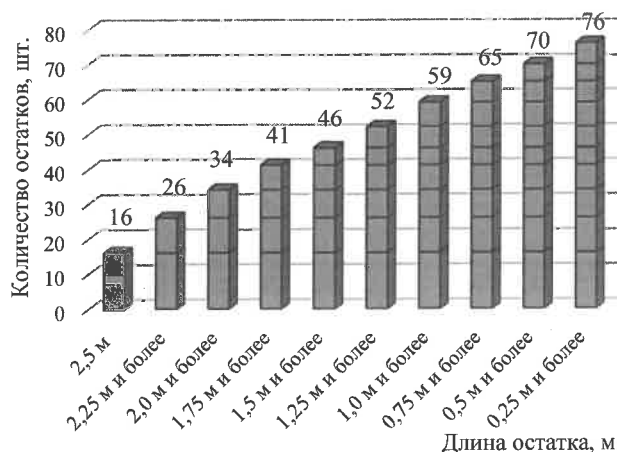


Рисунок 3 – Количество остатков брусьев соответствующей длины

Согласно рисунку 3 количество остатков длиной 1,25 м и более составляет 52 шт., причем из 16 (длиной 2,5 м) возможно изготовить два элемента размером  $a$ . Количество остатков длиной от 1,25 до 2,25 м составляет  $52 - 16 = 36$  шт., кроме того,  $26 / 2 = 13$  шт. Таким образом, из остатков длиной 1,25 м и более возможно изготовить  $36 + 13 = 49$  элементов размером  $a$  либо  $b$ .

Средний элемент (при условии его длины до 750 мм) дополнительно возможно изготовить из остатков длиной 0,75 м и более. Таким образом, за вычетом уже учтенных остатков их количество составит  $65 - 52 = 13$  шт.

#### Объемы составных деревянных шпал.

С одного комплекта переводных брусьев количество остатков для крайних брусьев составляет 49 шт., для среднего – 13 шт. и более. Таким образом, количество изготавливаемых составных деревянных шпал может быть до 20 шт.:

$$49 + 13 = 62 / 3 = 20,7 = 20.$$

Согласно таблице 1 ежегодно на БШПЗ изготавливается значительное количество комплектов переводных брусьев для стрелочных переводов, реализуемых как на внутреннем рынке, так и на экспорт. За 2021, 2022 и 2023 годы в среднем было изготовлено для внутреннего рынка

$$602 + 475 + 427 = 1504 / 3 = 501 \text{ комплект/год.}$$

Количество составных шпал может составить с учетом среднегодового объема остатков

$$20 \cdot 501 = 10020 \text{ шпал/год.}$$

При условии реализации остатков длиной 2,5 м для иных нужд количество составных шпал

$$(52 - 26) + 13 = 39 / 3 = 13 \cdot 501 = 6513 \text{ шпал/год.}$$

Количество комплектов брусьев, изготовленных на экспорт,

$$497 + 285 + 326 = 1108 / 3 = 369 \text{ комплектов/год.}$$

С учетом остатков от экспортных комплектов, количество составных деревянных шпал при использовании всех остатков и за исключением длиной 2,5 м составит соответственно

$$20 \cdot (501 + 369) = 17\,400 \text{ шпал/год;}$$

$$13 \cdot (501 + 369) = 11\,310 \text{ шпал/год.}$$

Дополнительным условием можно считать наличие в остатках брака, появившегося при распиловке бревен и других ситуациях, в объеме 10 %, при этом количество составных шпал

$$11\,310 - 10\% = 10\,179 \text{ шпал/год.}$$

**Сферы применения составных деревянных шпал.** На сегодняшний день деревянные шпалы не применяются на главных и приемо-отправочных путях, исключение составляют стрелочные переводы, примыкающие к ним звенья и съезды. Основной объем деревянного основания эксплуатируется на станционных путях и путях необщего пользования [4].

Малодеятельные станционные пути и пути необщего пользования характеризуются невысокими скоростями движения поездов, как правило до 15 км/ч. Согласно классификации железнодорожных путей [5] такие пути относятся к 5-му классу. Требования к содержанию этих путей обусловлены низкими скоростями и, как следствие, невысокими поездными нагрузками, передаваемыми от подвижного состава на подрельсовое основание, балласт и земляное полотно.

Согласно [6] предельная доля негодных шпал на километре для путей 5-го класса при ограничении скорости движения поездов 25 км/ч составляет 45–50 % от общего количества. При большем количестве негодных шпал скорость может быть снижена менее 25 км/ч. Кроме того, при ограничении скорости движения до 15 км/ч допускается 5 и более негодных шпал в кусте в прямых участках и кривых радиусом 650 м и более, а также 4 и более – в кривых радиусом 650 м и менее.

Исходя из эксплуатационных требований, предъявляемых к железнодорожным путям 5-го класса, целесообразно предположить, что применение составных деревянных шпал на таких участках будет возможно.

**Вывод.** Имеющиеся на БШПЗ остатки пиловочных бревен после изготовления переводных брусьев для стрелочных переводов возможно реализовать в качестве составных деревянных шпал. Максимальное количество таких шпал возможно изготовить с использованием остатков длиной 0,75 м и более.

Получено 02.10.2023

**V. V. Romanenko, P. V. Kovtun, A. O. Vlasenko.** Forecasting the effectiveness of composite wooden sleepers.

The existing conditions of production of the products of JSC "Borisovsky shpalopropitochny Plant" determine the presence of timber residues obtained after the manufacture of transfer bars for switches. Taking into account the annual volumes of manufactured sets of transfer bars, both for the domestic market and for export, the volume of residues is very significant and cannot be used for the manufacture of solid-wood sleepers.

One of the applications of these residues can be the manufacture of composite wooden sleepers from three elements by splicing them "dovetail". The production of composite sleepers will allow not only to realize the remains, but also to save the volume of cut down business wood. The use of such sleepers is advisable for inactive station tracks and paths of non-public use.

Для исключения удорожания технологии изготовления составных деревянных шпал за счет применения крепежных деталей либо клея целесообразно в качестве продольного сращивания использовать «ласточкин хвост».

Оптимальная конструктивная схема составной шпалы предполагает сращивание трех элементов, крайние из которых имеют длину 1150 мм, а средний – порядка 750 мм в зависимости от длины шипа соединения.

Минимальная эпюра шпал (количество шпал на 1 километр) на малодеятельных станционных путях и путях необщего пользования составляет 1440 шт./км на прямолинейных участках и в кривых радиусом 650 м и более. При возможных объемах изготовления составных шпал в размере 10 179 штук ежегодно, а также с учетом эпюры шпал протяженность участка для реализации таких шпал

$$10\,179 / 1440 = 7,1 \text{ км.}$$

Для изготовления 1 километра цельнобрусковых шпал необходима вырубка 2 га 80–100-летних деревьев хвойных пород. Изготовление составных деревянных шпал из остатков пиловочных брусьев позволит ежегодно сокращать расход значительных объемов деловой древесины и рационально использовать его для нужд экономики в иных целях.

#### Список литературы

1 **Невзорова, А. Б.** О целесообразности и перспективах применения деревянных шпал в криволинейных участках пути / А. Б. Невзорова, В. В. Романенко // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 2 (246). – С. 242–249.

2 **ГОСТ 78-2014.** Шпалы деревянные для железных дорог широкой колеи. Общие технические условия. – Введ. 01.03.16. – Минск : Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь, 2016. – 18 с.

3 **Божелко, И. К.** Определение долговечности защитных средств для древесины, эксплуатируемой в тяжелых условиях / И. К. Божелко, И. К. Леонович // Труды БГТУ. – 2011. – № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 200–203.

4 **Итоги работы путевого хозяйства в 2022 году и задачи на 2023 год : отчет гос. объединения «Белорусская железная дорога».** – Минск : Белорусская железная дорога, 2023. – 16 с.

5 **СТП БЧ 56.388-2022.** Положение о системе ведения путевого хозяйства : утв. приказом зам. Нач. Бел. ж. д. от 14.05.2022 № 370 НЗ. – Введ. 22.06.22. – Минск : Белорусская железная дорога, 2022. – 35 с.

6 **СТП 09150.56.010-2005.** Текущее содержание железнодорожного пути. Технические требования и организация работ : утв. приказом Нач. Бел. ж. д. от 29.06.2006 № 221 Н. – Введ. 01.07.06. – Минск : Белорусская железная дорога, 2006. – 290 с.

УДК 624.012.45/46.62-192

А. А. ВАСИЛЬЕВ, кандидат технических наук, Ю. К. КАБЫШЕВА, аспирант, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КАРБОНИЗАЦИИ БЕТОНОВ КЛАССОВ ПО ПРОЧНОСТИ НА СЖАТИЕ $C^{12}/_{15}$ – $C^{50}/_{60}$ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЙ

По результатам многолетних исследований карбонизации бетона на основе определения изменения во времени по сечению бетона карбонатной составляющей цементно-песчаной фракции бетона получены расчетно-экспериментальные зависимости прогнозирования карбонизации в зависимости от расчетного содержания цемента для различных марок бетонных смесей по удобоукладываемости и эксплуатационных условий.

**Введение.** Карбонизация бетона оценивается и прогнозируется на основе использования прямо или косвенно (в полученных зависимостях определения глубины, скорости, времени) фенолфталеинового теста (ФФТ) [1–3].

Многолетние исследования развития карбонизации во времени по сечению бетонов различных составов показали некорректность использования ФФТ и необходимость разработки и применения других методов исследования карбонизации [4–6].

**Основная часть.** На основе предложенного метода оценки и прогнозирования карбонизации по определению карбонатной составляющей (показателя КС) цементно-песчаной фракции бетона [2], на базе результатов исследования начальной карбонизации по сечению бетона [7] и развития ее во времени в зоне расположения стальной арматуры для различных эксплуатационных условий [8] была получена расчетно-экспериментальная зависимость развития карбонизации во времени по сече-

нию бетона для расчетного содержания цемента и различных эксплуатационных условий.

В общем виде

$$КС(\rho_p, l, t) = \gamma_1 + (\gamma_2 + \gamma_3 \sqrt{t}) e^{\left(14,2 - \left(\frac{t+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}, \quad (1)$$

где  $\gamma_1, \%$ ;  $\gamma_2, \%$ ;  $\gamma_3, \%/лет^{1/2}$  – коэффициенты.

Показатель КС рассчитывался по [9] для составов бетона наиболее часто выпускаемых сборных железобетонных изделий для расчетных значений содержания цемента ( $\rho_p$ ): для жестких смесей марок по удобоукладываемости Ж1 и Ж2 (для средних значений «Ц»), и подвижных смесей (П1) – для значений количества цемента, соответствующих верхней границе осадки конуса ( $OK = 4$  см).

Значения коэффициентов  $\gamma_1$ – $\gamma_3$  для классов бетона по прочности на сжатие  $C^{12}/_{15}$ – $C^{50}/_{60}$  для подвижных (П1) смесей (для расчетных значений цемента) и различных условий эксплуатации приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Значения коэффициентов  $\gamma_1$ – $\gamma_3$  для различных классов бетона по прочности на сжатие и условий эксплуатации для подвижных смесей марки по удобоукладываемости П1

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента, $\rho_{фп}, кг/м^3$	Условия эксплуатации								
		СХ О			СХ У			ОПЗ О		
		$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$C^{12}/_{15}$	213	2,43	0,510	0,623	2,43	0,500	1,15	2,43	0,500	0,311
$C^{16}/_{20}$	275	2,91	0,570	0,573	2,91	0,570	1,09	2,91	0,570	0,249
$C^{18}/_{22,5}$	305	3,14	0,610	0,549	3,14	0,600	1,06	3,14	0,600	0,219
$C^{20}/_{25}$	334	3,37	0,630	0,526	3,37	0,630	1,03	3,37	0,630	0,190
$C^{22}/_{27,5}$	364	3,60	0,670	0,502	3,60	0,660	1,00	3,60	0,660	0,160
$C^{25}/_{30}$	397	3,85	0,710	0,476	3,85	0,700	0,967	3,85	0,700	0,127
$C^{28}/_{35}$	464	4,37	0,780	0,422	4,37	0,770	0,900	4,37	0,770	0,060
$C^{30}/_{37}$	490	4,57	0,800	0,401	4,57	0,800	0,874	4,57	0,800	0,034
$C^{32}/_{40}$	529	4,87	0,850	0,370	4,87	0,840	0,835	4,87	0,840	–0,005
$C^{35}/_{45}$	592	5,35	0,920	0,320	5,35	0,920	0,772	5,35	0,920	–0,068
$C^{40}/_{50}$	654	5,83	0,990	0,270	5,83	0,980	0,710	5,83	0,980	–0,130
$C^{45}/_{55}$	714	6,29	1,06	0,222	6,29	1,05	0,650	6,29	1,05	–0,190
$C^{50}/_{60}$	774	6,75	1,12	0,174	6,75	1,12	0,590	6,75	1,12	–0,250

Продолжение таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента, $\rho_{фп}, кг/м^3$	Условия эксплуатации								
		ОПЗ У			А О			А У		
		$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$	$\gamma_1$	$\gamma_2$	$\gamma_3$
1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20
$C^{12}/_{15}$	213	2,43	0,500	0,882	2,43	0,500	0,681	2,43	0,510	0,965
$C^{16}/_{20}$	275	2,91	0,570	0,808	2,91	0,570	0,626	2,91	0,570	0,896
$C^{18}/_{22,5}$	305	3,14	0,600	0,772	3,14	0,610	0,599	3,14	0,610	0,863
$C^{20}/_{25}$	334	3,37	0,630	0,737	3,37	0,640	0,572	3,37	0,630	0,832
$C^{22}/_{27,5}$	364	3,60	0,670	0,701	3,60	0,670	0,545	3,60	0,670	0,799

Окончание таблицы 1

Класс бетона по прочности на сжатие	Расчетное содержание цемента, Ц <sub>рп</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Условия эксплуатации								
		ОПЗ У			А О			А У		
		γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>3</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>3</sub>	γ <sub>1</sub>	γ <sub>2</sub>	γ <sub>3</sub>
1	2	12	13	14	15	16	17	18	19	20
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	397	3,85	0,710	0,661	3,85	0,720	0,516	3,85	0,710	0,762
C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>	464	4,37	0,790	0,581	4,37	0,790	0,455	4,37	0,780	0,689
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	490	4,57	0,820	0,550	4,57	0,830	0,432	4,57	0,810	0,660
C <sup>32</sup> / <sub>40</sub>	529	4,87	0,870	0,503	4,87	0,870	0,397	4,87	0,850	0,617
C <sup>35</sup> / <sub>45</sub>	592	5,35	0,950	0,427	5,35	0,950	0,340	5,35	0,920	0,548
C <sup>40</sup> / <sub>50</sub>	654	5,83	1,02	0,353	5,83	1,03	0,284	5,83	0,990	0,480
C <sup>45</sup> / <sub>55</sub>	714	6,29	1,09	0,281	6,29	1,10	0,230	6,29	1,06	0,414
C <sup>50</sup> / <sub>60</sub>	774	6,75	1,17	0,209	6,75	1,17	0,176	6,75	1,13	0,348

*Примечание* – Условия помещений сельскохозяйственных зданий (СХ), общественных зданий и производственных с неагрессивной эксплуатационной средой (ОПЗ) и открытой атмосферы (А) и зоны с обычной (О) и ускоренной карбонизацией (У).

Регрессионная расчетно-экспериментальная зависимость изменения показателя карбонатной составляющей во времени по сечению бетонов классов по прочности C<sup>12</sup>/<sub>15</sub>–C<sup>50</sup>/<sub>60</sub> для различных степеней агрессивности воздушных сред с учетом значений фактических значений показателя КС на момент обследования в общем виде:

$$КС_{\text{прог}} = КС_{\phi} + \delta e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)} \left(\sqrt{t_{\text{прог}}} - \sqrt{t_{\phi}}\right), \quad (2)$$

где КС<sub>прог</sub> – прогнозируемое значение карбонатной составляющей, %; КС<sub>ф</sub> – фактическое значение карбонатной составляющей на момент обследования, %; δ – коэффициент, характеризующий скорость карбонизации, %/лет<sup>1/2</sup>; t<sub>прог</sub> – прогнозный срок, лет; t<sub>ф</sub> – срок эксплуатации на момент обследования, лет.

Значения коэффициента δ для смесей марки по удобоукладываемости П1 (для расчетных значений цемента) и различных условий эксплуатации приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения коэффициента δ для бетонных смесей марок по удобоукладываемости П1 и различных эксплуатационных условий

Класс бетона по прочности на сжатие	Условия эксплуатации					
	СХ О	СХ У	ОПЗ О	ОПЗ У	А О	А У
C <sup>12</sup> / <sub>15</sub>	0,623	1,15	0,311	0,882	0,681	0,965
C <sup>16</sup> / <sub>20</sub>	0,573	1,09	0,249	0,808	0,626	0,896
C <sup>18</sup> / <sub>22,5</sub>	0,549	1,06	0,219	0,772	0,599	0,863
C <sup>20</sup> / <sub>25</sub>	0,526	1,03	0,190	0,737	0,572	0,832
C <sup>22</sup> / <sub>27,5</sub>	0,502	1,00	0,160	0,701	0,545	0,799
C <sup>25</sup> / <sub>30</sub>	0,476	0,967	0,127	0,661	0,516	0,762
C <sup>28</sup> / <sub>35</sub>	0,422	0,900	0,060	0,581	0,455	0,689
C <sup>30</sup> / <sub>37</sub>	0,401	0,874	0,034	0,550	0,432	0,660
C <sup>32</sup> / <sub>40</sub>	0,370	0,835	-0,005	0,503	0,397	0,617
C <sup>35</sup> / <sub>45</sub>	0,320	0,772	-0,068	0,427	0,340	0,548
C <sup>40</sup> / <sub>50</sub>	0,270	0,710	-0,130	0,353	0,284	0,480
C <sup>45</sup> / <sub>55</sub>	0,222	0,650	-0,190	0,281	0,230	0,414
C <sup>50</sup> / <sub>60</sub>	0,174	0,590	-0,250	0,209	0,176	0,348

Путем математической обработки коэффициентов γ<sub>1</sub>–γ<sub>3</sub> получены прогнозные зависимости их изменения во времени для различных условий эксплуатации от гарантированной прочности бетона на сжатие.

Зависимость КС = f(f<sub>c,cube</sub><sup>G</sup>, l, t) для бетонных смесей марки по удобоукладываемости П1 –

$$КС(f_{c,cube}^G, l, t) = (0,0970 f_{c,cube}^G + 0,9641) + \left( (0,0138 f_{c,cube}^G + 0,2944) + \gamma_4 \sqrt{t} \right) e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}; \quad (3)$$

– марки по удобоукладываемости Ж1 –

$$КС(f_{c,cube}^G, l, t) = (0,0864 f_{c,cube}^G + 0,9906) + \left( (0,0124 f_{c,cube}^G + 0,2957) + \gamma_4 \sqrt{t} \right) e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}; \quad (4)$$

– марки по удобоукладываемости Ж2 –

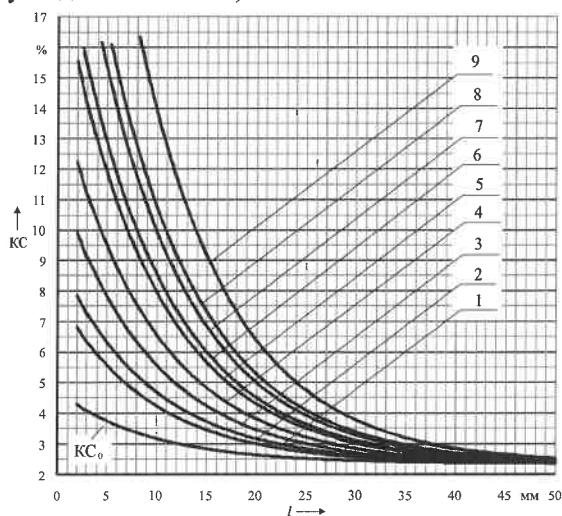
$$КС(f_{c,cube}^G, l, t) = (0,0818 f_{c,cube}^G + 1,001) + \left( (0,0116 f_{c,cube}^G + 0,2993) + \gamma_4 \sqrt{t} \right) e^{\left(14,2 - \left(\frac{l+100}{5,05}\right)^{0,85}\right)}; \quad (5)$$

где f<sub>c,cube</sub><sup>G</sup> – гарантированная прочность бетона на сжатие, МПа; γ<sub>4</sub> – коэффициент (таблица 3), характеризующий скорость карбонизации, %/лет<sup>1/2</sup>.

Таблица 3 – Значения коэффициента  $\gamma_4$  для бетонных смесей различных марок по удобоукладываемости

Условия эксплуатации	Марка смеси по удобоукладываемости		
	П1	Ж1	Ж2
СХО	$-0,0101f_{c,cube}^G + 0,7756$	$-0,0090f_{c,cube}^G + 0,7727$	$-0,0085f_{c,cube}^G + 0,7716$
СХУ	$-0,0126f_{c,cube}^G + 1,342$	$-0,0113f_{c,cube}^G + 1,340$	$-0,0106f_{c,cube}^G + 1,338$
ОПЗО	$-0,0126f_{c,cube}^G + 0,5020$	$-0,0112f_{c,cube}^G + 0,4985$	$-0,0107f_{c,cube}^G + 0,4992$
ОПЗУ	$-0,0151f_{c,cube}^G + 1,111$	$-0,0135f_{c,cube}^G + 1,107$	$-0,01275f_{c,cube}^G + 1,105$
АО	$-0,0113f_{c,cube}^G + 0,8535$	$-0,0101f_{c,cube}^G + 0,8503$	$-0,0096f_{c,cube}^G + 0,8487$
АУ	$-0,0138f_{c,cube}^G + 1,175$	$-0,0123f_{c,cube}^G + 1,171$	$-0,0117f_{c,cube}^G + 1,169$

На рисунке 1 представлена в графическом виде прогнозная расчетно-экспериментальная зависимость изменения карбонатной составляющей во времени по сечению бетона класса по прочности на сжатие  $C^{18}/_{22,5}$  для эксплуатационных условий открытой атмосферы в зоне повышенной карбонизации (марка смеси по удобоукладываемости П1).



1 – 1 год; 2 – 2 года; 3 – 5 лет; 4 – 10 лет; 5 – 20 лет; 6 – 25 лет; 7 – 40 лет; 8 – 50 лет; 9 – 100 лет

Рисунок 1 – Графическая расчетно-экспериментальная зависимость  $КС = f(l, t)$  для бетона класса по прочности на сжатие  $C^{18}/_{22,5}$  условий эксплуатации АУ

**Заключение.** Полученные расчетно-экспериментальные зависимости изменения во времени по сечению бетонов различных классов по прочности на сжатие (составов) показателя КС позволяют прогнозировать фактическую карбонизацию бетона, тем более с учетом начальной карбонизации, которая сегодня не учитывается в существующих моделях [6, 10, 11].

#### Список литературы

1 Васильев, А. А. Карбонизация и оценка поврежденности железобетонных конструкций : [монография] / А. А. Васильев. – Гомель : БелГУТ, 2012. – 263 с.

Получено 06.10.2023

A. A. Vasilyev, J. K. Kabyshava. Prediction of compressive strength carbonization of concretes  $C^{12}/_{15}-C^{50}/_{60}$  for different operating conditions.

Based on the results of long-term studies of concrete carbonization on the basis of determining the change in the concrete cross-section of the carbonate component of the cement-sand concrete fraction, calculated and experimental dependencies of prediction of carbonization depending on the calculated cement content for various grades of concrete mixtures on the basis of workability and operating conditions were obtained.

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. Совершенствование методов оценки технического состояния железобетонных элементов, эксплуатирующихся в условиях атмосферной агрессии / А. А. Васильев // Строительная наука и техника. – 2012. – № 2 (41). – С. 21–28.

5 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.

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

7 Васильев, А. А. Прогнозирование начальной карбонизации бетона различных классов по прочности на сжатие / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева, Н. А. Леонов // Современные научные знания : сб. статей Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – С. 21–24.

8 Васильев, А. А. Расчетно-экспериментальная регрессионная зависимость изменения во времени карбонатной составляющей в зоне расположения стальной арматуры / А. А. Васильев, Ю. К. Кабышева // Инновационные научные исследования : сб. статей II Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза : МЦНС «Наука и Просвещение». – 2023. – С. 33–36.

9 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.

10 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. статей. – Минск : БНТУ, 2013. – С. 40–54.

11 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.

УДК 625.1

*П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, О. В. ОСИПОВА, С. А. БИНДЮК, Белорусский государственный университет транспорта; В. А. МУСИЛОВИЧ, Белорусская железная дорога, г. Гомель*

## ОСОБЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В СТЕСНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

В результате паспортизации железнодорожных путей промышленных предприятий отмечены и исследованы особенности проектирования дополнительного путевого развития сети необщего пользования с заданными производственными характеристиками. Разработаны варианты строительства путевых объектов в стесненных условиях исходя из требований сохранения существующей заводской инфраструктуры.

**В**осуществлении грузовых перевозок по железной дороге немаловажную роль играют пути необщего пользования промышленных предприятий. На большинстве крупных предприятий в Республике Беларусь осуществляется поставка сырья и отгрузка готовой продукции железнодорожным транспортом, что обуславливает необходимость корректного содержания и проектирования железнодорожных путей необщего пользования. В связи с этим конструкция и состояние путевых устройств и сооружений на путях необщего пользования должны отвечать требованиям соответствующих технических нормативных правовых актов, обеспечивать безопасный пропуск вагонов, а также локомотивов, предназначенных для обслуживания этих железнодорожных путей. Кроме того, путевое развитие подъездной сети предназначено для выполнения задач по достижению целей технологического комплекса и должно соответствовать объему выполняемой предприятием работы с учетом ближайшей перспективы. Однако в современных постоянно изменяющихся экономических условиях это не всегда соблюдается. В связи с развитием и ростом производства продукции на промышленных предприятиях часто возникает необходимость строительства дополнительных подъездных путей и грузовых фронтов. Такая задача возникла в КУП «Гомельский городской дорожный строительный-ремонтный трест».

Трест обслуживает улицы областного центра – на балансе находятся дороги и мосты (826 улиц протяженностью 546 километров, 17 мостов). Предприятие выполняет широкий перечень услуг: устройство асфальтобетонного покрытия, устройство оснований, установку бортовых камней, укладку тротуарной плитки. По данным за последние годы были произведены следующие виды продукции: асфальтобетон, асфальтогранулят, смесь продуктов дробления, битумная эмульсия, противогололедный материал суммарным ежегодным объемом более 63,6 тыс. т, а также бетон и стиральный бетон – более 1,6 тыс. м<sup>3</sup>.

Для обеспечения производства в КУП «Гомельский городской дорожный строительный-ремонтный трест» объем поставляемого сырья превысил 58 тысяч тонн. Сырьем являются инертные материалы: щебень различной фракции, отсев и галит. Доставка и разгрузка осуществляется железнодорожным транспортом на пути необщего пользования. На данный момент протяженность грузового фронта не в полной степени удовлетворяет потребностям предприятия. Поэтому с

целью увеличения объема грузовой работы и сокращения времени разгрузки материалов предприятию необходимо дополнительные разгрузочные мощности. Так как выгрузку грузов из различного рода подвижного состава (думпкары, полувагоны, хоппердозаторы) наименее затратно выполнять на повышенном пути, то необходимо запроектировать повышенный путь для выгрузки 5 условных вагонов.

Для решения поставленной задачи с помощью электронного тахеометра была произведена тахеометрическая съемка. В процессе работ на пути были сняты характерные точки для построения плана существующей ситуации (передние стыки рамного рельса стрелочного перевода, хвост крестовины, опоры ЛЭП, предельный столбик, лесонасаждения, забор, углы промышленных зданий, бровка полотна, нулевые места, головка рельса по правой нити, подпорная стенка). По данным съемки в дальнейшем был построен план участка пути необщего пользования.

Проектирование в стесненных условиях территории промышленных предприятий связано с проблемой нарушения габарита приближения уже существующих строений, погрузо-выгрузочных устройств, а также подземных коммуникаций. При разработке вариантов проектирования дополнительного пути в первую очередь проверяется возможность врезки стрелочного перевода в существующий криволинейный путь; кривые, сопрягающие стрелочный перевод и существующий путь, должны иметь радиус не менее 180 м. Кроме того, существующая подпорная стенка существующего пути не должна сдвигаться, а дополнительный путь должен иметь длину для размещения пяти условных вагонов.

При разработке рекомендаций рассматривались варианты врезки стрелочного перевода на железобетонных шпалах типа Р65 различных марок (1/11 и 1/9) и сторонности (левосторонний и правосторонний). Варианты устройства разгрузочного пути представлены на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, при вписывании в существующую кривую левостороннего стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 или 1/9 проектирование пути технически выполнимо только с использованием малых радиусов ( $R < 180$  м), а согласно [2] такие радиусы не допустимы. Врезка правостороннего стрелочного перевода типа Р65 марки 1/11 возможна в соответствии с нормами, но влечет значительные сдвиги пути и перенос существующей подпорной стенки, что нецелесообразно.



## ВАРИАНТЫ УСТРОЙСТВА РАЗГРУЗОЧНОГО ПУТИ

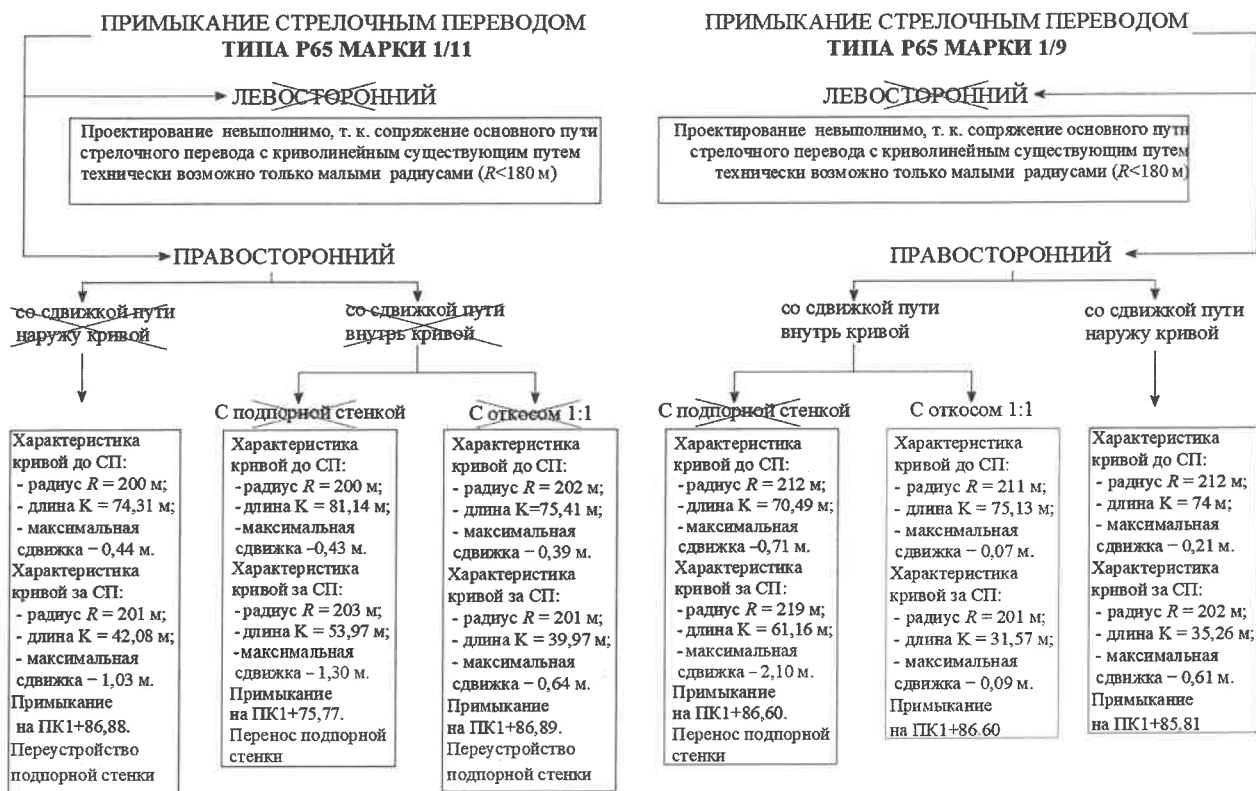


Рисунок 1 – Варианты устройства разгрузочного пути

Вариант по врезке правостороннего стрелочного перевода типа Р65 марки 1/9 со сдвижкой пути наружу кривой соответствует нормам проектирования: радиус кривой до стрелочного перевода  $R = 212$  м, длина  $K = 74$  м, максимальная сдвижка  $- 0,21$  м; радиус кривой за стрелочным переводом  $R = 202$  м, длина  $K = 35,26$  м, максимальная сдвижка  $- 0,61$  м. Однако сдвижки достаточно большие, а проектируемый путь располагается слишком близко к существующему пути, что ограничит передвижение погрузчика при грузовых работах.

С целью увеличения свободного пространства для маневров погрузчика между дополнительным и существующим путями проектируемый путь смещается как можно ближе к углу забора. Для данного варианта следует запроектировать подпорную стенку для укрепления откоса выемки (рисунок 2).



Рисунок 2 – Поперечный профиль с подпорной стеной

При этом минимальный радиус прилегающей к стрелочному переводу кривой составляет  $R = 212$  м, максимальная сдвижка значительно увеличивается до 2,10 м и требуется перенос существующей подпорной

стеки. Поэтому и данный вариант нецелесообразен для реализации.

В следующем варианте дополнительного пути для уменьшения сдвижек существующего пути стрелочный перевод типа Р65 марки 1/9 смещается во внутрь кривой. В этом случае следует спроектировать со стороны забора откос 1:1 и укрепить его железобетонными плитами (рисунок 3). Данный вариант предполагает:

- радиус кривой до стрелочного перевода  $R = 211$  м, длина  $K = 75,13$  м, максимальная сдвижка  $- 0,07$  м;
- радиус кривой за стрелочным переводом  $R = 201$  м, длина  $K = 31,57$  м, максимальная сдвижка  $- 0,09$  м.

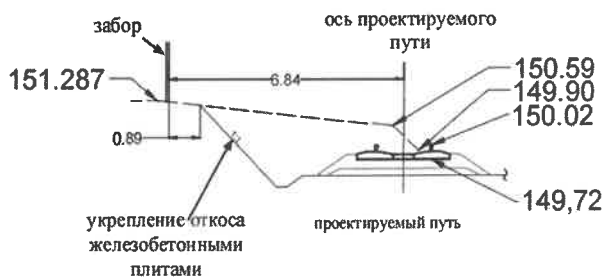


Рисунок 3 – Поперечный профиль с откосом 1:1

В результате из перечисленных вариантов оптимальной является врезка правостороннего стрелочного перевода на железобетонных шпалах типа Р65 марки 1/9 в существующий криволинейный путь со сдвижкой пути внутрь кривой и откосом 1:1 (рисунок 4).

Данный вариант был согласован в КУП «Гомельский городской дорожный строительско-ремонтный трест».





Щебень, доставляемый автомобилями-самосвалами, разгружают непосредственно в котлован, затем разравнивают и уплотняют электротрамбовками. По окончании работы производят инструментальную проверку отметок щебеночной подготовки и положение ее в плане и выполняют разбивку проектного положения блоков.

Фундаменты повышенного пути устраиваются сборными из блоков. Фундаментные блоки устанавливаются краном на плотно утрамбованную вибрационными плитами щебеночную подготовку. Установка должна проводиться с особой тщательностью, с точным соблюдением расположения по осям и отметкам. При установке фундаментных блоков их стропуют, удерживая от раскачивания. Блоки опускают на высоту 10–15 см от основания, точно наводят и опускают на щебеночную подготовку. В процессе установки фундаментных блоков проверяют горизонтальность ряда (относительное смещение смежных блоков не должно превышать 10 мм). Кладка стеновых блоков производится на растворе марки 150 по чертежам проекта. Наружные швы стен расширяются цементным раствором. Внутренние и наружные поверхности блоков, соприкасающиеся с грунтом, покрываются горячим битумом за 2 раза. Засыпку пазух разрешается проводить после достижения 70 % прочности раствора в швах. Засыпку и устройство следует производить равномерными слоями толщиной не более 20 см сплошной утрамбовкой.

Подшпальные балки (распорки РП) насаживаются отверстием на анкер А-3 [3], при этом в местах их пересечения со стенками подливается раствор марки 150 толщиной 20 мм. Перед укладкой брусьев в проектное положение отверстия для анкеров А-3 в блоках РП2 заливается раствором, а концы брусьев укрепляются уголками со стяжками. Брусья антисептируются. Монтаж конструкций повышенного пути выполняется с использованием автомобильного крана.

Укладка блоков стрелочного перевода и звеньев рельсошпальной решетки может выполняться любой грузоподъемной техникой, характеристики которой по грузоподъемности будут соответствовать весу поднимаемого груза как автомобильным, так и железнодорожным краном. В данном случае организация и технология путевых работ предусматривает применение крана КЖДЭ-25. Работы по укладке одиночного обыкновенного стрелочного перевода типа Р65 марки 1/9 на деревянных брусьях делятся на подготовительные, основные и заключительные периоды.

В подготовительный период осуществляются монтаж звеньев блоков одиночного обыкновенного стрелочного перевода типа Р65 марки 1/9 и вырезка загрязненного балласта, опробование и смазка стыковых болтов на месте врезки стрелочного перевода.

В основной период, после оформления закрытия подъездного пути, вначале краном КЖДЭ-25 со стоянки на соседнем пути снимают разболоченные звенья рельсошпальной решетки и укладывают на обочину (рисунок 6).

Далее бульдозером планируется основание и этим же краном с платформы укладываются блоки стрелочного перевода начиная с крестовинного. Монтеры пути сбол-

чивают стрелочный перевод и рихтуют прилегающие участки пути. Укладка снятых звеньев рельсошпальной решетки осуществляется со стоянки крана на уложенном стрелочном переводе. Выгрузка нового балласта осуществляется краном КЖДЭ-25 с грейферным ковшем по последующей рихтовке и выправкой нового пути.

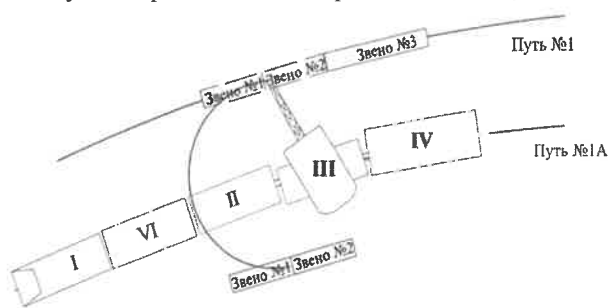


Рисунок 6 – Демонтаж пути

Устройство повышенного пути и путевые работы по врезке стрелочного перевода с укладкой железнодорожного пути могут вестись параллельно.

Сметная стоимость строительства разгрузочного пути ориентировочно составит 445,787 тыс. руб., в том числе строительно-монтажные работы – 331,991 тыс. руб., прочие – 113,796 тыс. руб. Структура сметной стоимости представлена на рисунках 7, 8.

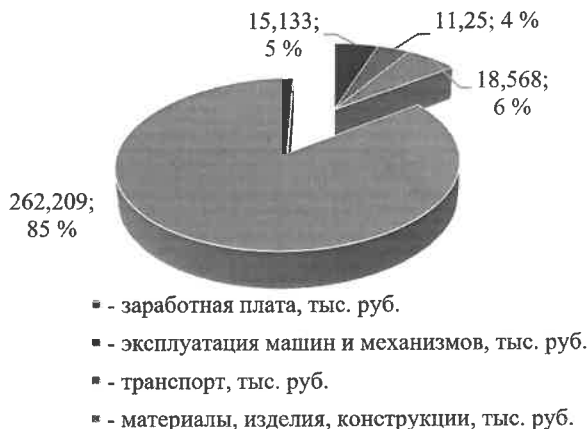


Рисунок 7 – Прямые затраты



Рисунок 8 – Виды работ

Анализ структуры сметной стоимости показал, что наибольший удельный вес приходится на материальные затраты (85 % прямых затрат) и на возведение повышенного пути (71 % от всех видов работ).

В качестве примера было рассмотрено одно из грузонапряженных направлений Пинск – Житковичи Лунинской дистанции пути. Грузонапряженность по участку составляет 22,7 млн т брутто/год. На направлении эксплуатируется 57 кривых различного радиуса (I главный путь).

В статье исследовано влияние радиуса, превышения и уклона продольного профиля на износ рельсов в криволинейных участках пути.

На рисунке 1 приведены сравнительные показатели интенсивности износа части головок рельсов в кривых малых радиусов, имеющих одинаковые значения по превышению наружного рельса  $h = 40$  мм, грузонапряженности 22,7 млн т брутто/год в зависимости от пропущенного тоннажа.

В таблице 1 приведены данные об интенсивности износа в кривых малых радиусов.

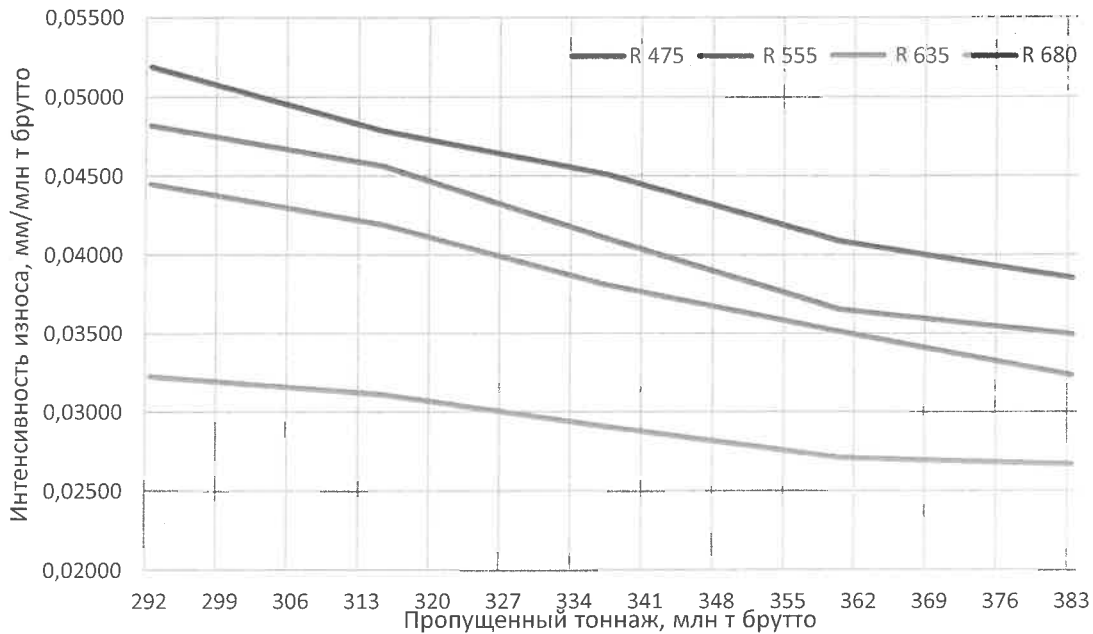


Рисунок 1 – График интенсивности износа кривых малых радиусов

Таблица 1 – Интенсивность износа в кривых малых радиусов

Пропущенный тоннаж, мм/млн т брутто	Радиус кривой R, м			
	475	555	635	680
269,8	0,052665	0,04961	0,04537	0,03255
292,5	0,05189	0,04818	0,04448	0,03224
315,2	0,04784	0,04561	0,04189	0,03109
337,9	0,0451	0,04104	0,03809	0,02905
360,6	0,04086	0,03651	0,03509	0,02709
383,3	0,03852	0,034915	0,032307	0,02665

Из данных, приведенных в таблице 1 и на рисунке 1, видно, что имеются значительные отличия в величинах интенсивности изнашивания рельсов кривых разных радиусов со схожими условиями эксплуатации. Интенсивность бокового износа рельсов на участке с пропущенным тоннажем 269,8 млн т брутто увеличивается от большего радиуса к меньшему. Так, в кривой радиусом 475 м интенсивность износа составляет 0,052665 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 555 м интенсивность износа составляет 0,04961 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 635 м интенсивность износа составляет уже 0,04537 мм/млн т брутто, а в кривой радиусом 680 м интенсивность износа составляет 0,03255 мм/млн т брутто. После пропуска 383,3 млн т брутто наблюдается тенденция

к уменьшению интенсивности бокового износа рельса. Следовательно, в кривых малого радиуса с пропущенным тоннажем 269,8 млн т брутто и 383,3 млн т брутто в кривой радиусом 475 м интенсивность износа уменьшилась на 0,01715 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 555 м – на 0,01470 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 635 м – на 0,01406 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 680 м – на 0,0063 мм/млн т брутто.

Из этого можно сделать вывод, что интенсивность бокового износа рельсов уменьшается с увеличением пропущенного тоннажа. Это свидетельствует об увеличении прочности металла на рабочих поверхностях рельса за счет наклепывания металла от воздействия подвижного состава.

На рисунке 2 приведены показатели интенсивности износа части головок рельсов в кривых средних радиусов в зависимости от пропущенного тоннажа, имеющих одинаковые значения по возвышению наружного

рельса  $h = 30$  мм, грузонапряжённости 13,7 млн т брутто/год.

В таблице 2 приведены данные об интенсивности износа в кривых средних радиусов.

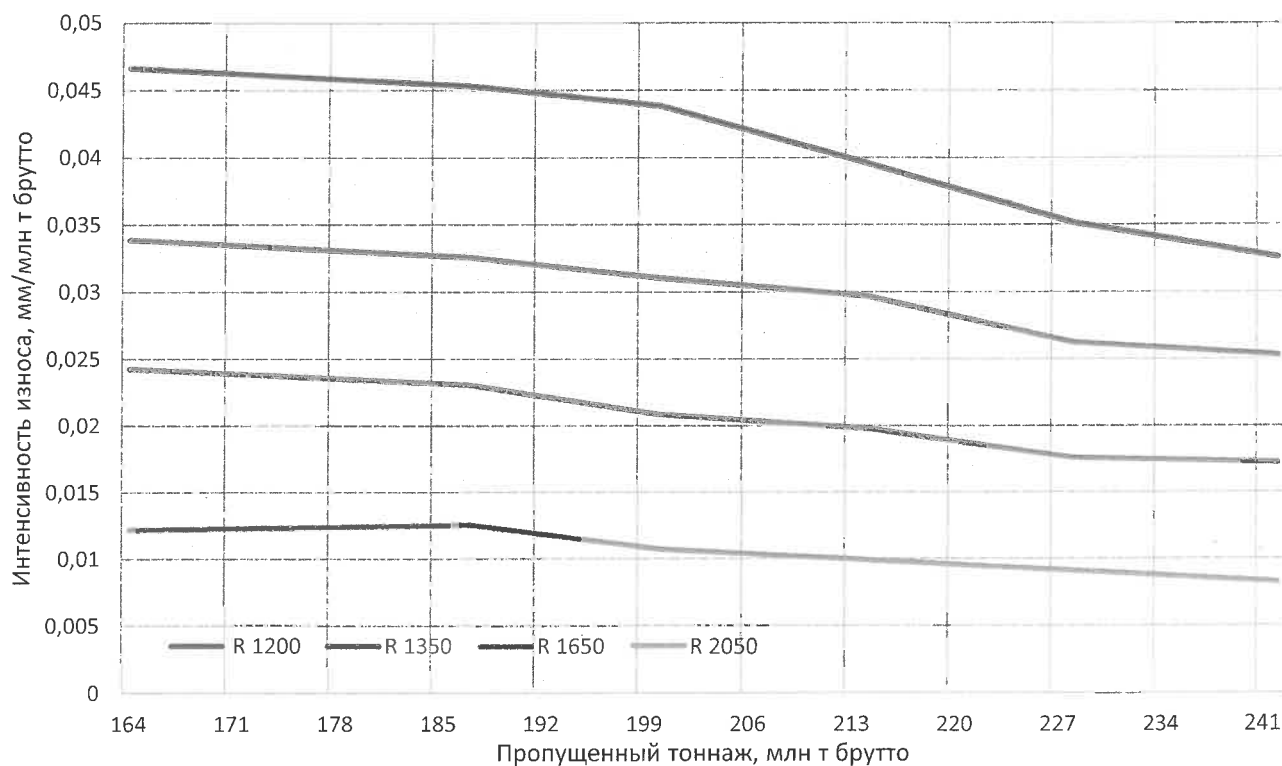


Рисунок 2 – График интенсивности износа кривых средних радиусов

Таблица 2 – Интенсивность износа в кривых средних радиусов

Пропущенный тоннаж, мм/млн т брутто	Радиус кривой R, м			
	1200	1350	1650	2050
164,5	0,04663	0,03386	0,02424	0,01216
187,2	0,04531	0,03258	0,02305	0,01253
200,9	0,04385	0,03103	0,02082	0,01071
214,6	0,03958	0,02969	0,01979	0,0099
228,3	0,03512	0,02624	0,01756	0,00908
242,0	0,03257	0,02529	0,01723	0,00826

Из данных, приведенных в таблице 2 и на рисунке 2, также можно отметить уменьшение интенсивности бокового износа с увеличением радиуса кривой. Так, на участке с пропущенным тоннажем 164,5 млн т брутто в кривой радиусом 1200 м интенсивность износа составляет 0,046632 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1350 м – 0,03386 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1650 м – 0,02424 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 2050 м – 0,012158 мм/млн т брутто.

После пропуска 77,5 млн т брутто наблюдается тенденция к уменьшению интенсивности бокового износа рельса. В кривых с пропущенным тоннажем 164,5 млн т брутто и 242 млн т брутто в кривой радиусом 1200 м интенсивность износа уменьшилась на 0,03257 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1350 м –

на 0,025293 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 1650 м – на 0,01723 мм/млн т брутто, в кривой радиусом 2050 м – на 0,00826 мм/млн т брутто.

По данным интенсивности износа можно отметить, что этот параметр имеет тенденцию к уменьшению с увеличением пропущенного тоннажа и в кривых среднего радиуса.

На рисунке 3 приведены сравнительные показатели интенсивности бокового износа головок рельсов в кривых в зависимости от величин возвышения наружного рельса для различных радиусов.

Зависимость интенсивности бокового износа от возвышения наружного рельса в кривых с усредненными значениями радиусов приведена в таблице 3.

### Заключение

По вышеприведенным данным можно оценить влияние различных факторов на интенсивность бокового износа.

Влияние радиуса криволинейного участка на интенсивность бокового износа наружного рельса:

– с увеличением радиуса кривой от 475 до 680 м интенсивность бокового износа уменьшается на 5–8 %;

– с увеличением радиуса кривой от 1200 до 1650 м интенсивность бокового износа уменьшается на 20–50 %.

Влияние возвышения наружного рельса на интенсивность бокового износа наружного рельса: – в кривых радиусом 600–1200 м при изменении возвышения наружного рельса с 30 мм до 60 мм интенсивность износа уменьшилась на 36–30 %.

Влияние продольного профиля пути на интенсивность бокового износа наружного рельса:

– на спусках в кривых радиусом 600 м наблюдается рост интенсивности бокового износа рельса в 54 %, в кривых радиусом 1200 м – в 78 %, в кривых радиусом 2000 м – в 78 %;

– на подъемах в кривых радиусом 600 м наблюдается рост интенсивности бокового износа рельса в 46 %, в кривых радиусом 1200 м – в 71 %, в кривых радиусом 2000 м – в 51 %.

Получено 10.07.2023

**P. V. Kovtun, T. A. Dubrovskaya, N. N. Kravchenko, Y. V. Nikitin, D. S. Shaban.** Evaluation of the intensity of lateral wear of the rail head in curvilinear sections of the way.

Data on the intensity of wear in curved sections of the path of small and medium radii are provided. Indicators of the intensity of lateral wear of the outer rail are analyzed depending on the longitudinal profile of the track and the elevation of the outer rail.

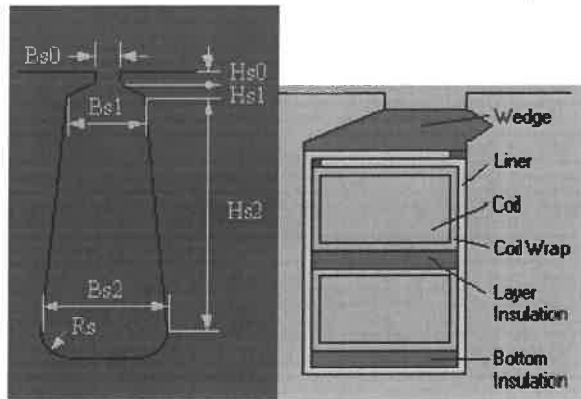
Из этого следует, что с увеличением радиуса кривой интенсивность износа снижается. Недостаток возвышения наружного рельса ведет к увеличению непогашенного ускорения за счет увеличения направляющих сил.

Также наблюдается устойчивая тенденция к повышению интенсивности износа с увеличением величины уклона. Во всех случаях интенсивность износа на спусках выше, чем интенсивность износа на подъемах. Увеличение пропущенного тоннажа ведет к уменьшению интенсивности бокового износа, это свидетельствует об увеличении прочности металла на рабочих поверхностях рельса за счет наклёпывания металла от воздействия подвижного состава.

### Список литературы

- 1 **Панькин, Н. А.** Причины интенсивного износа гребней колёс и рельсов и пути его устранения / Н. А. Панькин // Железнодорожный транспорт. – 1991. – № 11. – С. 57–59.
- 2 **Певзнер, В. О.** Влияние ширины колеи / В. О. Певзнер // Железнодорожный транспорт. – 1996. – № 12. – С. 36–39.
- 3 **Марье, Г.** Взаимодействие пути и подвижного состава / Г. Марье – М. : Госжелдориздат, 1933. – Вып. 2. – С. 163.
- 4 **Ковтун, П. В.** Предлагается новый прибор / П. В. Ковтун, Э. И. Даниленко, В. В. Рыбкин // Путь и путевое хозяйство. – 1990. – № 3. – С. 24–25.

a)



б)

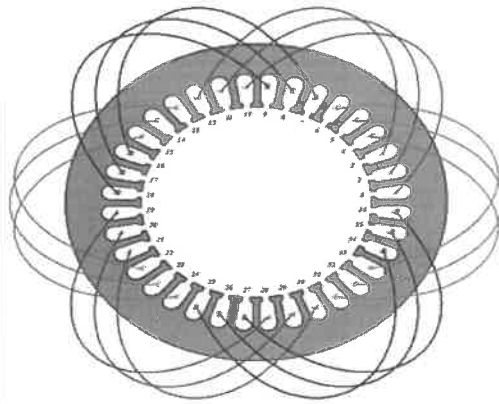


Рисунок 2 – Пример редактирования пазов (а) и обмотки статора (б)

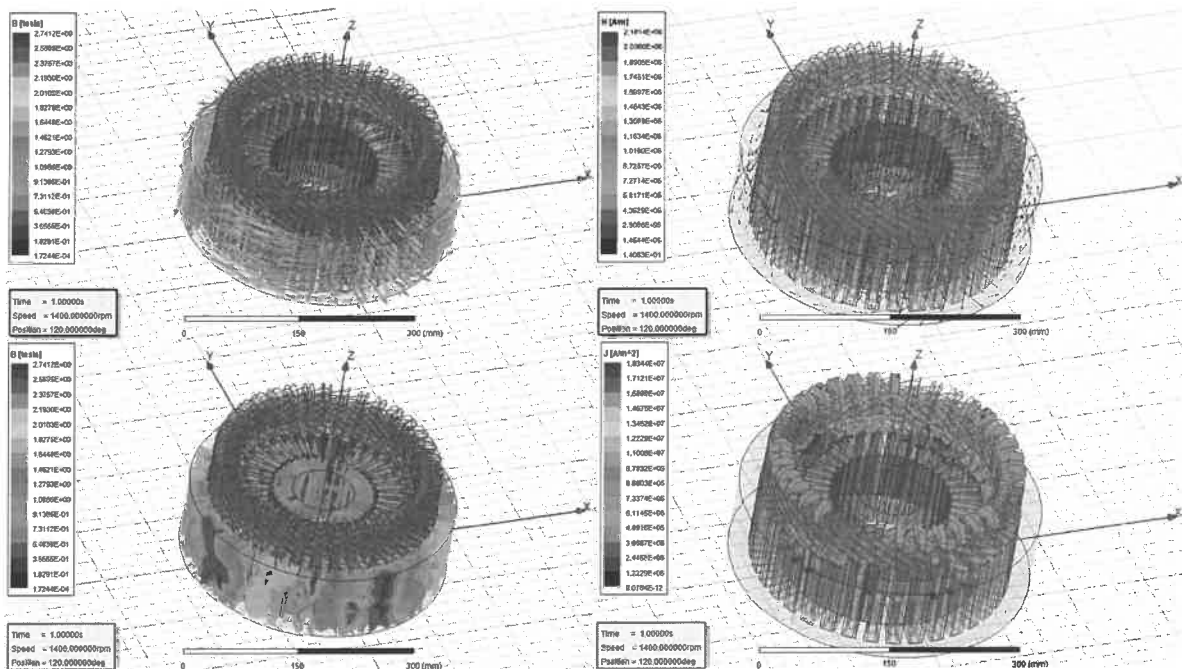


Рисунок 3 – Анализ 3D-модели различных полей Ansys Electronics

Среди факторов, определяющих срок службы изоляции трансформаторов, одним из основных является старение изоляции под действием температуры. Это явление хорошо поддаётся количественному учету, и поэтому сравнительно подробно исследовано. Особое значение приобретают методы расчёта скорости старения и на этой основе – срока службы изоляции.

Первые работы в этом направлении имели, главным образом, опытный характер и относились к изоляции класса А. В результате было сформулировано правило «восьми градусов» (правило Монтзингера). В соответствии с которым повышение температуры на каждые 8 °С сверх предельно допустимой сокращает срок службы изоляции вдвое:

$$T = T_0 e^{-0,0866v}$$

где  $T$  – срок службы изоляции при этой температуре, лет;  
 $T_0$  – срок службы изоляции при так называемых «нуле-

вых» условиях (при 105 °С составляет  $6,225 \cdot 10^4$  лет);  
 $v$  – температура нагрева изоляции, °С;

Установлено, что 8 °С соответствует только классу А, а для других классов изоляции она повышается до 10–12 °С: чем выше класс нагревостойкости, тем медленнее происходит старение.

Несмотря на эмпирический характер, правило Монтзингера позволяет производить ориентировочные расчёты в тех случаях, когда они относятся к сравнительно небольшим отрезкам времени и небольшим диапазонам изменения температуры.

В работе [7] описана закономерность старения изоляции. Также было рассмотрено старение изоляции под действием температуры, электрического поля, механических нагрузок, влаги и химически активных веществ. Отмечается, что скорость старения изоляции определяется в основном эксплуатационными услови-

## ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ

УДК 681.5

*В. Н. ГАЛУШКО, кандидат технических наук, Д. В. МИРОШ, И. Л. ГРОМЫКО, И. Е. МОНАРХОВИЧ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель*

### СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОМОЩЬЮ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ

Представлена разработка 3D-проекта электромагнитных полей для асинхронного двигателя электровоза, предварительно рассчитанная по методике Гольдберга. Получена картина распределения температурного поля в номинальном режиме работы и на холостом ходу. Предложенные 3D-модели электромагнитных и тепловых процессов асинхронного двигателя позволяют оценить эффективность электрической машины, усовершенствовать конструкцию по критериям пропускной способности электротехнической стали и температуры обмоток, создают предпосылки для более точных прогнозов по остаточному ресурсу изоляции на основе температурных полей.

**Ц**ель данной работы – разработка и применение 3D-модели электромагнитных процессов вспомогательного асинхронного двигателя АЭ-92-402 при помощи программы *Ansys Maxwell*, в основе которой лежит метод конечных элементов.

Асинхронный двигатель (АД) АЭ-92-402 был выбран для исследования ввиду своей распространенности на Белорусской железной дороге на электровозах ВЛ80<sup>С</sup>. Так как данный двигатель больше не производится, его замена на такой же невозможна. В случае выхода из строя его необходимо заменять на более современный аналог, например, двигатель АНЭ-225Л4УХЛ2. Каждый год из строя выходят в среднем 28 двигателей, из них по причине межвиткового замыкания обмотки статора – 27 %; пробой обмотки статора – 5 %; перегрев обмотки статора – 2 %.

С целью разработки более энергоэффективного и надежного отечественного АД были поставлены и реализованы следующие задачи исследования.

1 Создана модель вспомогательного асинхронного двигателя АЭ-92-402 (АД) электровоза. Разработаны конструкции с различными параметрами (число пазов, ширина зубца и т. д.) двигателя по методике Гольдберга и выбран вариант с наилучшими электромеханическими характеристиками. Смоделирован и оптимизирован полученный вариант с помощью 3D-проекта электромагнитных полей.

2 Получена картина распределения температурного поля в номинальном режиме работы и на холостом ходу, с целью прогнозирования наработки на отказ изоляции обмоток статора по температурному критерию.

Известно достаточно много конечно-элементных пакетов прикладных программ (ППП), в которых расчеты электромагнитных систем доведены до совершенства. В данной статье при выборе программного средства были рассмотрены возможности таких программ, как *ANSYS Multiphysics*, *Maxwell*, *COMSOL Multiphysics*, *ELCUT*, *Elmer* и *CodeAster (Salome)* [1, 2].

Весь расчет с помощью таких программ проводится обычно в интерактивном режиме. При этом не нужно писать сложные векторные уравнения теории поля. Программа сама разбивает моделируемое пространство на конечные элементы (треугольники, пря-

моугольники, тетраэдры, параллелепипеды и пр.). Необходимо только построить модель, ввести свойства материалов и граничные условия, запустить расчет и вывести его результаты в числовом и графическом виде. Весь процесс анализа весьма нагляден, как правило, он сопровождается графическими построениями на экране компьютера.

При разработке проекта большое значение уделялось возможности 3D-моделирования и широкому набору возможностей, поэтому выбор был сделан в пользу *Ansys Electronics Desktop* от *Ansys*. Данное программное обеспечение обладает возможностью расчета электромагнитных процессов, электрических машин, а также проведения междисциплинарных расчетов [4]. Одним из элементов, входящих в *Ansys*, является *Ansys Emag*. Этот пакет ориентирован на решение задач низкочастотных электромагнитных приложений, электродвигателей, реле и соленоидов. Обеспечивает всесторонний анализ различных электромагнитных явлений на всех этапах проектирования.

Для создания 3D-модели были выполнены предварительные вычисления параметров асинхронного двигателя АЭ92-402 по методике Гольдберга, причем рассматривались сразу несколько вариантов, отличающиеся различными числами пазов обмотки статора, числом проводников и пр.

Приведем наиболее важные пункты расчетов асинхронных двигателей (АД), а затем моделирования.

Проектирование асинхронных двигателей начинают с определения главных размеров: внутреннего диаметра  $D_1$  и длины сердечника статора  $l_1$  и т. д. (таблицы 1–3 и рисунок 1) [5, 6].

При создании 3D-модели двигателя в *Ansys Electronics* использовались результаты предварительного расчета. Многие операции создания модели АД автоматизированы. Например, визуализация параметров пазов статора и ротора (рисунок 2, а), укладка трехфазной обмотки статора (рисунок 2, б), причем имеется аналитический инструментарий редактирования их характеристик. Проверка (Validate) и предварительный расчет (Analyze All) ускоряют выполнение проекта. Результаты представляются в виде таблиц данных, набора характеристик и изображений.

ями и свойствами применяемых материалов, а на образование местных дефектов оказывают влияние уровень технологии и общей культуры производства, условия хранения трансформатора, его транспортировка и монтаж.

Старение изоляции низковольтных машин, работающих при умеренных температурах обмоток, вообще не может быть объяснимо с помощью тепловых или электрических явлений [7]. В этом случае наиболее вероятными причинами, вызывающими постепенное разрушение изоляции, являются механические нагрузки и химическое воздействие окружающей среды.

Определенную роль в процессах разрушения изоляции играют термомеханические явления, связанные

с различием коэффициентов теплового расширения изоляции и проводников. Это приводит к образованию трещин, разбуханию изоляции, её расслоению и взаимному смещению отдельных слоев.

Важным фактором старения изоляции является воздействие химически активных сред и влаги. Совокупное влияние на срок службы изоляции температуры, влажности и агрессивных сред можно оценить по следующему уравнению:

$$T = Ae^{-B/\theta} C^{-m} \eta^{-n},$$

где  $C$  – концентрация агрессивного агента;  $\eta$  – относительная влажность.

Для проведения температурного анализа 3D-модель была импортирована в программную среду *Icepak* (рисунок 4).

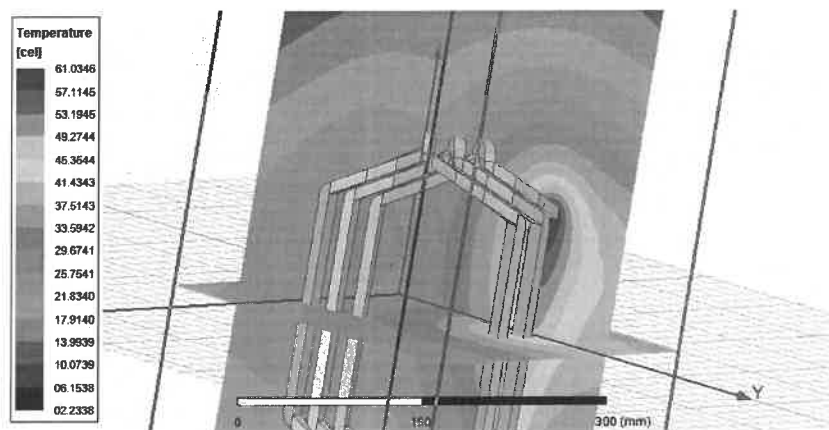


Рисунок 4 – Температурное поле для одной из точек обмотки

Результаты моделирования были верифицированы с помощью поверенного пирометра и тепловизора. Сравнение характеристик реального, модельного и рассчитанного по стандартной методике АД позволили рассчитать ошибку расчетов и моделирования. Разница в максимальных температурах между моделью и натурными экспериментами составила менее 3 °С.

Предложенные 3D-модели электромагнитных и тепловых процессов асинхронного двигателя позволяют оценить эффективность электрической машины, усовершенствовать конструкцию по критериям пропускной способности электротехнической стали и температуры обмоток, создают предпосылки для более точных прогнозов по остаточному ресурсу изоляции на основе температурных полей.

#### Список литературы

1 Буль, О. Б. Методы расчета систем электрических аппаратов. Программа ANSYS : учеб. пособие / О. Б. Буль. – М. : Академия, 2006. – 288 с.

Получено 15.09.2023

**V. N. Galushko, D. V. Miroch, I. L. Gromyko, I. E. Monarchovich.** Improving improving the design an induction motor using 3D modeling of electromagnetic and thermal processes.

Present the development of a 3D project of electromagnetic fields for an asynchronous electric locomotive engine, previously calculated using the Goldberg method. A picture of the distribution of the temperature field in the nominal operating mode and at idle was obtained. The proposed 3D models of electromagnetic and thermal processes of an asynchronous motor make it possible to evaluate the efficiency of an electric machine, improve the design according to the criteria of electrical steel throughput and winding temperature, and create the prerequisites for more accurate forecasts of the residual insulation life based on temperature fields.

2 **Беззубцева, М. М.** Расчет электромагнитного механоактиватора с применением программного комплекса Ansys / М. М. Беззубцева, В. С. Волков, П. С. Прибытков // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2009. – № 15. – С. 150–154.

3 **Мансурова, А. Р.** Применение программного комплекса ANSYS в компьютерном моделировании / А. Р. Мансурова // Молодой ученый. – 2018. – № 39 (225). – С. 31–33.

4 **Оконечников, А. С.** Прочностные и динамические расчеты в программном комплексе Ansys Workbench : учеб. пособие / А. С. Оконечников, Д. О. Сердюк, Г. В. Федотенков. – М. : Изд-во МАИ, 2021. – 104 с.

5 **Гольдберг, О. Д.** Проектирование электрических машин : учеб. для вузов / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко. – М. : Высш. шк., 1984. – 431 с.

6 **Галушко, В. Н.** Расчет асинхронных двигателей : пособие для выполнения курсовой работы / В. Н. Галушко, И. С. Евдасев, В. А. Пацкевич. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 158 с.

7 **Воробьев, В. Е.** Прогнозирование срока службы электрических машин: Письменные лекции / В. Е. Воробьев, В. Я. Кучер. – СПб. : СЗТУ, 2004. – 56 с.



Для удобства последующей обработки ответы даются в формализованном стандартном виде (примеры заполнения сегментов-шаблонов приведены на рисунке 3). При отсутствии процедурных документов, персонала, оснащения и т. д. в поле анкеты-вопросника делается соответствующая запись. Например, в отношении документации делается запись вида «Процедурный документ не предусмотрен» (если не предполагается

его наличие) либо «Процедурный документ отсутствует» (если он необходим для функционирования, но не разработан либо утерян). В первом случае сложившаяся ситуация является несоответствием, а во втором – особенностью построения и функционирования производственной системы, которую нельзя трактовать как несоответствие без рассмотрения дополнительных факторов.

<b>Пример заполнения</b>
1 Взаимодействие с потребителем и регистрация данных о качестве <i>Поставка продукции осуществляется в соответствии с договорами на поставку. За период с 2019 по 2022 получено 0 рекламаций. Работа по рекламациям осуществляется в соответствии со стандартом предприятия СТП 7.1.8-2019 «Претензионная работа и работа с рекламациями». Ответственность за работу с рекламациями возложена на отдел главного технолога и непосредственно главного технолога</i>
<b>Пример заполнения при отсутствии процедурного документа</b>
2 Система проведения корректирующих мероприятий <i>Процедурный документ по проведению корректирующих мероприятий не предусмотрен. Ответственность за проведение процедуры корректирующих мероприятий возложена на начальников цехов по направлениям. Документальное оформление процедуры корректирующих мероприятий ведется в виде «Акта выявленных несоответствий и их устранения»</i>
<b>Пример заполнения при отсутствии лица, ответственного за выполнение функции</b>
3 Условия хранения, упаковки, консервации готовой продукции, материалов и комплектующих <i>Хранение готовой продукции осуществляется в крытом складе и на специально отведенном участке сборочного цеха. Хранение сырья, материалов и комплектующих осуществляется в крытом складе № 1. Погрузочно-разгрузочные работы производятся с применением погрузчиков и мостовых кранов. Учет, хранение, приемка и выдача продукции и комплектующих осуществляются в соответствии с инструкцией И-7 «Инструкция по работе складского хозяйства». Ответственность за выполнение процедур приемки, выдачи и условий хранения готовой продукции не установлена</i>
<b>Пример заполнения при фиксации результатов процедуры в электронном виде</b>
4 Система и методическое обеспечение входного контроля и испытаний <i>Входной контроль и испытания проводятся отделом технического контроля. Персонал соответствует установленным требованиям. Входной контроль осуществляется в соответствии с картой контроля К-767 «Входной контроль». Номенклатура метрологического оборудования соответствует установленным в карте контроля К-767 и ГОСТ 78925.1 требованиям. Номенклатура сырья, материалов, комплектующих, подлежащих входному контролю, установлена «Перечнем сырья, материалов и комплектующих, подлежащих входному контролю». По результатам входного контроля продукция маркируется биркой зеленого цвета в соответствии с картой контроля К-767. Результаты входного контроля фиксируются в электронном виде в системе INFORM</i>
<b>Пример заполнения, если не предусмотрено выполнение отдельной операции (в данном случае – маркировка)</b>
5 Система и методическое обеспечение операционного контроля и испытаний <i>Операционный контроль и испытания проводятся непосредственными исполнителями работ и мастерами участков. Персонал соответствует установленным требованиям. Операционный контроль осуществляется в соответствии с технологическим процессом ТПЗ «Сборка электрооборудования». Номенклатура метрологического оборудования соответствует установленным в ТПЗ «Сборка электрооборудования» требованиям. Номенклатура технологических операций, подлежащих операционному контролю, установлена ТПЗ «Сборка электрооборудования». По результатам операционного контроля маркировка продукции не предусмотрена. Результаты операционного контроля фиксируются в сопроводительном листке.</i>
<b>Пример заполнения при наличии аутсорсинга</b>
7 Система обеспечения ТНПА <i>Ответственность за приобретение, ведение, актуализацию и хранение фонда ТНПА, а также за обеспечение персонала ТНПА возложена на специалиста по стандартизации конструкторского бюро. Приобретение, ведение, актуализация и хранение фонда ТНПА, а также обеспечение персонала ТНПА осуществляются посредством использования баз данных агентства Veith. Обслуживание осуществляется в соответствии с договором № 234 от 13.02.2020 (срок действия договора не установлен). Обеспечение персонала ТНПА ведется в электронном виде путем предоставления доступа к общей папке</i>
<b>Пример заполнения при использовании ТД и КД, разработчиком которой является третья сторона</b>
8 Система управления технологической и конструкторской документацией <i>Продукция выпускается по ТД и КД, разработанной MGT Ltd., Со. ТД и КД переданы изготовителю на основании лицензионного договора № 56/16.2-Лиц от 23.04.2017, действующему до 22.04.2022. ТД и КД отвечают требованиям для присвоения литеры, соответствующей серийному производству. Обеспечение ТД и КД на рабочих местах осуществляется в соответствии со стандартом предприятия СТО-9-2017. ТД и КД на рабочих местах имеются в наличии в достаточном для производства продукции объеме. Ведение, актуализация и хранение фонда ТД и КД осуществляются в соответствии со стандартом предприятия СТО-9-2017. Ответственность за ведение, актуализацию и хранение фонда ТД и КД, а также за обеспечение персонала ТД и КД возложена на конструкторское бюро</i>

Рисунок 3 – Примеры заполнения опросных блоков анкеты-вопросника для самооценки (поблочная разбивка анкеты с выделением ответов по сегментам)

Для оптимизации модели разработки КПТОН можно использовать процессный подход, который позволяет структурировать все процессы принятия решения по выбору способов транспортного обслуживания в регионе, установить рациональное число участников транспортного обслуживания, распределить между ними компетенции и полномочия, установить целевые параметры деятельности каждого участника, распределить транспортную работу между перевозчиками, оптимизировать расходы и использование бюджетных средств, а также оптимизировать управленческие процессы организационного взаимодействия [10, 11].

Бизнес-процесс разработки КПТОН представляет собой совокупность действий участников разработки и реализации в виде управленческой модели, в рамках которой на основе заявок на осуществление перевозок пассажиров в регионе производится оценка транспортных, инфраструктурных, финансовых и иных ресурсов. В её результате формируется целевая модель транспортного обслуживания и государственный заказ на перевозки, востребованный потребителями услуг [12, 13].

Комплексная схема бизнес-процессов разработки КПТОН представлена на рисунке 2. Описание комплексной схемы бизнес-процессов разработки КПТОН приведено в таблицах 1–3.

а)



б)

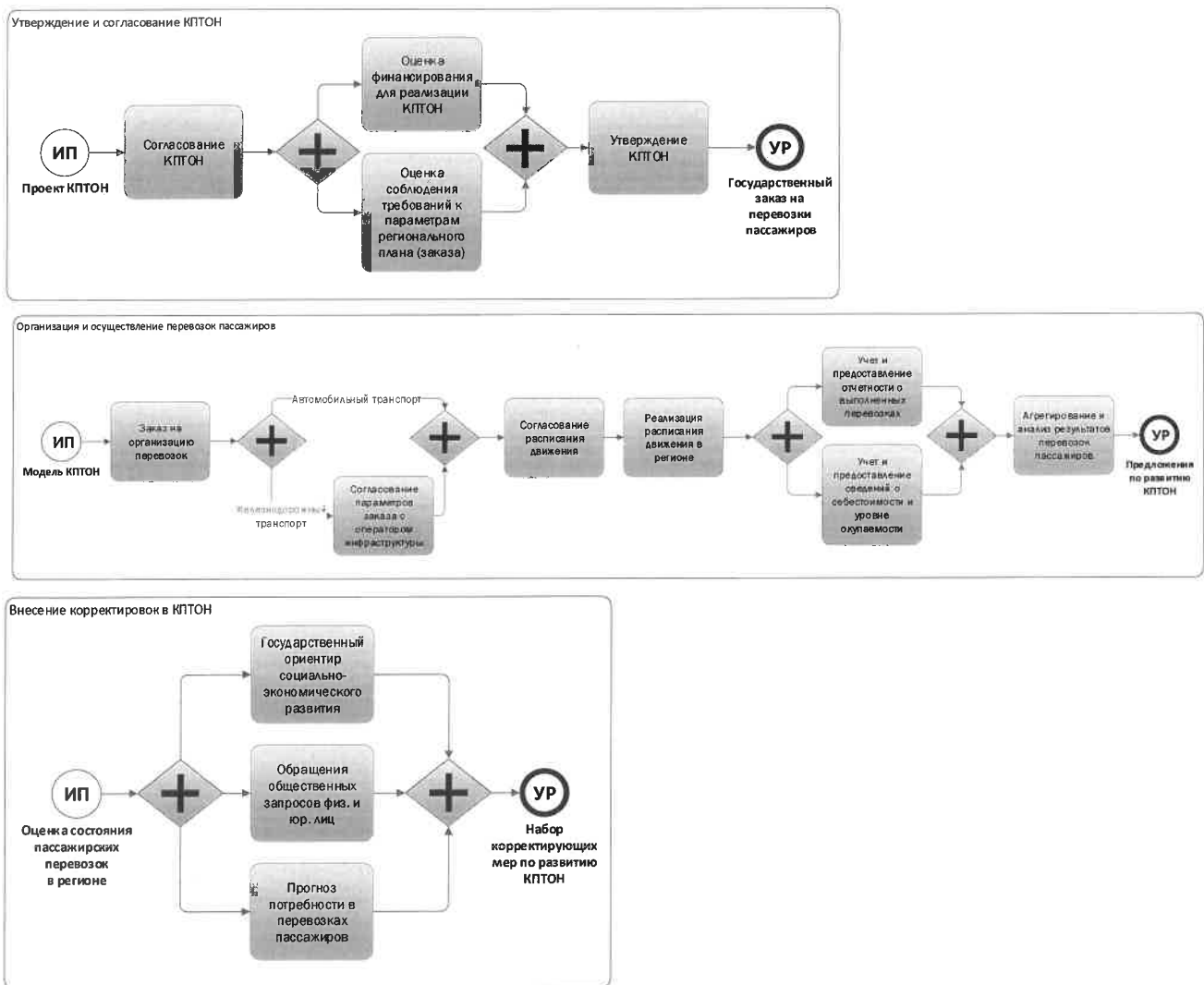


Рисунок 2 – Комплексная схема бизнес-процессов разработки КПТОН (а) и ее подпроцессов (б): ИП – исходный процесс; УР – управленческое решение

### **Заключение**

Таким образом, при проектировании железнодорожных путей необщего пользования необходимо учитывать следующие особенности:

- необходимость проектирования, строительства и эксплуатации пути в стесненных условиях существующей производственной инфраструктуры;
- минимальные сдвиги пути, а также максимальное сохранение заводской застройки;
- разработка альтернативных инженерных решений в «узких» местах;
- выполнение требований заказчика и вместе с тем обязательное соблюдение требований нормативной документации.

### **Список литературы**

1 ТКП 45-3.03-163-2009. Железные дороги. Земляное полотно. Правила проектирования. – Введ. впервые. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 2010. – 99 с.

Получено 10.07.2023

**P. V. Kovtun, O. V. Osipova, S. A. Binduk, V. A. Musilovich.** Features of construction and operation of railway tracks non-public use in cramped conditions.

As a result of certification of railway tracks of industrial enterprises, the features of designing additional track development of a non-public network with specified production characteristics were noted and studied. Options for the construction of track facilities in cramped conditions have been developed based on the requirements of preserving the existing plant infrastructure.

2 СНБ 3.03.01-98. Железные дороги колеи 1520 мм. – Минск : М-во архит. и стр-ва Респ. Беларусь, 1998. – 26 с.

3 Типовой проект 501-3. Повышенный путь для выгрузки сыпучих грузов из железнодорожных вагонов. – М. : Гипропромтрансстрой.

4 Совершенствование путевого развития ОАО «Борисовский шпалопропиточный завод» / О. Н. Власенко [и др.] // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2021.– № 2 (43). – С. 37–39.

5 Инструкция о порядке определения сметной стоимости строительства и составления сметной документации на основании нормативов расхода ресурсов в натуральном выражении : утв. постановлением МАиС РБ № 51 от 18.11.2011 г.

6 **Ковтун, П. В.** Особенности проектирования подъездных путей в стесненных условиях / П. В. Ковтун, О. В. Осипова, Д. А. Сапроненко // Проблемы безопасности на транспорте : материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2015. – С. 251.

УДК 656.025.2

*П. В. КОВТУН, кандидат технических наук, Т. А. ДУБРОВСКАЯ, кандидат технических наук, Белорусский государственный университет транспорта; Н. Н. КРАВЧЕНКО, Е. В. НИКИТИН, Д. С. ШАБАН, Белорусская железная дорога, г. Минск*

## ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ БОКОВОГО ИЗНОСА ГОЛОВКИ РЕЛЬСА В КРИВОЛИНЕЙНЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ

Приводятся данные об интенсивности износа в криволинейных участках пути малых и средних радиусов. Анализируются показатели интенсивности бокового износа наружного рельса в зависимости от продольного профиля пути и возвышения наружного рельса.

**К**риволинейные железнодорожные участки составляют около 30 % развернутой длины главных путей Белорусской железной дороги. Из-за возникающих дополнительных сил в таких участках железнодорожный путь работает более напряженно, чем в прямых. Вследствие этого в системе «колесо – рельс» происходит более интенсивное изнашивание и истирание взаимодействующих элементов.

Изнашивание – это постепенное изменение размеров предмета в результате отделения частиц с поверхности трения материала, а также из-за остаточной деформации. Наиболее распространённым считается усталостное изнашивание вследствие циклического воздействия на микровыступы трущихся поверхностей. Отделение частиц может происходить и при наклепе поверхностного слоя, который становится хрупким и разрушается.

Второе по распространённости – абразивное изнашивание рельсов и колёс, при котором на трущихся поверхностях появляются частицы, разрушающие материалы за счет резания и царапания. Часто абразивными частицами бывают продукты самого износа. Абразивный боковой износ рельсов и гребней колес в зонах их контактов характеризуется стачиванием частиц материала вследствие воздействия абразивных частиц, а также вследствие воздействия шероховатой твердой поверхности гребня колеса на боковую грань головки, и наоборот. Типичным повреждением поверхности боковой грани головки рельсов и гребня колеса при абразивном износе являются бороздки и сильная деформация их поверхностных слоев.

Для уменьшения сил взаимодействия, а также оптимизации прохождения экипажем криволинейных участков в них имеются следующие особенности:

- уширение колеи при  $R < 350$  м;
- возвышение наружного рельса над внутренним;
- переходные кривые;
- укороченные рельсы на внутренних рельсовых нитях;
- увеличенные междупутные расстояния при наличии двух и более путей.

Из множества факторов, влияющих на боковой износ головок рельсов и гребней колёс, определяющими являются:

- скольжение гребня по боковой грани головки рельса;
- удельное давление гребня на боковую грань головки рельса, определяемое давлением силы прижатия гребня на площадь его контакта с рельсом.

Увеличение скоростей движения пассажирских и грузовых поездов потребовало большего внимания к содержанию пути в плане, так как при увеличении скоростей резко возрастает динамическое воздействие подвижного состава на путь с отступлениями в плане.

Особое внимание уделяется содержанию в плане кривых участков пути при движении подвижного состава, по которым возникают дополнительные горизонтальные силы, не уравновешенные возвышением наружной рельсовой нити.

Другим важнейшим фактором, оказывающим влияние на интенсивность износа рельсов, является величина непогашенного центробежного ускорения. При изменении величины возвышения с 40 до 130 мм, что соответствует снижению непогашенного ускорения на  $0,55$  м/с<sup>2</sup>, интенсивность бокового износа наружного рельса снижается более чем в 3 раза.

Существенных результатов по уменьшению интенсивности бокового износа рельсов можно достичь за счет уменьшения глубины касания гребнем колеса боковой грани рельса. Так, при уменьшении глубины с 10 до 5 мм интенсивность износа становится меньше на 16–37 % при воздействии вагонных колес и на 9–14 % при воздействии локомотивных.

Уменьшения глубины касания можно добиться увеличением подуклонки рельсов с 1/20 до 1/12. Увеличение подуклонки рельсов до 1/15...1/12 позволяет снизить интенсивность износа в 1,2–1,5 раза, особенно в начальный период. Однако эффект будет временным, так как по мере нарастания бокового износа глубина касания возрастает и интенсивность износа повышается. Уширение колеи в кривых практически не снижает интенсивность износа рельсов.

Анализ работ по износу рельсов показал, что интенсивность износа зависит от сил и коэффициентов трения в зоне контакта гребня колеса и рельса, их твердостей, размера и формы пятен контакта, а также других факторов. По данным различных исследований [1–4], на интенсивность износа рельсов оказывает влияние более двадцати факторов: радиус кривой, возвышение наружного рельса, фактические скорости движения, уклоны продольного профиля пути и масса поездов, перекос колесных пар в экипаже, шероховатость поверхности катания рельсов после шлифования, ширина рельсовой колеи и т. д.

На сегодняшний день на Белорусской железной дороге имеется значительное количество криволинейных участков малого и среднего радиуса. Износ рельсовых нитей в таких кривых происходит интенсивнее и более ярко выражен, чем в кривых больших радиусов.

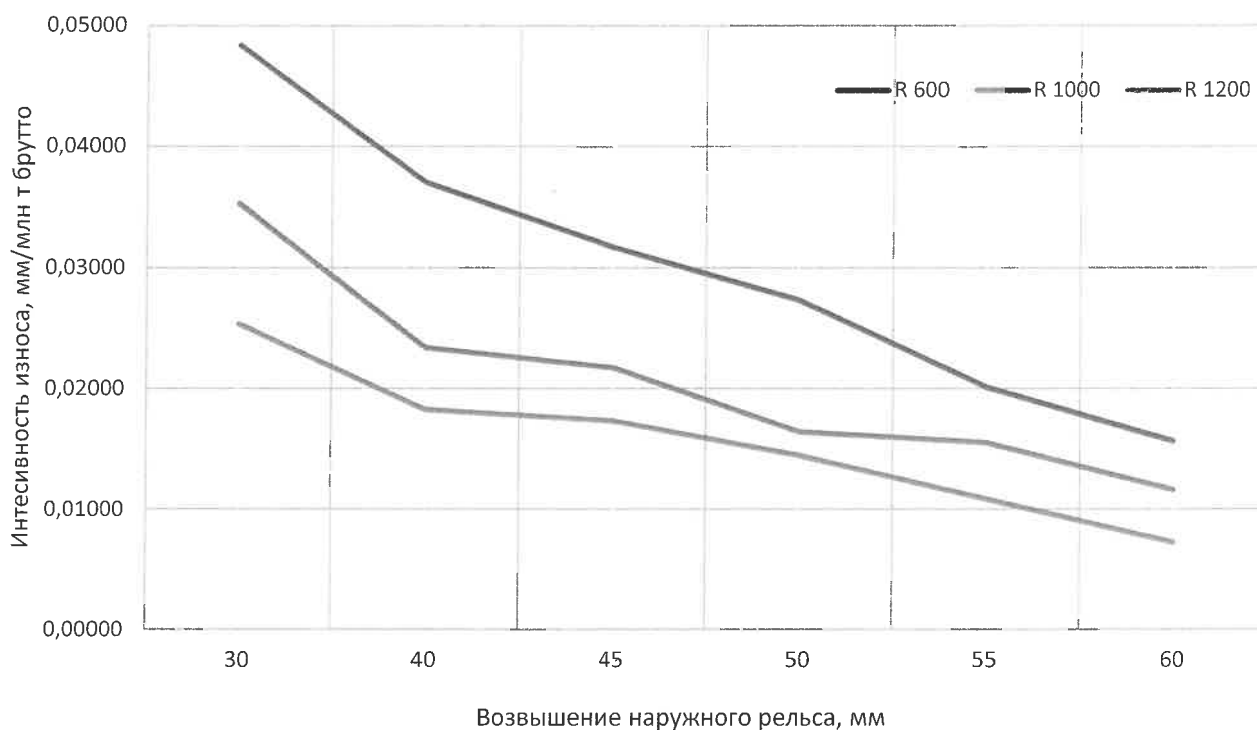


Рисунок 3 – Влияние возвышения наружного рельса на интенсивность бокового износа рельсов

Таблица 3 – Зависимость интенсивности бокового износа от возвышения наружного рельса

Возвышение наружного рельса, мм	Радиус кривой R, м		
	600	1000	1200
30	0,04838	0,03529	0,02532
40	0,03700	0,02336	0,01825
45	0,03167	0,02169	0,01734
50	0,02729	0,01643	0,01446
55	0,02010	0,01551	0,01084
60	0,01565	0,01160	0,00723

Из данных, приведенных в таблице 3 и на рисунке 3, видно, что в кривых с малым значением возвышения наружного рельса возникает непогашенное ускорение, которое значительно влияет на интенсивность бокового износа наружного рельса.

На рисунке 4 приведены сравнительные показатели интенсивности бокового износа головок рельсов в кривых в зависимости от продольного профиля пути.

В таблице 4 приведены показатели интенсивности бокового износа наружного рельса от продольного профиля пути.

По данным, приведенным в таблице 4 и на рисунке 4, наблюдается устойчивая тенденция к повышению интенсивности износа с увеличением величины уклона. Также видно, что во всех случаях интенсивность износа на спусках выше, чем интенсивность износа на подъемах. Рост интенсивности бокового износа наружного рельса в криволинейных участках обусловлен увеличением продольных сил, возникающих при движении грузовых поездов по подъему или спуску, которые инициируют рост боковых сил.

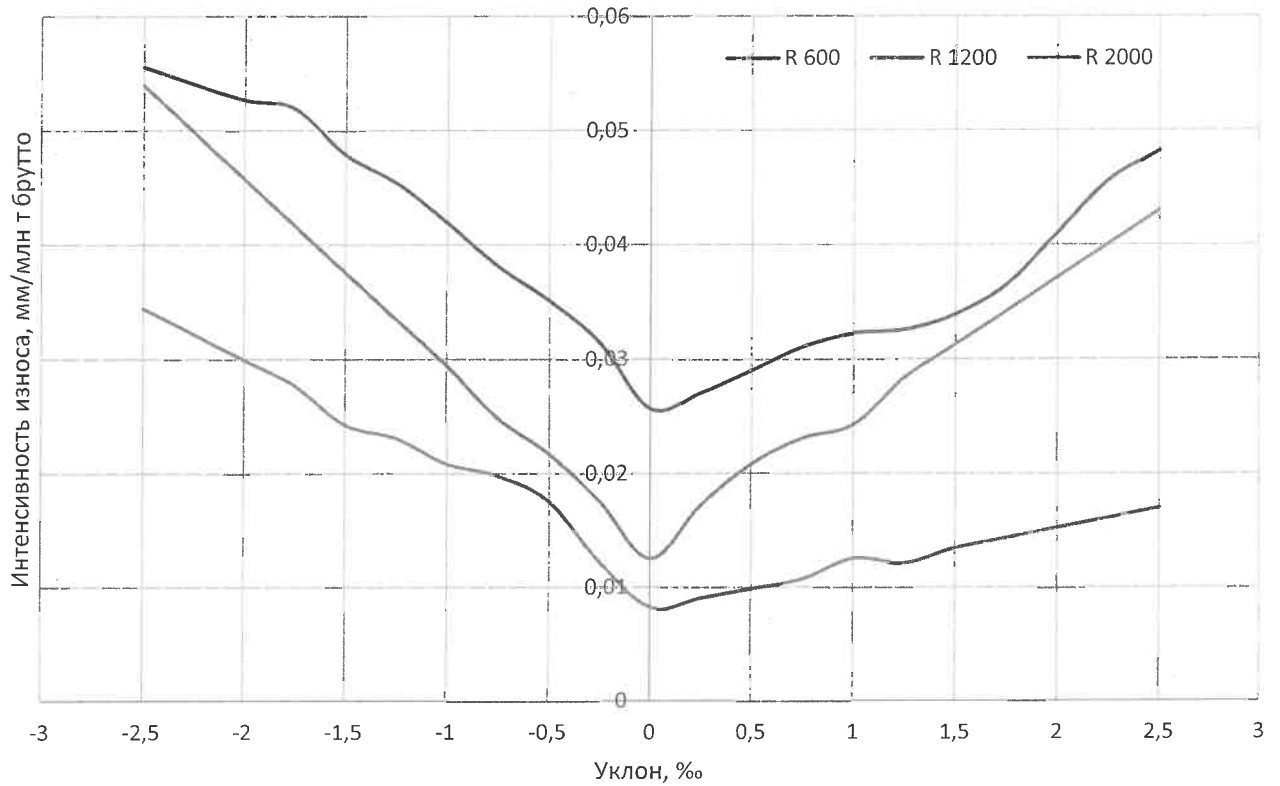


Рисунок 4 – Влияние продольного профиля на интенсивность износа

Таблица 4 – Показатели интенсивности бокового износа наружного рельса от продольного профиля пути

Уклон, ‰	Радиусы кривых $R$ , м		
	$R = 600$	$R = 1200$	$R = 2000$
-2,5	0,05555	0,05392	0,03442
-2,25	0,05405	0,04983	0,03218
-2	0,05267	0,04574	0,02993
-1,75	0,05189	0,04164	0,02769
-1,5	0,04784	0,03755	0,02424
-1,25	0,04537	0,03346	0,02305
-1	0,04189	0,02937	0,02082
-0,75	0,03809	0,02479	0,01979
-0,5	0,03509	0,02169	0,01756
-0,25	0,03142	0,01756	0,01223
0	0,02565	0,01253	0,00826
0,25	0,02709	0,01723	0,00908
0,5	0,02905	0,02082	0,00990
0,75	0,03109	0,02305	0,01071
1	0,03224	0,02424	0,01253
1,25	0,03255	0,02835	0,01216
1,5	0,03392	0,03127	0,0135
1,75	0,03651	0,03420	0,01438
2	0,04104	0,03712	0,01525
2,25	0,04561	0,04005	0,01613
2,5	0,04818	0,04297	0,01700

Анимированную модель электромагнитных процессов (рисунок 3) можно получить как в виде непо-

средственно поля с цветовой дифференциацией различных физических величин или в виде векторов.

Таблица 1 – Результаты расчета АД

Номер пункта	Условные обозначения	Двигатель № 1	Двигатель № 2
1	Изоляция класса нагревостойкости	$F$	$F$
2	$h$ , мм	200	200
3	$D_{н1}$ , мм	359	359
4	$D_1$ , мм	239,12	239,12
5	$A'_1$ , А/см	433,2	421,8
6	$B'_8$ , Тл	0,77	0,765
7	$l_1$ , мм	190	194
8	$q_1$	3	3
9	$z_1$	36	38
<i>Сердечник ротора</i>			
10	$z_2$	38	48
<i>Обмотка статора</i>			
11	$w_1$	108	104
12	$\Phi$ , Вб	0,017	0,0175
13	$B_{\delta}$ , Тл	0,749	0,757
14	$I_1$ , А	51,95	59,949
15	$A_1$ , А/см	448,35	394,21
16	$J_1$ , А / мм <sup>2</sup>	5,63	6,98
17	$A_1 J_1$ , А <sup>2</sup> /(см· мм <sup>2</sup> )	2524,21	2751,58
18	$(A_1 J_1)_{доп}$ , А <sup>2</sup> /(см· мм <sup>2</sup> )	2730	2892,5
19	$I_1$ , А	42,97	42,99
20	$\cos\varphi_0$	0,884	0,886
21	$A_1$ , А/см	370,79	424,308
22	$J_1$ , А/мм <sup>2</sup>	4,65	10,02
23	$A_2$ , А/см	309,87	353,86
24	$I_{ст}$ , А	612,36	466,08
25	$J_{ст}$ , А/мм <sup>2</sup>	2,28	1,96
26	$\eta$ , %	92,39	91,94
27	Проверка $P_1$ , Вт $P_2$ , Вт	43308 40008	43465 39921

Таблица 2 – Рабочие характеристики первого варианта двигателя

Характеристика	Отдаваемая мощность в долях от номинальной $P_2$					
	0	0,25 $P_2$	0,5 $P_2$	0,75 $P_2$	$P_2$	1,25 $P_2$
$P_2$ , Вт	0	10000	20000	30000	40000	50000
$s$	0,00012	0,0035	0,0071	0,011	0,0153	0,0204
$I_{a1}$ , А	1,118	10,032	19,12	28,46	37,95	47,79
$I_{p1}$ , А	11,346	11,76	13,24	15,95	20,073	26,083
$I_1$ , А	11,401	15,46	23,26	32,63	42,93	54,45
$\cos\varphi$	0,0981	0,6489	0,822	0,87	0,884	0,8774
$P_1$ , Вт	1510,39	11620,52	21933,19	32478,29	43290,78	54462,57
$\eta$	0	86,05	91,18	92,36	92,3984	91,806
$M$ , Н·м	0	63,89	128,25	193,13	258,641	324,96
$n_2$ , об/мин	1499,81	1494,66	1489,26	1483,4	1476,941	1469,38



Таблица 3 – Рабочие характеристики второго варианта двигателя

Характеристика	Отдаваемая мощность в долях от номинальной $P_2$					
	0	$0,25P_2$	$0,5P_2$	$0,75P_2$	$P_2$	$1,25P_2$
$P_2$ , Вт	0	10000	20000	30000	40000	50000
$s$	0,00013	0,0037	0,0075	0,01161	0,01605	0,02107
$I_{a1}$ , А	1,162	10,088	19,206	28,55	38,13	48,078
$I_{p1}$ , А	12,516	12,85	14,11	16,39	19,86	24,81
$I_1$ , А	12,569	16,34	23,83	32,9301	42,99	54,105
$\cos\varphi$	0,0925	0,61	0,805	0,8672	0,8869	0,8886
$P_1$ , Вт	1560,82	11682,9	22097,9	32693,2	43576,4	54824,8
$\eta$	0	85,59	90,506	91,76	91,79	91,19
$M$ , Н·м	0	63,906	128,303	193,24	258,82	325,18
$n_2$ , об/мин	1499,8	1494,37	1488,67	1482,58	1475,93	1468,4

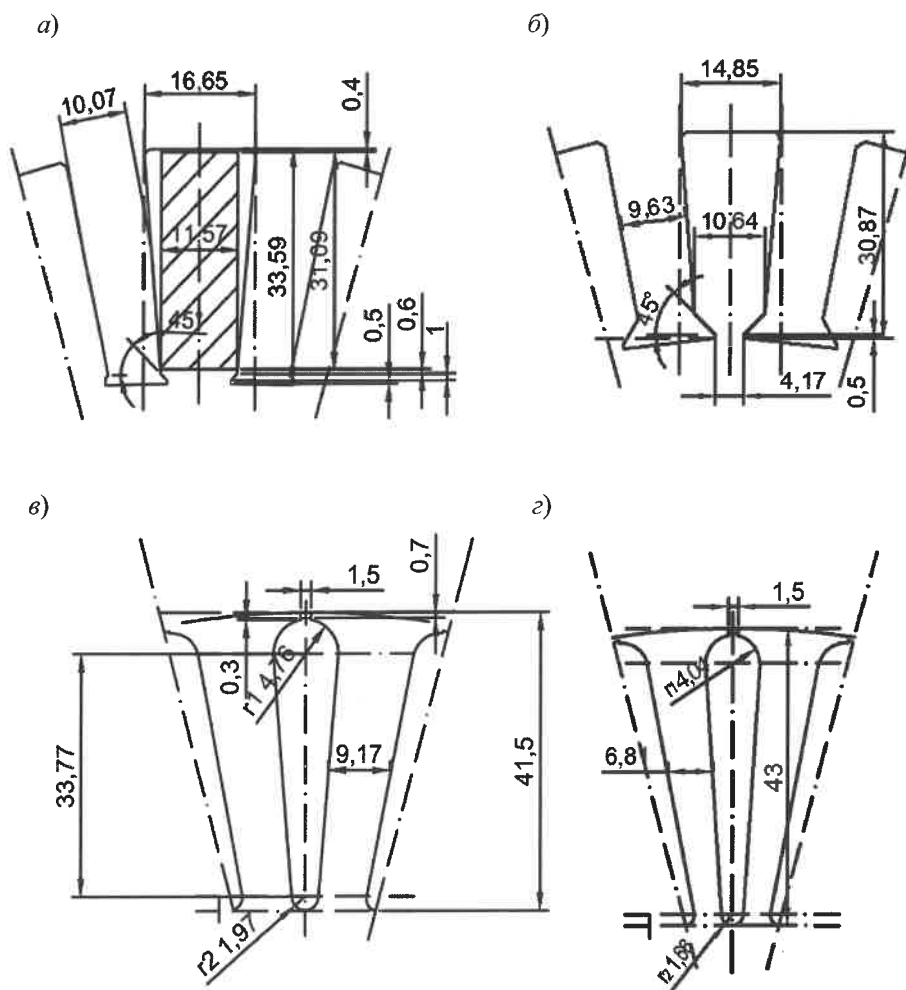


Рисунок 1 – Трапециевидные полузакрытые пазы статора (а, б) и овальные закрытые короткозамкнутого ротора (в, г) соответственно первого и второго вариантов АД

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА**

УДК 006.015.8

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

**САМООЦЕНКА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ  
ВЫПУСКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПРОДУКЦИИ**

Приводятся принципы самооценки выпуска железнодорожной продукции предприятиями-изготовителями. Выполнен анализ применения самооценки при сертификации железнодорожной продукции.

**Б**езопасность железнодорожной продукции обусловлена широким спектром факторов, одним из важнейших среди которых является стабильность производственных процессов ее выпуска на предприятии-изготовителе. При проведении работ по подтверждению соответствия изделий железнодорожного назначения серийного производства в соответствии с техническими регламентами ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [1], ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» [2] и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [3], а также Правилами подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь [4] проводится анализ состояния производства в отношении систем управления:

- технологическими процессами и режимами, включая процессы хранения, упаковки, маркировки и консервации продукции;
- технологической (ТД) и конструкторской (КД) документацией;
- техническими нормативными правовыми актами (ТНПА) и иной нормативной документацией;
- средствами технологического оснащения;
- метрологическим оборудованием;
- методическим обеспечением и проведением всех видов контроля и испытаний;
- несоответствующей продукцией;
- взаимодействием с потребителями и работой по рекламациям;

- персоналом;
- идентификацией продукции и ее прослеживаемостью в процессе производства.

В результате работ по анализу состояния производства экспертами-аудиторами органа по сертификации выявляются отдельные несоответствия (существенные либо несущественные), устранение которых является обязательным условием для получения сертификата соответствия. По итогам проведенных в 2016–2019 гг. работ по трем основным группам железнодорожной продукции (подвижной состав и его части, элементы пути, аппаратура автоматики, телемеханики и связи) было выявлено 735 несущественных несоответствий, распределение которых по направлениям проверки представлено в таблице 1. При этом по степени воздействия на конечную продукцию выявленные несоответствия можно классифицировать на три группы:

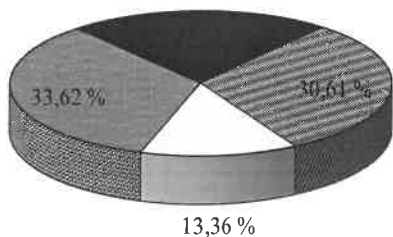
- влияющие на качество отдельных изделий – периодические частные нарушения технологии изготовления, процедур контроля и проверки;
- напрямую влияющие на стабильность процесса производства в целом – отсутствие процедурных документов, недостаток персонала, несоблюдение процедур использования фонда ТНПА, технической и конструкторской документации и т. д.;
- косвенно влияющие на стабильность процесса производства в целом – нарушение процедур поставки продукции на производство, слабая организация взаимодействия с потребителем, отсутствие изоляторов брака и т. д.

Таблица 1 – Анализ несоответствий в разрезе продукции (количество / % от общего числа)

Элементы производственной системы	Подвижной состав	Инфраструктура		Итого
		Путь	Автоматика, телемеханика и связь	
Взаимодействие с потребителем и регистрация данных о качестве	16 / 3,8	11 / 3,8	0 / 0,0	27 / 3,6
Технологические процессы и режимы	66 / 15,6	36 / 12,4	3 / 14,3	105 / 14,3
Хранение, упаковка, маркировка и консервация	52 / 12,3	27 / 9,3	11 / 52,3	90 / 12,2
Контроль и испытания	142 / 33,6	90 / 30,9	0 / 0,0	232 / 31,6
ТД, КД и ТНПА	52 / 12,3	44 / 15,1	3 / 14,3	99 / 13,5
Метрологическое оборудование	22 / 5,2	17 / 5,8	1 / 4,8	40 / 5,4
Технологическое оснащение	27 / 6,4	22 / 7,6	0 / 0,0	49 / 6,7
Персонал	9 / 2,1	10 / 3,4	1 / 4,8	20 / 2,7
Идентификация и прослеживаемость	25 / 5,9	18 / 6,2	0 / 0,0	43 / 5,9
Несоответствующая продукция	12 / 2,8	16 / 5,5	2 / 9,5	30 / 4,1
<b>Итого</b>	<b>423 / 100,0</b>	<b>291 / 100,0</b>	<b>21 / 100,0</b>	<b>735 / 100,0</b>

Анализ таблицы 1 показывает, что наибольшее количество несоответствий выявляется в части обеспечения контроля и испытаний (рисунок 1). К наиболее часто встречающимся нарушениям, касающимся проведения производственного контроля и испытаний, относятся:

- отсутствие документов о качестве (включая документы о соответствии) на особо ответственные детали, узлы или элементы конструкции несобственного изготовления (входной);
- отсутствие изоляторов брака и неприменение либо неправильное применение идентификаторов несоответствующей продукции (входной, операционный, приемо-сдаточный);
- отсутствие процедур проведения контроля (операционный, периодический);
- неверное проведение либо полное отсутствие контроля (периодический).



входной  
 приемо-сдаточный  
 операционный  
 периодический

Рисунок 1 – Распределение несоответствий по видам контроля

Подавляющее число несоответствий в части соблюдения технологии производства и работе с информационным фондом сводится к отсутствию оформленной документации на отдельные процессы производства. В последующем производственном цикле отсутствие технологических процессов, маршрутных карт и т. д., а также необходимых стандартов и других ТНПА приводит к снижению качества выпускаемой продукции, ставя его в абсолютную зависимость от квалификации и личных профессиональных знаний конкретных исполнителей.

Еще одним аспектом, на который следует обратить отдельное внимание, является организация погрузочно-разгрузочных работ и хранения. Здесь к основным несоответствиям относятся нарушения порядка складирования и учета фактического наличия на складе материалов и комплектующих, что ведет к неоправданному повышению уровня производственных запасов.

Несоответствия по остальным элементам производственного процесса, как правило, сводятся к двум аспектам:

- отсутствие различных процедурных документов;
- частные случаи нарушения требований процедурных документов или отсутствие регистрации выполнения процедур контроля.

Таким образом, базирываясь на детальном анализе несоответствий, можно сделать вывод о том, что значительная часть несоответствий (по экспертным оценкам до 65–70 %) могла бы быть устранена еще на этапе подготовки к сертификации перед подачей заявки, что косвенно подтверждается результатами, полученными при периодической оценке либо при повторной сертификации, когда количество выявленных несоот-

ветствий резко снижается. Однако, как правило, заявители не проводят предварительный внутренний аудит с целью приведения системы производства в соответствие с требованиями ТНПА, что связано с отсутствием методических указаний и рекомендаций по оценке качества производственных процессов. Для решения данной проблемы, а также сокращения сроков проведения выездного анализа состояния производства, и, как следствие, снижения его стоимости для производителя, была разработана анкета-вопросник для самооценки предприятия. Данный документ включает в себя пятнадцать основных опросных блоков.

I Взаимодействие с потребителем и регистрация данных о качестве.

II Система проведения корректирующих мероприятий.

III Условия хранения, упаковки, консервации готовой продукции, материалов и комплектующих.

IV Система и методическое обеспечение входного контроля и испытаний.

V Система и методическое обеспечение операционного контроля и испытаний.

VI Система, методическое обеспечение и проведение приемо-сдаточного контроля и испытаний.

VII Система обеспечения ТНПА.

VIII Система управления технологической и конструкторской документацией (ТД и КД).

IX Система управления метрологическим оборудованием.

X Компетентность персонала.

XI Система и методическое обеспечение периодических испытаний.

XII Соблюдение технологии производства и технологических режимов производства.

XIII Система технического обслуживания, ремонта и учета технологического оборудования;

XIV Система идентификации и прослеживаемости продукции, материалов и комплектующих.

XV Система управления несоответствующей продукцией.

Каждый из блоков содержит три-четыре уточняющих сегмента-шаблона, для заполнения которых производитель должен полностью проанализировать систему, относящуюся к блоку (рисунок 2).

Пункт анкеты	Примечание
1 Взаимодействие с потребителем и регистрация данных о качестве	
Поставка продукции осуществляется в соответствии с (обозначение и наименование процедурного документа)	
За период с (год) по (год) получено (количество) рекламаций	За период 3 года до момента подачи заявки
Работа по рекламациям осуществляется в соответствии с (обозначение и наименование процедурного документа)	
Ответственность за работу с рекламациями возложена на (наименование ответственного подразделения или должность ответственного лица)	
2 Система проведения корректирующих мероприятий	
Корректирующие мероприятия осуществляются в соответствии с (обозначение и наименование процедурного документа)	
Ответственность за проведение процедуры корректирующих мероприятий возложена на (наименование ответственного подразделения или должность ответственного лица)	
Документальное оформление процедуры корректирующих мероприятий ведется (обозначение и наименование итоговых форм или журналов)	При фиксации результатов в зле, тронкем виде указывается наименование программного продукта
3 Условия хранения, упаковки, консервации готовой продукции, материалов и комплектующих	
Хранение готовой продукции осуществляется в (наименование складских помещений). Хранение сырья, материалов и комплектующих осуществляется в (наименование складских помещений). Погрузочно-разгрузочные работы производятся с применением (наименование основных средств механизации)	
Учет, хранение, приемка и выдача продукции и комплектующих осуществляются в соответствии с (обозначение и наименование процедурного документа)	
Ответственность за выполнение процедур приема, выдачи и условий хранения готовой продукции возложена на (наименование ответственного подразделения или должность ответственного лица)	

Рисунок 2 – Пример блоков и сегментов-шаблонов анкеты-вопросника

Заполненная анкета-вопросник для самооценки полностью характеризует производство конкретного вида железнодорожной продукции на конкретном предприятии и далее может быть использована как службой качества на самом предприятии, так и экспертами-аудиторами в ходе выполнения процедур сертификации. Так, в случае использования результатов для дальнейшего совершенствования производства целесообразно оценивать каждый сегмент по балльной шкале (количество баллов зависит от детальности проработки блока) с последующим составлением многоугольника качества, количество углов которого зависит от количества сегментов (рисунок 4). При этом для наглядности фактический многоугольник качества располагается под аналогичным многоугольником, построенным на основании целевых нормативных значений, которые должны быть достигнуты в ходе работ по улучшению системы. Такое графическое представление позволяет акцентировать внимание прежде всего на тех аспектах, с которыми необходимо проводить работу в первую очередь. Так, для приведенного на рисунке 3 примера требуется значительная углубленная переработка процедурного документа, который устанавливает порядок работы с метрологическим оборудованием.

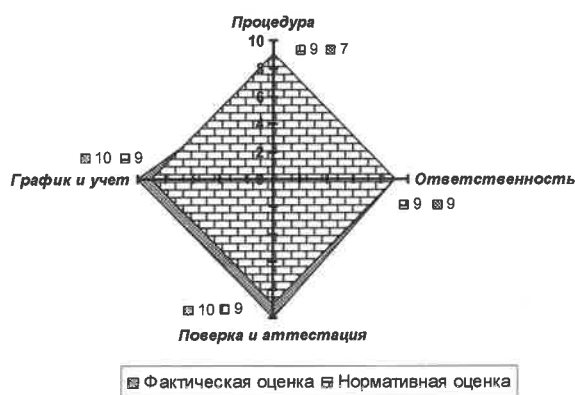


Рисунок 4 – Пример многоугольника качества для системы управления метрологическим оборудованием (10-балльная шкала)

При сертификации информация, полученная из анкеты-вопросника, является базой для первичного ознакомления команды экспертов-аудиторов с производством. Проведенная вместе с предварительной до-

кументальной оценкой обработка анкеты-вопросника дает возможность подготовиться к выездной работе на базе предприятия-изготовителя. При этом в связи с тем, что в ответах возможно как ненамеренное, так и преднамеренное искажение информации, исключение элементов из программы анализа состояния производства не допускается.

Практика применения анкеты-вопросника для самооценки при проведении сертификации продукции полностью подтвердила гипотезу о тенденции к снижению количества выявляемых экспертами-аудиторами несоответствий. Это связано прежде всего с тем, что уже на этапе подготовки к анализу состояния производства изготовитель стремится исключить возможные дальнейшие риски и, имея рекомендации по самооценке, самостоятельно предпринимает меры по внутреннему аудиту и доведению производственных процессов до необходимого для стабильного выпуска качественной продукции уровня. Таким образом, в комплексе с остальными установленными схемой сертификации процедурами достигается целевая функция процесса оценки соответствия – выпуск безопасной в эксплуатации железнодорожной продукции.

В связи с вышеизложенным представляется возможным рекомендовать использование анкеты-вопросника для самооценки к широкому применению при проведении работ по оценке соответствия продукции железнодорожного назначения, а также при внутренних аудитах системы качества предприятий-изготовителей такой продукции.

#### Список литературы

- 1 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 49 с.
- 2 ТР ТС 002/2011. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 55 с.
- 3 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 37 с.
- 4 Правила подтверждения соответствия Национальной системы подтверждения соответствия Республики Беларусь : утв. постановлением Государственного комитета по стандартизации Респ. Беларусь от 25 июля. 2017 № 61 : с изм. и доп. – Минск, 2021. – 49 с.

Получено 22.09.2023

**Yu. I. Kulazhenko, V. S. Zaichyk, A. A. Kebikov.** Self-assessment of production processes for the production of railway products.

The principles of self-assessment of the production of railway products by manufacturing enterprises are given. An analysis of the use of self-assessment in the certification of railway products was carried out.

УДК 006.015.8

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

## **ДИСТАНЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОЦЕДУР ПРИ ПОДТВЕРЖДЕНИИ СООТВЕТСТВИЯ И ОПЫТ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ**

Выполнен анализ дистанционных методов проведения процедур, выполняемых при подтверждении соответствия железнодорожной продукции действующим требованиям безопасности. Предложена последовательность проведения работ по анализу состояния производства предприятий дистанционными методами. Обобщен опыт применения дистанционных методов. Сформированы рекомендации по применению дистанционных методов в условиях ограниченного доступа к производственной базе.

**П**роцедуры подтверждения соответствия требованиям безопасности железнодорожной продукции установлены техническими регламентами ТР ТС 001/2011 «О безопасности железнодорожного подвижного состава» [1], ТР ТС 002/2011 «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» [2] и ТР ТС 003/2011 «О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта» [3] и предусматривают выполнение четко очерченного круга работ в зависимости от схемы сертификации. При этом часть работ должна проводиться с выездом экспертов-аудиторов органа по сертификации к изготовителю либо к месту хранения продукции. К таким работам относятся отбор и идентификация образцов, а также анализ состояния производства. При этом до 2020 года не рассматривался вопрос об их дистанционном или частично дистанционном проведении. Однако в условиях пандемии COVID-19 встал вопрос о дальнейшем проведении работ по сертификации в условиях ограничения доступа представителей органа по сертификации на проверяемые объекты.

Советом Евразийской экономической комиссии были утверждены «Временные меры, применяемые при сертификации серийно выпускаемой продукции в условиях неблагоприятной эпидемиологической ситуации, связанной с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» (далее – временные меры) [4]. В данном документе разрешалось широкое использование дистанционных методов как при отборе/идентификации продукции, так и при анализе состояния производства. При этом обязательным условием являлось наличие непрерывной передачи четкого видеоизображения с момента начала работы до момента завершения процедур подтверждения соответствия. В случае прерывания трансляции такую процедуру следовало начать сначала.

Кроме того, применение дистанционных методов должно было быть отражено в соответствующих документах установленной формы. Так, при идентификации и отборе продукции на складе готовой продукции изготовителя, складе временного хранения, таможенном складе и в емкости транспортного средства в акте отбора или акте идентификации должна была быть указана геолокация местонахождения образцов и сделана соответствующая запись (например, для Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта»: 52.433419, 31.003149°). Аналогичные требования предъявлялись и к акту анализа состояния производства. В сертификате соответ-

ствия должна была быть сделана запись в поле 12 «Дополнительная информация» следующего содержания: «Анализ состояния производства проведен посредством дистанционной оценки».

Временные меры действовали вплоть до середины 2023 года, что позволило наработать определенный опыт положительных и отрицательных моментов проведения процедур сертификации онлайн, а также поднять вопрос о возможности частичного применения удаленной работы в нормальных условиях функционирования органов по сертификации.

Прежде всего следует отметить, что проведение отбора образцов методом дистанционной оценки не оправдывает себя, поскольку не позволяет гарантировать поступление в испытательную лабораторию центр именно того образца, который был предъявлен эксперту-аудитору. Если при классическом течении процедуры образец дополнительно к заводской маркировке размечается представителем органа по сертификации посредством пломбирования, нанесения надписей, изоляцией в таре либо другим способом, то при отборе онлайн образец идентифицируется только заводской маркировкой, которая может быть легко перенесена изготовителем на другое изделие. Контроль данного процесса со стороны органа по сертификации невозможен, что сводит саму процедуру отбора к нулю.

Идентификация продукции, которая сама по себе подразумевает описание всей партии имеющейся продукции, напротив, может быть выполнена онлайн. В этом случае для изготовителя отсутствует смысл в изменении каких-либо маркировок либо подмене образцов, т. к. идентификация проводится либо при наличии положительных протоколов испытаний, либо для описания всей партии продукции, включаемой в сертификат.

Гораздо сложнее обстоит ситуация с анализом состояния производства. Технические регламенты [1–3] предусматривают проверку широкого круга аспектов изготовления продукции от входного контроля до взаимодействия с потребителем после поставки ему продукции. При этом временные меры не содержали технических решений по дистанционной оценке, и все процедурные моменты были выработаны в ходе проведения работ по сертификации продукции в период с 2020 по 2023 год. В результате сложилась следующая поэтапная последовательность действий (рисунок 1).

1 Анализ со стороны органа по сертификации в отношении объективности результатов, полученных при проведении работ дистанционным методом.

II Согласование с изготовителем и, при необходимости, с заявителем технических возможностей организации трансляции по видео-конференц-связи посредством сети Интернет.

III Непосредственное проведение проверки изготовителя дистанционным методом и составление акта анализа состояния производства.

IV Проверка корректирующих мероприятий по результатам анализа состояния.

V Анализ результатов проверки на возможность их использования при дальнейшей сертификации.



Рисунок 1 – Последовательность проведения работ по анализу состояния производства дистанционным методом

Первые два этапа направлены на определение возможности применения дистанционной оценки в принципе. Очевидно, что при невозможности получения объективных результатов или недостаточности технических средств для организации трансляции необходимо прервать процедуру и перейти либо к классическим методам оценки либо вообще прекратить работы по сертификации. Переход к третьему этапу осуществляется исключительно при стопроцентной уверенности возможности его выполнения.

В целом дистанционный анализ состояния производства может быть проведен с использованием двух методов:

- анализ документации (АД);
- дистанционная проверка с использованием видеотрансляции посредством сети Интернет (ДП), включая интервьюирование персонала.

В таблице 1 представлено сопоставление дистанционных методов с подсистемами предприятия, которые проверяются при анализе состояния производства. При обнаружении несоответствий при анализе документации обязательно должно быть проведено интервьюирование персонала для выявления причин допущенных нарушений, т. е. метод оценки изменяется.

В адрес изготовителя направляется анкета для самооценки, а также перечень документации, которую заявитель должен предоставить в орган по сертификации для анализа. Все документы предоставляются в заверенном виде и включаются в дело по сертификации. Эксперт-аудитор органа по сертификации проводит анализ и дает заключение о возможности использования полученной информации, либо о необходимости дополнительно проводить наблюдение либо интервьюирование в режиме онлайн. После этого проводится дистанционный анализ состояния производства. При этом, если сама полная проверка может быть разбита на несколько дней, то проверка каждой отдельной подсистемы должна быть закончена в течение одной непрерывной трансляции. Оформление документации по результатам анализа состояния производства осуществляется в соответствии с процедурами органа по сертификации за исключением отметки в акте о применении дистанционной оценки. Проверка корректирующих мероприятий по устранению несоответствий проводится аналогично основной процедуре.

На этапе анализа результатов проверки делается контроль беспристрастности и объективности проведения работ, а также проверяется соблюдение установленных требований по организации видеотрансляций. При этом непосредственно сами результаты оценки анализу на данном этапе не подлежат, поскольку здесь выносятся только решение о возможности их дальнейшего использования. Дальнейший анализ данных проводится в соответствии с установленными органом по сертификации процедурами.

На основании практического применения в 2020–2023 гг. Органом по сертификации Учреждения образования «Белорусский государственный университет транспорта» процедуры дистанционной оценки можно сделать вывод о полной применимости метода дистанционной оценки для всех необходимых процедур по сертификации только в условиях жестких ограничений из-за влияния внешних по отношению к объекту оценки факторов. В целом с учетом опыта работы можно сформулировать следующие выводы.

1 Применение дистанционных методов для отбора образцов является нецелесообразным.

2 Проведение идентификации партии продукции возможно проводить дистанционными методами при условии непрерывности видеотрансляции.

3 При анализе состояния производства возможно и крайне целесообразно проведение предварительной экспертизы представленной документации с целью сокращения объемов работы на предприятии (особенно в отношении изготовителей, расположенных за пределами стран с колеями железных дорог 1520 мм). Полный переход на дистанционную оценку не представляется возможным из-за необходимости визуального контроля за элементами технологического процесса и проведения интервью с большим количеством персонала.

Таблица 1 – Дистанционные методы при анализе состояния производств

Производственная подсистема	Проверяемый показатель	Метод
Взаимодействие с потребителем и регистрация данных о качестве	Наличие и соблюдение процедуры поставки продукции потребителю	АД
	Наличие рекламаций	АД
	Наличие процедуры работы по рекламациям	АД
	Наличие работников, ответственных за работу по рекламациям	АД/ДП
Система проведения корректирующих мероприятий	Наличие процедуры проведения корректирующих мероприятий	АД
	Наличие работников, ответственных за проведение процедуры	АД
	Наличие документального оформления процедуры	АД/ДП
Хранение, упаковка, консервация готовой продукции, материалов и комплектующих	Наличие складских помещений и средств технологического оснащения, соответствующих требованиям выполняемых операций погрузки-разгрузки, хранения и упаковки	ДП
	Наличие процедур, обеспечивающих идентификацию и учет готовой продукции, материалов и комплектующих при хранении	АД
	Наличие работников, ответственных за соблюдение процедур	АД
	Условия хранения	ДП
Система и методическое обеспечение входного контроля и испытаний	Наличие подразделения, осуществляющего входной контроль сырья, материалов и комплектующих	ДП
	Наличие метрологического оборудования, а также технических нормативных правовых актов (ТНПА)	ДП
	Наличие перечня сырья, материалов, комплектующих для входного контроля	АД
	Наличие информации о прохождении входного контроля	ДП
Система и методическое обеспечение операционного контроля и испытаний	Наличие подразделения, осуществляющего операционный контроль и испытания	ДП
	Наличие метрологического оборудования, а также ТНПА	ДП
	Наличие перечня технологических операций подлежащих операционному контролю	АД
	Наличие информации о прохождении операционного контроля	АД/ДП
Система, методическое обеспечение и проведение приемо-сдаточного контроля и испытаний	Наличие подразделения, осуществляющего приемо-сдаточный контроль и испытания. Наличие обученного персонала	ДП
	Наличие метрологического оборудования, а также ТНПА	ДП
	Наличие информации о прохождении приемо-сдаточного контроля и испытаний	АД/ДП
Система обеспечения ТНПА	Наличие подразделения, осуществляющего обеспечение деятельности ТНПА	АД
	Наличие регламентов систем приобретения, ведения, актуализации и хранения ТНПА	АД
	Процедура обеспечения персонала ТНПА	АД/ДП
Система управления технологической и конструкторской документацией (ТД и КД)	Наличие, правильность и полнота оформления ТД и КД	АД
	Наличие ТД и КД на рабочих местах	ДП
	Наличие порядка хранения, ведения и актуализации фонда ТД и КД	АД/ДП
	Наличие подразделения, осуществляющего управление фондом ТД и КД	АД
Система управления метрологическим оборудованием	Наличие процедуры управления метрологическим оборудованием	АД
	Наличие работников, ответственных за систему	ДП
	Наличие документов, подтверждающих проведение метрологической аттестации и технического обслуживания метрологического оборудования (бирка, свидетельство, клеймо)	ДП
	Наличие системы учета и графиков метрологической аттестации	ДП
Персонал	Соответствие квалификации персонала выполняемым работам	ДП
	Наличие документов, подтверждающих квалификацию и профессиональную подготовку и переподготовку персонала	ДП
	Знание персоналом нормативных правовых актов, ТНПА, технической и технологической документации на выполнение работ	ДП
Система и методическое обеспечение периодических испытаний	Периодичность проведения периодических испытаний в соответствии с документацией на производство продукции	АД
	Наличие подразделения, осуществляющего периодический контроль и испытания. Наличие обученного персонала	ДП
	Наличие метрологического оборудования, а также ТНПА	ДП
	Сведения о последних проведенных периодических испытаниях	АД
Соблюдение технологии производства и технологических режимов производства	Соответствие выполняемых работ технологическому процессу	ДП
	Соответствие оборудования, оснастки и метрологического оборудования выполняемым по технологическому процессу работам	ДП
	Точность, своевременность и полнота исполнения операций по технологическому процессу	ДП
Система технического обслуживания, ремонта и учета технологического оборудования	Наличие процедуры проведения технического обслуживания и ремонта технологического оборудования и графиков их проведения	АД
	Наличие работника, ответственного за соблюдение процедуры	АД/ДП
	Наличие документального оформления	АД
Система идентификации и прослеживаемости продукции, материалов и комплектующих	Наличие системы, обеспечивающей идентификацию и прослеживаемость продукции, материалов и комплектующих в процессе производства	ДП
	Наличие пооперационной маркировки продукции, материалов и комплектующих	ДП
	Наличие внутренних сопроводительных документов на продукцию, материалы и комплектующих	АД
Система управления несоответствующей продукцией	Наличие процедуры управления несоответствующей продукцией	АД
	Наличие документального оформления несоответствующей продукции	АД
	Маркировка и изоляция несоответствующего сырья, материалов, комплектующих и продукции	ДП



Очевидно, что внедрение в классическую схему процедуры подтверждения соответствия отдельных элементов дистанционной оценки позволит снизить затраты времени на сертификацию без снижения качества проведения работ. Такой подход даст значительный эффект в отношении железнодорожных предприятий, которые имеют широкую номенклатуру выпускаемой продукции и неоднократно ранее проходили процедуру сертификации в полном объеме. Также возможно применение отдельных элементов дистанционной оценки для анализа заявителей, выполняющих функции иностранного изготовителя, а также при повторных периодических оценках за выпуском сертифицированной железнодорожной продукции.

Получено 22.09.2023

**Yu. I. Kulazhenko, V. S. Zaichyk, A. A. Kebikov.** Remote methods of carrying out procedures for conformity and application experience.

An analysis of remote methods for carrying out procedures of confirmity of railway products with current safety requirements has been carried out. A sequence of work to analyze the state of production of enterprises using remote methods is proposed. The experience of using remote methods is generalized. Recommendations for the use of remote methods in conditions of limited access to the production base have been formed.

#### Список литературы

- 1 ТР ТС 001/2011. О безопасности железнодорожного подвижного состава / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 49 с.
- 2 ТР ТС 002/2011. О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 55 с.
- 3 ТР ТС 003/2011. О безопасности инфраструктуры железнодорожного транспорта / Евразийская экономическая комиссия. – Минск : Госстандарт; БелГИСС, 2022. – 37 с.
- 4 Решение Совета Евразийской экономической комиссии от 23.12.2020 № 127 «Временные меры, применяемые при сертификации серийно выпускаемой продукции в условиях неблагоприятной эпидемиологической ситуации, связанной с распространением новой коронавирусной инфекции (COVID-19)» [Электронный ресурс] : офиц. сайт Евразийской экономической комиссии. – Режим доступа : <http://www.eurasiancommission.org/>. – Дата доступа : 18.09.2023.

УДК 656.001.2

*В. Г. КУЗНЕЦОВ, кандидат технических наук, А. А. ЕРОФЕЕВ, кандидат технических наук, М. А. КИЛОЧИЦКАЯ, И. М. ЛИТВИНОВА, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. А. ЗАХАРЕВИЧ, Белорусская железная дорога, г. Минск*

## СТРУКТУРНО-ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К СИСТЕМЕ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСНОГО ПЛАНА ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ НАСЕЛЕНИЯ РЕГИОНА

Разработка Комплексного плана транспортного обслуживания населения региона (КПТОН) является важной организационной мерой повышения качества оказания транспортных услуг, регламентации отношений участников перевозочного процесса, определения целевых задач организации пассажирских перевозок и потребных ресурсов. Рассмотрены основные аспекты формирования организационной среды для разработки КПТОН и его реализации в регионе, установлены участники регулирования, планирования и организации перевозок пассажиров в регионе, их компетенции и полномочия для достижения системного результата транспортного обслуживания населения. На основе методов структурно-иерархического моделирования предложены варианты формирования структуры принятия решений при разработке и реализации КПТОН, дана сравнительная оценка вариантов. Использование структурно-иерархического подхода позволяет провести системный анализ структурных связей при централизации и децентрализации отдельных функций управления на республиканском и региональном уровнях. Предлагается на основе анализа параметров управленческих связей и эффективности композиции системы управления перевозками пассажиров, а также специфики разработки КПТОН определять наиболее целесообразные направления формирования устойчивой системы транспортного обслуживания населения регионов.

**В**ажным направлением повышения качества предоставляемых гражданам услуг в осуществлении их поездок в регионе (населенном пункте) является формирование КПТОН. Наличие КПТОН позволяет упорядочить деятельность перевозчиков, оптимизировать использование бюджетных средств на организацию перевозок пассажиров в регионе, обеспечить выполнение норм социальных стандартов [1] при оказании услуг перевозок населению.

Министерство транспорта и коммуникаций (МТК) Республики Беларусь в соответствии с законодательством в транспортной сфере [2–5], Государственной программой развития транспортного комплекса [6] и решениями Правительства осуществляет совершенствование нормативно-правовой базы в области региональных перевозок пассажиров, которая позволяет выстроить научно-обоснованную и практико-ориентированную методологию разработки и реализации КПТОН.

Для реализации КПТОН в Республике Беларусь необходимо установить потенциальных участников организации, планирования и осуществления перевозок пассажиров, их сферы транспортной деятельности, организационное и технологическое взаимодействие [7].

Взаимодействие потенциальных участников реализации КПТОН должно учитывать целевые задачи каждого участника и государства, которое отражает совокупные интересы общества. Для создания эффективной системы взаимодействия участников реализации КПТОН необходимо учитывать основные принципы построения больших иерархических систем управления [8] перевозками пассажиров с множеством участников:

1) система реализации КПТОН имеет иерархическую структуру функционирования и строится на сочетании вертикальных и горизонтальных связей участников [9, 10];

2) транспортная деятельность участников КПТОН в регионе соответствует определенным задачам организации перевозок пассажиров, при этом области их компетенций и полномочий определены и должны исключать дублирование;

3) каждый участник КПТОН взаимодействует с иными участниками (в соответствии с регламентами КПТОН) в организационно-иерархической системе путем передачи информации в установленной форме, которая выступает в качестве заявок, ограничений, согласований либо целей, заданий их функционирования.

С помощью вертикальных связей осуществляется взаимодействие между республиканским уровнем (МТК, иные министерства, операторы перевозок пассажиров) и региональным (облисполкомы, горисполкомы, пассажирские перевозчики и операторы, иные), при этом решения от участников более высокого иерархического уровня передаются в виде управляющей информации к участникам нижестоящих уровней, которые при решении задач детализируют ее в соответствии с условиями и способами организации перевозок пассажиров в регионе. Между иерархическими уровнями возможна реализация процедур анализа состояний перевозок пассажиров и корректировки КПТОН. При определении перечня показателей КПТОН предпочтение отдается целевым показателям, установленным в государственных программах.

Горизонтальные связи обеспечивают взаимодействие участников КПТОН одного уровня иерархии. С их помощью детализируются и согласовываются показатели КПТОН, вырабатываются единые решения с учетом существующих возможностей: инфраструктурных, транспортных ресурсов, рынка пассажирских перевозчиков, использования средств государственного субсидирования (республиканский и областной бюджет) и иных. Согласованное взаимодействие рав-

ноправных участников регионального уровня обеспечивается в соответствии с их полномочиями и компетенциями.

Организационно-иерархическое построение системы реализации КПТОН необходимо проводить с учетом полномочий и сфер деятельности каждого участника процесса [11] при организации перевозок пассажиров в регионе на основе КПТОН.

Заказчиком перевозок пассажиров в регионах выступают местные исполнительные и распорядительные органы, которых необходимо наделить полномочиями формирования государственного заказа на перевозки пассажиров, согласования и утверждения КПТОН. Функции по формированию и контролю выполнения КПТОН могут быть предоставлены самостоятельному участнику перевозочного процесса, которым может выступить оператор перевозок пассажиров как на республиканском уровне (при централизованном подходе), так и на региональном (при децентрализованном подходе).

Полномочия по формированию государственного заказа на перевозки пассажиров в регионе могут быть распределены между органами государственного управления исходя из компетенций:

– МТК – республиканский уровень: согласование КПТОН облисполкомам, Мингорисполкому в части запланированной транспортной работы и субсидий к возмещению из республиканского бюджета не покрытой тарифами стоимости транспортной работы по региональным (пригородным) и городским перевозкам пассажиров;

– облисполкомы (Мингорисполком) – региональный уровень: разработка и утверждение КПТОН, установление и контроль выполнения параметров транспортного обслуживания населения пассажирскими перевозчиками.

Исполнителями государственного заказа на перевозки пассажиров в регионе являются транспортные организации различных форм собственности (перевозчики), обладающие техническими и транспортными возможностями осуществлять транспортное обслуживание населения в регионе в соответствии с требованиями, установленными в нормативных правовых актах (НПА).

Компетенциями по разработке КПТОН могут быть наделены самостоятельные структурные подразделения государственных (республиканских либо местных) органов управления либо организация – оператор перевозок пассажиров. К полномочиям такой организации могут быть отнесены:

- мониторинг транспортного обслуживания населения в регионах;
- сбор и анализ запросов общества, отдельных предприятий, граждан на изменение перевозок пассажиров;
- контроль осуществления КПТОН перевозчиками, соблюдение требований НПА по обслуживанию населения;
- разработка КПТОН на плановый период;
- взаимодействие с участниками перевозочного процесса при разработке, согласовании и утверждении КПТОН;
- формирование государственного заказа на перевозки пассажиров в регионе;
- заключение и контроль соблюдения договоров на организацию перевозок пассажиров;
- иные полномочия.

Возможные варианты схем построения организационно-иерархической системы разработки и реализации КПТОН с учетом распределения функций оператора перевозок пассажиров, взаимодействия участников организации транспортного обслуживания населения и иных условий приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Варианты схем взаимодействия оператора перевозок пассажиров с иными основными участниками организации транспортного обслуживания населения

Схема взаимодействия	Сравнительные характеристики	
	позитивные	негативные
<i>1 Централизация функций оператора на уровне МТК</i>		
	<p>Централизация функций разработки КПТОН.</p> <p>Централизация функций формирования государственного заказа на перевозки.</p> <p>Минимальные структурные связи на республиканском уровне (оператор перевозок пассажиров – МТК).</p> <p>Координация взаимодействия видов транспорта в одном структурном подразделении</p>	<p>Ослабление влияния региональных органов на разработку КПТОН.</p> <p>Сложность межуровневого взаимодействия между республиканским и региональным (местным) органом.</p> <p>Потребность в создании филиалов республиканского оператора в регионах либо секторов по регионам в структуре республиканского оператора перевозок пассажиров</p>
<i>2 Централизация функций оператора с разграничением полномочий по видам транспорта</i>		
	<p>Централизация функций разработки КПТОН по отраслевому принципу.</p> <p>Централизация функций формирования государственного заказа на перевозки по отраслевому принципу.</p> <p>Снижение энтропии при разработке КПТОН и формировании государственного заказа на перевозки.</p> <p>Снижение отраслевой трудоемкости при разработке КПТОН</p>	<p>Потребность в создании филиалов республиканского оператора в регионах.</p> <p>Снижение координации и взаимодействия между видами транспорта.</p> <p>Увеличение структурной избыточности на республиканском уровне.</p> <p>Увеличение сложности координации с региональными заказчиками для межотраслевого баланса транспортного обслуживания.</p> <p>Потребность в дополнительной межотраслевой координации</p>

Окончание таблицы 1

Схема взаимодействия	Сравнительные характеристики	
	позитивные	негативные
<b>3 Многоуровневая структура операторов перевозок пассажиров</b>		
	<p>Оптимизация распределения функций координации и разработки между республиканским и региональными уровнями при разработке КИПТОН.</p> <p>Концентрация функций формирования и реализации государственного заказа на региональном уровне.</p> <p>Минимальные структурные связи на республиканском уровне (оператор перевозок пассажиров – МТК) и региональном уровне (региональный заказчик – перевозчик).</p> <p>Координация взаимодействия видов транспорта в одном структурном подразделении.</p> <p>Повышение качества контроля реализации КИПТОН</p>	<p>Децентрализация функций разработки КИПТОН.</p> <p>Децентрализация функций формирования государственного заказа на перевозки.</p> <p>Усложнение функций межуровневого согласования КИПТОН и государственного заказа на перевозки.</p> <p>Увеличение энтропии межуровневой координации</p>
<b>4 Многоуровневая структура с разграничением полномочий на региональном уровне</b>		
	<p>Оптимизация распределения функций разработки КИПТОН по отраслевому принципу.</p> <p>Оптимизация распределения функций формирования государственного заказа на перевозки по отраслевому принципу.</p> <p>Снижение отраслевой энтропии при разработке КИПТОН и формировании государственного заказа на перевозки.</p> <p>Снижение отраслевой трудоемкости при разработке КИПТОН.</p> <p>Минимальные структурные связи на республиканском уровне (оператор перевозок пассажиров – МТК) и региональном уровне (региональный заказчик – перевозчик)</p>	<p>Снижение координации и взаимодействия между видами транспорта на региональном уровне.</p> <p>Увеличение структурной избыточности и сложности координации на региональном уровне для межотраслевого баланса транспортного обслуживания.</p> <p>Потребность в дополнительной межотраслевой координации.</p> <p>Возрастание координирующей деятельности регионального заказчика.</p> <p>Возрастание межотраслевой координирующей деятельности республиканского оператора</p>
<b>5 Децентрализованная структура с единым региональным оператором перевозок</b>		
	<p>Повышение уровня самостоятельности и ответственности регионального уровня при разработке КИПТОН и государственного заказа.</p> <p>Концентрация функций разработки и ответственности КИПТОН, функций формирования и контроля выполнения госзаказа на региональном уровне.</p> <p>Минимальные структурные связи на региональном уровне (региональный оператор перевозок – заказчик).</p> <p>Координация взаимодействия видов транспорта в одном структурном подразделении регионального уровня.</p> <p>Упрощение функций межуровневого согласования КИПТОН и государственного заказа</p>	<p>Повышение энтропии при координации разработки КИПТОН на республиканском уровне.</p> <p>Повышение энтропии при формировании государственного заказа на республиканском уровне</p>
<b>6 Децентрализованная структура с разграничением полномочий на региональном уровне</b>		
	<p>Повышение уровня самостоятельности и ответственности регионального уровня при разработке КИПТОН и государственного заказа.</p> <p>Концентрация и оптимизация распределения функций разработки и ответственности КИПТОН на региональном уровне по отраслевому принципу.</p> <p>Концентрация и оптимизация распределения функций формирования и контроля выполнения государственного заказа на региональном уровне.</p> <p>Распределение структурных связей на региональном уровне по отраслевому принципу (региональный оператор перевозок – заказчик).</p> <p>Упрощение функций межуровневого согласования КИПТОН и государственного заказа (республиканский заказчик – региональный заказчик)</p>	<p>Повышение энтропии при координации разработки КИПТОН на республиканском уровне.</p> <p>Повышение энтропии при формировании государственного заказа на республиканском уровне.</p> <p>Повышение энтропии взаимодействия видов транспорта между структурными подразделениями регионального уровня.</p> <p>Повышение энтропии взаимодействия видов между региональным заказчиком и региональными операторами перевозок пассажиров</p>

Вариантность схем взаимодействия оператора перевозок пассажиров с иными основными участниками организации транспортного обслуживания населения образуется на основе применения следующих **принципов организационно-структурного взаимодействия**:

- иерархического распределения компетенций по разработке КПТОН и формированию государственного заказа на транспортное обслуживание населения между республиканским и региональным уровнями управления перевозками пассажиров;

- централизация и децентрализация функций по разработке КПТОН и формированию государственного заказа на транспортное обслуживание населения между республиканским и региональным уровнями управления перевозками пассажиров;

- межотраслевое распределение (по видам пассажирского сообщения и видам транспорта) компетенций по разработке КПТОН и формированию государственного заказа на транспортное обслуживание населения между операторами перевозок пассажиров на республиканском и (или) региональном уровнях;

- концентрация и деконцентрация функций по разработке КПТОН и формированию государственного заказа на транспортное обслуживание населения между операторами перевозок пассажиров на республиканском и (или) региональном уровнях [12].

Выбор схем взаимодействия оператора перевозок пассажиров с иными основными участниками организации транспортного обслуживания должен проводиться на основе организационно-функционального моделирования структуры системы организации перевозок пассажиров в регионе.

Критериями выбора структуры системы перевозок пассажиров в регионе могут быть минимальные затраты на содержание персонала участников перевозочного процесса (с учетом оптимизации распределения функций, регламентации функций, нормирования трудоемкости выполняемых операций по разработке, согласованию, контролю и иным), повышение рентабельности организации перевозок пассажиров и снижение удельного веса издержек на субсидирование организации перевозок пассажиров в регионах [10, 12, 13].

Кроме того, при оценке структуры системы перевозок пассажиров в регионе могут использоваться специальные критерии оценки эффективности организационных структур: уровень определенности цели; коэффициент охвата цели; коэффициент охвата функций; коэффициент дублирования функций; коэффициент специализации функций; коэффициент экономичности содержания персонала; коэффициент соответствия фактической численности персонала по функциям; коэффициент автономности структурного подразделения; удельный вес времени на ожидание разработки и согласования КПТОН; удельный вес времени отсутствия контроля за выполнением КПТОН; показатель оперативности структурного подразделения; уровень надежности оперативного функционирования организационной структуры и иные [9, 10, 13].

Выбор структуры системы перевозок пассажиров на транспортное обслуживание регионов должен учитывать обоснованные оценки государственных органов управления республиканского и местного уровней, хозяйствующих субъектов, экспертного сообщества, граждан и

иных заинтересованных лиц, компетентных в сфере организации перевозок пассажиров.

Многообразие условий и факторов, влияющих на качество разработки КПТОН, вызывает необходимость использования системного анализа при выборе структурно-иерархического построения системы управления региональными перевозками пассажиров. Применительно к системе разработки и реализации КПТОН эти принципы системного подхода заключаются в следующем.

Система управления перевозками пассажиров в регионе включает ряд относительно самостоятельных локальных подсистем (региональные перевозчики) со своими критериями оценки их деятельности (как правило, экономическими). Деятельность региональных исполнителей перевозок пассажиров согласуются как по входам (исходная информация о технико-экономическом состоянии участника перевозки), так и по выходам (планируемые управляющие параметры транспортного обслуживания населения), подчиняясь согласованной целевой политике высшего иерархического уровня (республиканского) [12, 13].

Технико-экономические особенности транспортного обслуживания населения на региональном уровне требуют формализации процессов перевозки различными экономико-математическими методами и способами [14]. Подсистемы перевозки пассажиров могут адекватно описываться с помощью методов теории расписаний, методов моделирования организации движения в маршрутной сети региона (моделей математического программирования или имитационного моделирования), статистических моделей, устанавливающих закономерности транспортного потока в регионе и других [15, 16]. Для каждого регионального участника после формализации транспортных процессов можно поставить в соответствие целевым параметрам некоторую оптимизационную задачу, которая соответствует рациональному использованию выделяемых для региона ресурсов. Такая совокупность взаимосвязанных задач и будет представлять многоуровневую иерархическую систему управления экономическими и транспортными процессами в регионе и являться основой для разработки и реализации КПТОН.

Значительная часть параметров, характеризующих технико-экономические показатели транспортной или экономической (финансовой) деятельности перевозчиков, носит вероятный характер, поэтому прогнозное оценивание этих параметров необходимо включить как предварительный этап подготовки исходной технико-экономической информации для задач оптимизации управленческих решений КПТОН.

Наличие технических и финансовых ограничений на решения задач организации перевозок в регионе требует многоэтапной разработки КПТОН путем решения задач распределения транспортной работы и взаимодействия перевозчиков на маршрутах в регионе, согласования параметров их деятельности на региональном и республиканском уровнях с государственным заказом на перевозку. В связи с этим в структурно-иерархической системе необходимо иметь механизм корректировки решений региональных задач перевозок пассажиров путем организации процедуры последовательных приближений, которая позволяет достичь полной информационной увязки входов и выходов региональных исполните-

лей (перевозчиков) и получить удовлетворительные решения на всех уровнях системы управления.

Определение приемлемого множества участников (в т. ч. перевозчиков) в структуре управления перевозками пассажиров региона должно осуществляться путем оптимизации функционирования всей системы управления исходя из сложившейся практики управления и с учетом специфических потребностей каждого региона в перевозках, а также возможностей рынка пассажирских перевозчиков.

На основе комплексного анализа существующих систем управления и задач функционирования участников организации перевозок пассажиров в регионах в существующих условиях, экспертным сообществом признано целесообразным использовать следующие направления образования уровней иерархии и выделения участников в системе управления перевозками пассажиров региона:

1) устанавливается иерархическая структура согласования параметров государственного заказа: республиканский – региональный;

2) оптимизация параметров КПТОН осуществляется на региональном уровне на основе установленной системы ограничений;

3) в структуре выделяются организации, которые выполняют оценку состояния транспортного обслуживания и формируют базовые параметры государственного заказа;

4) перевозчики оптимизируют свою деятельность на основе параметров государственного заказа и достижения целей финансовой самостоятельности.

Таким образом, для формирования устойчивой системы транспортного обслуживания населения регионов в перевозках пассажиров необходимо применять структурно-иерархические подходы, которые позволяют моделировать систему разработки КПТОН, учесть специфику формирования государственного заказа в Республике Беларусь, усилить роль местных органов управления в формировании КПТОН, повысить эффективность транспортной деятельности региональных перевозчиков.

#### Список литературы

1 О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 мая 2003 г. № 724 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=c20300724>. – Дата доступа : 16.04.2023.

2 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 140-3 [Электронный ресурс]. – Получено 30.08.2023

**V. G. Kuznetsov, A. A. Erofeev, M. A. Kilochitskaya, I. M. Litvinova, A. A. Zakharevich.** Structural and hierarchical approaches to the system of developing a comprehensive plan of transport services for the population of the regions.

The development of a Comprehensive Transport Service Plan for the population of the region (CTSP) is an important organizational measure to improve the quality of transport services, regulate the relations of participants in the transportation process, determine the objectives of the organization of passenger transportation and the required resources. The main aspects of the formation of the organizational environment for the development of the CTSP and its implementation in the region are considered, participants in the regulation, planning and organization of passenger transportation in the region, their competencies and powers to achieve a systematic result of public transport services are established. Based on the methods of structural and hierarchical modeling, the variants of the formation of the decision-making structure in the development and implementation of the CTSP are proposed, a comparative assessment of the options is given. The use of a structural-hierarchical approach allows for a systematic analysis of structural relationships in the centralization and decentralization of individual management functions at the republican and regional levels. It is proposed, based on the analysis of the parameters of management relations and the effectiveness of the composition of the passenger transportation management system, as well as the specifics of the development of CTSP, to determine the most appropriate directions for the formation of a sustainable system of transport services for the population of the regions.

Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=N19800140>. – Дата доступа : 17.04.2023.

3 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 января 1999 г. № 237-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=N19900237>. – Дата доступа : 17.04.2023.

4 Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках : Закон Респ. Беларусь от 14 августа 2007 г. № 278-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=N10700278>. – Дата доступа : 17.04.2023.

5 О городском электрическом транспорте и метрополитене : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 2014 г. № 141-3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=N11400141>. – Дата доступа : 18.04.2023.

6 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23.03.2021 г. № 165. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 18.04.2023.

7 Методические рекомендации по разработке документов транспортного планирования субъектов Российской Федерации : утв. протоколом заседания Проектного комитета НП «БКД» от 12 августа 2019 г. № ИА-63 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://mintrans.gov.ru/documents/10/10128/>. – Дата доступа : 18.04.2023.

8 Лэдсон, Л. С. Оптимизация больших систем / Л. С. Лэдсон. – М. : Наука, 1975. – 344 с.

9 Мазур, И. И. Реструктуризация предприятий и компаний : учеб. пособие для вузов / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро. – М. : Экономика, 2015. – 456 с.

10 Лафта, Дж. К. Теория организации / Дж. К. Лафта. – М. : ТК Велби; Изд-во Проспект, 2006. – 416 с.

11 Кулаженко, Ю. И. Структура закона «О железнодорожном транспорте» на основе применения организационно-функциональной матрицы анализа транспортной деятельности / Ю. И. Кулаженко, В. Г. Кузнецов, А. А. Ерофеев // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2022. – 2 (45). – С. 85–91.

12 Веснин, В. Р. Менеджмент : учеб. / В. Р. Веснин. – М. : Проспект, 2015. – 616 с.

13 Ерофеев, А. А. Интеллектуальная система управления перевозочным процессом на железнодорожном транспорте : [монография] / А. А. Ерофеев. – Гомель : БелГУТ, 2022. – 407 с.

14 Полешкина, И. О. Методика оценки транспортной доступности населенных пунктов арктической зоны России / И. О. Полешкина // Железнодорожный транспорт. – 2022. – № 5. – С. 32–37.

15 Тархов, С. А. Транспортная освоенность территорий / С. А. Тархов // Вестник Московского гос. ун-та. – 2017. – № 2. – С. 3–9. – Сер. 5: География.

16 Транспортная доступность как индикатор развития региона / П. А. Лавриненко [и др.] // Известия Российской академии наук. – 2019. – № 6. – С. 35–52. – Сер. Географическая.





Таблица 1 – Системная характеристика комплексной схемы бизнес-процессов разработки КПТОН

Характеристика бизнес-процесса	Описание основных свойств и параметров процессов
1 Цель процесса	Достижение целевой модели транспортного обслуживания населения регионов РБ
2 Отношение к системным процессам транспортного обслуживания	Включен в бизнес-процесс «Транспортное обслуживание населения Республики Беларусь» в части удовлетворения потребностей населения в поездках и минимизации затрат государственного бюджета в части организации социально-ориентированных перевозок пассажиров в регионах
3 Роли участников модели	
3.1 Регулятор	Государство / Министерство транспорта и коммуникаций РБ
3.2 Организатор	Облисполкомы (или уполномоченные ими на осуществление этих функций организации), горисполкомы и местные исполнительные органы управления
3.3 Исполнители	Перевозчики по видам транспорта
3.4 Потребители	Население регионов РБ
4 Входы	Существующий внутрирегиональный транспортный баланс пассажирских перевозок
5 Выходы	Перспективный внутрирегиональный транспортный баланс пассажирских перевозок
6 События	
6.1 Начальное	Инициатива разработки КПТОН
6.2 Завершающее	Согласование и утверждение модели КПТОН и государственного заказа на транспортное обслуживание
6.3 Ограничение процесса	Отсутствие государственного финансирования социально-ориентированных перевозок пассажиров в регионах; развитие транспортной инфраструктуры; ресурсы перевозчиков, тарифная политика
6.4 Воздействие на процессы	Образование новых центров тяготения пассажиров в регионе, изменение состояния транспортных коммуникаций, выбытие подвижного состава, конъюнктура транспортного рынка, показатели социально-экономического развития региона
7 Основные этапы процесса	Утверждение системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения Республики Беларусь в области транспорта и государственного ориентира в области транспортного обслуживания населения регионов; инициирование разработки КПТОН; обращения о внесении изменений в действующий КПТОН; инициирование корректировки КПТОН; заказ услуг транспортного обслуживания населения; формирование целевой модели транспортного обслуживания населения; разработка вариантов КПТОН либо представление потребной системы параметров транспортного обслуживания населения в регионе; разработка и предоставление вариантов КПТОН; согласование КПТОН; утверждение КПТОН; запрашивание необходимого для реализации КПТОН объема финансирования; определение требований к параметрам регионального плана (заказа) по видам пассажирских сообщений транспортного обслуживания населения; заказ на организацию перевозок пассажиров в регионе; заказ на осуществление перевозок пассажиров; согласование параметров заказа на осуществление перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте; предоставление отчетности о выполненных перевозках в регионе; предоставление сведений о себестоимости и уровне окупаемости перевозок по маршрутам перевозки пассажиров; агрегирование результатов мониторинга перевозок; внесения корректировок в КПТОН; согласование измененного КПТОН; утверждение измененного КПТОН
8 Ресурсы	Участники процесса разработки КПТОН и их ресурсы (технические, подвижной состав, информационные, трудовые и иные)
9 Периодичность	Один раз в пять лет (долгосрочный КПТОН), один раз в год (среднесрочный КПТОН), корректировка
10 Риски процесса	Недостижимость целевой модели транспортного обслуживания населения регионов, изменение тарифной политики; несоблюдение баланса транспортного обслуживания
11 Показатели процесса	Обеспечение объема перевозок пассажиров по видам транспорта и по маршрутам перевозки, установленного в перспективном внутрирегиональном транспортном балансе, целевому значению. Повышение рентабельности и снижение убытков от организации региональных (пригородных) и городских перевозок пассажиров в регионе при заявленных размерах движения в перспективном внутрирегиональном транспортном балансе на уровне, определенном в целевой модели

Заказчиком процесса (владельцем) разработки КПТОН является орган государственного управления в регионе, имеющий полномочия и ресурсы, которые необходимы для выполнения процесса, и отвечающий за результат процесса.

Владелец процесса генерирует управление процессом разработки КПТОН и является неотъемлемой составной частью процесса.

Процессы в модели разработки КПТОН описываются исходя из его конечной цели, которая включает

три компонента: цель, результат модели и эффект модели (таблица 3).

В результате процесса разработки КПТОН контролируются показатели:

- ресурсные: минимизация использования ресурсов при разработке КПТОН – людских, информационных;
- временные: минимизация затрат времени на реализацию процессов при разработке КПТОН – сбора заявок, обработки заявок, разработки модели перевозок пассажиров, согласования и т. п.;



- стоимостные: издержки на реализацию модели транспортного обслуживания в регионе, использование бюджетных средств и т. п.;
- технические: показатели организации транспорт-

ного обслуживания в регионе, использования подвижного состава, согласованность потребностей в перевозках и государственного заказа в КПТОН, число жалоб и т. п.

Таблица 2 – Матрица процессов основных участников разработки и реализации КПТОН

Но- мер	Процесс деятельности	Совет Министров	МТК	Общественные организации	Физические и юридические лица	Облсполкомы, горисполкомы	Оператор перевозок пассажиров в регионе	Уполномоченная организация	Операторы перевозок пассажиров по видам транспорта	Перевозчики	Оператор инфраструктуры
1	Утверждение системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения РБ в области транспорта и целевых показателей транспортного обслуживания населения регионов	О	У								
2	Инициирование разработки КПТОН		О			У	У			У	
3	Обращения о внесении изменений в действующий КПТОН			У	У	О					
4	Инициирование корректировки КПТОН			У	У	О					
5	Заказ услуг транспортного обслуживания населения					О					
6	Формирование целевой модели транспортного обслуживания населения					О	У	У (О)	У	У	
7	Разработка вариантов КПТОН						О	У (О)	У	У	
	Представление потребной системы параметров транспортного обслуживания населения в регионе						О	У (О)	У	У	
8	Разработка и предоставление вариантов КПТОН						О	У (О)			
9	Согласование КПТОН		У			О	У				
10	Утверждение КПТОН					О	У				
11	Запрос потребного для реализации КПТОН объема финансирования		У			О	У				
12	Определение требований к параметрам регионального плана (заказа) по видам пассажирских сообщений транспортного обслуживания населения						О	У	У		
13	Заказ на организацию перевозок пассажиров в регионе						О		У		
14	Согласование параметров заказа на осуществление перевозок пассажиров на железнодорожном транспорте								О	У	У
15	Заказ на осуществление перевозок пассажиров								О	У	
16	Предоставление отчетности о выполненных перевозках в регионе					У	У	У	У	О	
17	Предоставление сведений о себестоимости и уровне окупаемости перевозок по маршрутам перевозки пассажиров					У	У	У		О	
18	Агрегирование результатов мониторинга перевозок						О	У	У	У	
19	Внесение корректировок в КПТОН						О	У			
20	Согласование измененного КПТОН		У			О	У				
21	Утверждение измененного КПТОН					О	У				

Примечание – О – ответственный участник; У – участник процесса.

Процессы в модели разработки КПТОН формируются исходя из декомпозиции структуры организационно-иерархической системы управления перевозками пассажиров в регионе [14]. Верхний уровень (республиканский) описания бизнес-процессов соответствует процессам, которые формируют социально-экономические требования к оказанию услуг потребителям, ограничения на использование государственных средств, оценивают и согласуют макропа-

раметры государственного заказа на перевозки пассажиров в регионе.

Второй уровень (региональный) описывает процессы, которые необходимы для разработки модели транспортного обслуживания в регионе, оценки ресурсов для организации перевозок, формирования государственного заказа, согласования проекта модели транспортного обслуживания, контроля реализации государственного заказа и других.

Таблица 3 – Компоненты целевого результата модели разработки КПТОН

Целевой компонент	Целевой результат
Цель	Нормативно-правовое регламентирование процессов разработки плана транспортного обслуживания населения при организации перевозок пассажиров в регионе
Результат модели	Разработка обоснованной модели транспортного обслуживания населения в регионе с учетом запросов потребителей услуг и возможностей участников организации перевозок пассажиров на основе механизма государственного заказа
Эффект модели	Оптимизация издержек при реализации модели транспортного обслуживания и соблюдения баланса интересов государства, перевозчиков, потребителей услуг

Третий уровень (исполнительский) описывает процессы, которые определяют технические возможности перевозчиков, операторов инфраструктуры и иных производителей услуг, мониторинга состояния инфраструктуры и подвижного состава, мониторинга оказания услуг и иных.

Качество модели, которая создается для разработки КПТОН, зависит от точности описания и формализации бизнес-процессов [15], а также использования ресурсов, необходимых для осуществления процессов:

- нормативно-правовых, формирующих систему норм права, связанную с функционированием видов транспорта, социально-экономическими условиями транспортного обслуживания в населенных пунктах и регионах, регулированием использования бюджетных средств для компенсации убытков, инвестированием в развитие транспортной среды и т. п.;

- методологических, определяющих инструментарий для описания и нормирования параметров, операций процессов: методики анализа социально-экономического развития региона (подлежит разработке); методики транспортного обслуживания населения (подлежит разработке); методики формирования тарифов на поездки пассажиров; методики прогнозирования пассажиропотока между населенными пунктами региона (подлежит разработке); методики расчета пропускной способности транспортной сети (участков инфраструктуры); методики расчета компенсации затрат перевозчика по убыточным перевозкам пассажиров (подлежит разработке); методики расчета показателей и применения критериев эффективности инвестиционных проектов; методических рекомендаций по оценке эффективности инвестиционных проектов (подлежит разработке); порядка заказа услуг и заключения договоров на организацию перевозок пассажиров перевозчиками на железнодорожном, автомобильном и иных видах транспорта (подлежит разработке); порядка возмещения непокрытой тарифами части затрат перевозчику, связанных с осуществлением перевозок пассажиров железнодорожным транспортом (подлежит разработке);

- людских, определяющих участников организации перевозок пассажиров в регионе, их компетенции, полномочия, ответственность, трудоемкость функций, предусмотренных бизнес-процессом;

- информационных, необходимых для создания системы мониторинга за реализацией КПТОН, информационных систем обмена данными, накопления и обработки данных, электронного документооборота при разработке и согласования КПТОН и государственного заказа.

Результатом процесса разработки КПТОН является документ, включающий целевую модель транспортного обслуживания населения, позволяющую получить потребителю необходимую услугу в региональных поездках, а исполнителям процесса перевозок (перевозчиком) – гарантированный государством заказ, позволяющий планировать собственные бизнес-процессы, транспортную деятельность и потребные ресурсы [15, 16].

В предлагаемой модели (см. рисунок 1) можно реализовать следующую процессно-организационную процедуру разработки КПТОН и формирования государственного заказа на перевозки пассажиров. Министерство транспорта и коммуникаций (МТК) РБ на основе системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения РБ в области транспорта [5], устанавливающих минимальные нормы обслуживания, а также государственного ориентира (целевых показателей) [6, 7] в области транспортного обслуживания населения регионов, утверждаемых Советом Министров РБ, инициирует разработку КПТОН на долгосрочный (5 лет) и среднесрочный (1 год) периоды на основе системного анализа существующей практики транспортного обслуживания и перспектив его развития.

Инициатором корректировки КПТОН регионов выступают общественные организации и граждане, представляющие агрегированные, аргументированные обращения заинтересованных потребителей транспортных услуг с целью внесения конструктивных изменений в действующий КПТОН.

Инициатива для разработки от МТК, положения Программы социально-экономического развития Республики Беларусь и её регионов [6], предложения по внесению корректировочных действий в КПТОН, а также фактический объем перевозок пассажиров и прогнозная потребность в перевозках пассажиров образуют внешнюю среду для заказчика услуг транспортного обслуживания населения. Заказчиком услуг транспортного обслуживания населения в пассажирских перевозках доступными в регионе видами транспорта выступают облисполкомы (или уполномоченные ими на осуществление этих функций организации), горисполкомы для крупных населенных пунктов (в зону транспортного обслуживания могут быть отнесены города-спутники) и местные исполнительные органы управления для административно-территориальных единиц.

Заказчики услуг формируют проект целевой модели, содержащий значения ключевых параметров сбалансированного транспортного обслуживания, анализ разрывов между целевыми и ожидаемыми значениями; перспективный целевой внутрирегиональный транспортный баланс на основе прогноза величин пассажиропотоков и условий обеспечения необходимого уровня транспортного обслуживания по всем видам пассажир-

ского сообщения; предлагаемые схемы транспортного обслуживания и представляют её оператору перевозок пассажиров в регионе.

*Региональный оператор перевозок пассажиров* интегрирует полученные от заказчиков целевые модели и самостоятельно (при наличии штата работников, имеющих профессиональные компетенции в области организации перевозок пассажиров) разрабатывает варианты КПТОН региона либо представляет потребную систему параметров транспортного обслуживания населения в регионе в организацию, обладающую необходимыми подтвержденными компетенциями для моделирования систем транспортного обслуживания пассажиров и выполнения соответствующих технико-экономических расчетов.

*Уполномоченная организация*, на основании полученных значений параметров транспортного обслуживания, разрабатывает и предоставляет варианты КПТОН региональному оператору перевозок пассажиров, который запрашивает у Заказчика необходимый для реализации КПТОН объем финансирования по прошествии процедуры его согласования и утверждения у Инициатора разработки.

*Региональный оператор перевозок пассажиров* определяет требования к параметрам регионального плана (заказа) по видам пассажирских сообщений транспортного обслуживания населения и осуществляет заказ на организацию перевозок пассажиров в регионе у операторов перевозок пассажиров по видам транспорта.

*Оператор перевозок соответствующего вида транспорта* осуществляет заказ на транспортное обслуживание пассажиров с перевозчиками с конкретизацией по объему, времени и условиям реализации перевозок. Параметры заказа на осуществление перевозок подлежат согласованию с операторами инфраструктуры в части возможности предоставления пропускной способности и соблюдения потребных условий пропуска на маршрутах (маршрутная скорость, режим стоянок и др.).

*Перевозчики*, в процессе выполнения заказа на перевозку пассажиров по региональным, пригородным и городским маршрутам, в установленном порядке ведут учет о выполненных перевозках, предоставляют отчетность о выполненных перевозках оператору перевозок по видам транспорта, а также предоставляют сведения о себестоимости и уровне окупаемости перевозок по маршрутам региональному оператору перевозок пассажиров.

*Оператор перевозок (перевозчики) по видам транспорта* осуществляет мониторинг перевозок, включающий в себя анализ отчетности перевозчиков, контроль изменения параметров транспортного обслуживания населения на основе единых принципов и показателей, учет информации, получаемой из иных источников, о выполненных перевозках пассажиров в регионе, сводит имеющиеся сведения для дальнейшего предоставления их непосредственно региональному оператору перевозок пассажиров для внесения корректировок в КПТОН, либо в уполномоченную организацию, разрабатывающую варианты КПТОН региона.

*Уполномоченная организация*, основываясь на данных мониторинга и плановых (нормативных) значениях параметров транспортного обслуживания населения в регионе, при необходимости осуществляет корректировку КПТОН и предоставляет варианты изменений оператору перевозок пассажиров в регионе с последующим выполнением всеми участниками процедуры формирования, согласования и утверждения КПТОН.

Процессно-организационная схема действий участников перевозочного процесса при разработке КПТОН регионов и формировании государственного заказа на транспортное обслуживание (см. рисунок 1) позволяет систематизировать бизнес-процессы, установить и формализовать параметры по каждому компоненту процессов и оптимизировать процессное взаимодействие при планировании и организации перевозок пассажиров в регионах в рамках выбранного варианта структуры.

Предлагаемая модель процесса разработки КПТОН и формирования государственного заказа обеспечивает соответствие государственным социальным стандартам в части транспортного обслуживания населения за счет создания единого органа (регионального оператора перевозок пассажиров), ответственного за поддержание транспортного баланса между видами транспорта и обеспечение контроля при транспортном взаимодействии регионов, а также соответствие транспортной системы госстандартам со стороны уполномоченного органа государственного управления (МТК).

Комплексное планирование транспортного обслуживания населения в регионе позволяет:

- определить и использовать при планировании систему параметров, основанную на оценке качества предоставляемых услуг;

- сформулировать целевую модель системы транспортного обслуживания и установить роль каждого из видов транспорта в ней;

- сократить дублирование маршрутов и искусственную конкуренцию в сфере социально-ориентированных перевозок пассажиров;

- минимизировать затраты государственного бюджета в части организации социально-ориентированных перевозок пассажиров в регионах.

Наличие единого оператора перевозок пассажиров на уровне региона повышает качество процессов разработки КПТОН и обеспечивает:

- эффективную коммуникацию при планировании перевозок с перевозчиками и операторами в пределах региона;

- в отличие от варианта создания национального оператора перевозок пассажиров, региональный оператор перевозок обеспечивает работу с конкретными маршрутами, а также достаточную (без излишней избыточности) систему взаимодействия с операторами инфраструктуры и перевозчиками в регионе;

- позволяет для заказчика, которым выступает орган исполнительной власти региона, давать обоснованную оценку потребного уровня финансирования транспортного обслуживания населения.

Переход к новой модели разработки КПТОН и комплексному планированию, основанному на системе мониторинга перевозок пассажиров, позволит:

– уйти от практики формирования планов-заказов на региональные, пригородные и городские перевозки пассажиров непосредственно перевозчиками, которые определяют их исходя из собственных технических возможностей, а не из фактической и перспективной потребности населения в перевозках;

– своевременно выявлять изменения потребностей населения в перевозках и тем самым своевременно проводить необходимые изменения в КПТОН.

Социально-экономический и нормативный анализ условий в области организации транспортного обслуживания населения в РБ, практика обеспечения доступности населения к услугам перевозок пассажиров, мировой опыт планирования транспортного обслуживания населения позволяет совершенствовать систему внешних требований к бизнес-процессу разработки КПТОН: социальных, экономических, транспортных и иных требований к организации транспортного обслуживания населения в регионах.

Применение процессного подхода к разработке КПТОН позволяет определить направления цифровизации процессов планирования, создания информационной среды, обеспечивающей автоматизацию и информационную поддержку полного цикла работ разработки КПТОН [15, 17]. Информационная среда должна предусматривать сопровождение таких процессов планирования, как:

– регистрация в базе данных всех участников перевозочного процесса, заявок перевозчиков на оказание услуг перевозки;

– обработка, учет и аналитика данных работы пассажирских перевозчиков в регионе транспортного обслуживания;

– мониторинг выполнения целевых показателей модели транспортного обслуживания, государственного заказа;

– формирование электронной формы государственного заказа на транспортное обслуживание в регионе;

– единая электронная база нормативно-справочной информации;

– взаимодействие информационных систем участников КПТОН, использование web-технологий.

Таким образом, для обеспечения государственных социальных стандартов по обслуживанию населения Республики Беларусь необходимо осуществить переход к новой модели взаимодействия участников перевозочного процесса, регламентации процессов планирования, формализации операций бизнес-процесса и параметров модели по разработке КПТОН регионов и формированию государственного заказа. Применение процессного подхода позволяет подробно описать все процедуры анализа, разработки, планирования, согласования и реализации транспортного обслуживания, регламентировать и формализовать отношения между участниками разработки КПТОН.

## Список литературы

1 О железнодорожном транспорте : Закон Респ. Беларусь от 6 января 1999 г. № 237–3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=N19900237>. – Дата доступа : 17.04.2023.

2 Об автомобильном транспорте и автомобильных перевозках : Закон Респ. Беларусь от 14 августа 2007 г. № 278-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=N10700278>. – Дата доступа : 17.04.2023.

3 О городском электрическом транспорте и метрополитене : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 2014 г. № 141-3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=N11400141>. – Дата доступа : 18.04.2023.

4 Об основах транспортной деятельности : Закон Респ. Беларусь от 5 мая 1998 г. № 140-3 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=N19800140>. – Дата доступа : 17.04.2023.

5 О мерах по внедрению системы государственных социальных стандартов по обслуживанию населения республики : постановление Совета Министров Респ. Беларусь от 30 мая 2003 г. № 724 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://etalonline.by/document/?regnum=c20300724>. – Дата доступа : 16.04.2023.

6 Об утверждении программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2021–2025 годы : Указ Президента Респ. Беларусь от 29 июля 2021 г. № 292 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=P32100292>. – Дата доступа : 18.04.2023.

7 Государственная программа «Транспортный комплекс» на 2021–2025 годы : утв. постановлением Совета Министров Респ. Беларусь от 23.03.2021 г. № 165 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=C22100165>. – Дата доступа : 18.04.2023.

8 Лэдсон, Л. С. Оптимизация больших систем / Л. С. Лэдсон. – М. : Наука, 1975. – 344 с.

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

10 Елиферов, В. Г. Бизнес-процессы: регламентация и управление : учеб. / В. Г. Елиферов, В. В. Репин. – М. : ИНФРА-М, 2013. – 319 с. – (Учеб. программы МВА).

11 Железко, Б. А. Реинжиниринг бизнес-процессов : учеб. пособие / Б. А. Железко, Т. А. Ермакова, Л. П. Володько ; под ред. Б. А. Железко. – Минск : Книжный Дом «Мисанта», 2006. – 216 с.

12 Репин, В. В. Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов / В. В. Репин, В. Г. Елиферов. – М. : Стандарты и качество, 2004. – 408 с.

13 Робсон, М. Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов / М. Робсон, Ф. Уллах ; пер. с англ. под ред. Н. Д. Эриашвили. – М. : Аудит, ЮНИТИ, 1997. – 224 с.

14 Власюк, Т. А. Пригородные пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте в Республике Беларусь (ретроспектива и развитие) : [монография] / Т. А. Власюк, А. А. Михальченко. – Гомель : БелГУТ, 2015. – 201 с.

15 Сладкевич, А. Н. Цифровизация бизнес-процессов транспортно-экспедиционной деятельности компании БТЛЦ / А. Н. Сладкевич, Е. А. Фёдоров // Тихомировские чтения: Инновационные технологии перевозочного процесса : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 10 декабря 2020 г. – Гомель : БелГУТ. – 2020. – С. 353–356.

16 Шатров, С. Л. Реализация процессного подхода к управлению на Белорусской железной дороге в условиях цифровой трансформации / С. Л. Шатров, Е. О. Фроленкова // Бизнес. Образование. Экономика : материалы Междунар.

науч.-практ. конф., Минск, 2 апреля 2020 г. : сб. ст. В 2 ч. / редкол. : В. В. Манкевич (гл. ред.) [и др.]. – Минск : Институт бизнеса БГУ, 2020. – Ч. 1 – С. 336–339.

17 **Фёдоров, Е. А.** Информационная поддержка бизнес-процессов пассажирского комплекса Белорусской железной

дороги / Е. А. Фёдоров, И. М. Литвинова // Проблемы безопасности на транспорте : материалы X Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 26–27 нояб. 2020 г. : в 5 ч. Ч. 3 / под общ. ред. Ю. И. Кулаженко. – Гомель : БелГУТ, 2020. – С. 155–156.

Получено 30.08.2023

**E. A. Fedorov, V. G. Kuznetsov, M. A. Kilochitskaya, I. M. Litvinova, Yu. V. Dubina.** Process approaches to the system of developing a comprehensive plan of transport services for the population of the regions in the Republic of Belarus.

The development of a Comprehensive transport service plan for the population of the regions of the Republic of Belarus (comprehensive plan) is a responsible process of state regulation in the field of passenger transportation and is based on the formalization of procedures and processes between participants in the organization of transportation. The main methodological approaches to the process of developing a comprehensive plan, systematization of relations between participants in providing passenger transportation are considered. Using the process approach allows you to perform a systematic analysis of the decision-making structure, as well as the components of business processes for the development of a comprehensive plan. The interrelation and relations arising between the participants in the organization of passenger transportation in the region, their functional purpose in the organizational and hierarchical system of passenger transportation management, their competencies and powers are established. A process flowchart for the development of a comprehensive plan for one of the possible structures of state regulation of regional passenger transportation is proposed. The types of managerial relationships between the objects of the flowchart are considered and their ordering is carried out based on the application of the requirements to the description of the development processes of the comprehensive plan. The requirements for input data in the planning system, processes, resources and the output result are determined, allowing to achieve an acceptable result of the development of a comprehensive plan.

УДК 656.021.5

Е. В. БОРОДИНА, кандидат технических наук, доцент, С. Н. КОЛ, доцент, Российский университет транспорта (МИИТ), г. Москва

## ПРАКТИКО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ПРОЕКТНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Рассмотрены вопросы эффективной организации системы образования с акцентом на практическую направленность. Проанализирован набор профессиональных навыков и поведенческих компетенций. Определена модель организации проектной деятельности в РУТ (МИИТ). Рассмотрено использование метода SMART при проектировании гипотезы и этапы проектной деятельности в вузе.

**Ц**ифровая трансформация всех отраслей и стремительно растущие объемы информации вынуждают перестраивать систему образования и использовать новые подходы и иные скорости усвоения знаний. На смену традиционным методикам обучения приходят современные подходы, которые основаны на широком применении информационных технологий, методов и средств, способных обеспечить обучающихся действительно необходимыми и актуальными знаниями. Смещение акцентов на развитие «навыков XXI века» требует не только высокого уровня теоретической подготовки, но и формирования исследовательских компетенций. Ведущие образовательные тренды направлены на развитие междисциплинарных компетенций и «навыков XXI века»: способности ориентироваться в растущем информационном пространстве, классифицировать, анализировать и верифицировать информацию, умения выстраивать коммуникации, креативности, самостоятельности, инновационного и новаторского мышления. Помимо этого, непрерывным условием становится непрерывное обучение путем развития личностных компетенций. В период становления инновационной экономики и тотальной цифровизации именно междисциплинарные компетенции необходимы всем категориям специалистов – сотрудникам как с высоким уровнем квалификации, так и с базовой подготовкой.

Современный портрет по-настоящему успешного выпускника состоит из набора профессиональных навыков и поведенческих компетенций. Такие умения называются *hard skills*, что в переводе с английского означает «жесткие навыки». Это профессиональные навыки, которые нужны только в конкретной профессии. Практика «жестких навыков» включает отработку применения полученных студентами знаний и навыков в контекстах, максимально приближенных к будущей профессиональной практике. *Hard skills* – это профессиональные знания, инструменты и навыки человека, его технические компетенции, которые можно проверить и оценить, это умение работать с механизмами, устройствами, например, вождение. То есть *hard skills* – это константа, которая не будет меняться при работе в разных коллективах или компаниях, это набор профессиональных навыков и умений, связанных с технической стороной деятельности выпускника, их можно изучить и проверить, применить конкретно в профессиональной деятельности. И эффективность современного специалиста определяют именно *hard skills*. В современных реалиях работодатели всё больше внимания уделяют именно *soft skills* – «мягким», или «гибким», умениям, которые не связаны с профессиональными навыками, но чрезвычайно полезны для работы с людьми и решения жизненных задач. Также под термином *soft skills* понимается умение находить общий язык с коллегами, начальником, клиентами, проявлять гибкость, приспосабливаться к любым обстоятельствам (рисунок 1).



Рисунок 1 – Формирование «жестких» и «мягких» навыков у студентов РУТ (МИИТ)

В Российском университете транспорта ведется подготовка специалистов и бакалавров для железнодорожного транспорта в области эксплуатации железных дорог и технологии транспортных процессов. Рассмотрим портрет специалиста. Кто он? Это выпускник по организации и управлению перевозочным процессом, транспортными потоками и эксплуатационной работой на транспорте, область профессиональной деятельности которого включает управление технической и коммерческой эксплуатацией транспортных систем на основе применения цифровых технологий, организацию рационального взаимодействия видов транспорта с учетом принципов логистики, координацию мер по обеспечению безопасности движения на железных дорогах.

«Гибкие» навыки специалиста формируют дисциплины общеобразовательного, научно-естественного, управленческого блоков. Стремительные глобальные изменения в сфере технологий и производства диктуют новые требования к будущим выпускникам и к их подготовке. Поэтому за формирование *future skills* (навыков «будущего») для высокотехнологичных автоматизированных процессов, цифровых технологий на железнодорожном транспорте отвечает цифровой блок дисциплин учебного плана. «Жесткие» навыки формирует блок профессиональных технических дисциплин. Процессы становятся столь сложными, что без работы в команде уже невозможно выполнять большинство задач. Поэтому современные образовательные программы должны гармонично сочетать набор жестких и мягких компетенций.

Одним из приоритетных образовательных инструментов, отвечающих меняющимся запросам работодателей и требованиям рынка, является организация проектной деятельности студентов (рисунок 2). Проектное обучение сочетает в себе два вида деятельности: проектную и исследовательскую. Оно заключается в формировании непосредственной связи теоретических знаний с практическим опытом. Технология проектной деятельности ориентирована на решение студентами определенной практической или теоретически значимой задачи и предусматривает использование совокупности знаний из различных предметных областей. Следует учесть, что проектная деятельность – это не лабораторные и не прак-

тические работы, не расчётно-графические работы, не курсовые работы и не проекты, не производственная практика. Необходимо искать такие тематики проектов и подходы их реализации, которые и студентам, и наставникам помогли бы:

- стимулировать мотивацию студентов через осмысленную работу над созданием чего-либо (принципиальная задача в условиях доступности информации);
- отрабатывать полученные знания и навыки в контекстах, максимально приближенных к будущей профессиональной практике;
- формировать у студентов навыки командной работы, целеполагания и иных критически важных универсальных компетенций, умение организовывать командную работу, вести переговоры и договариваться с коллегами, креативность, способность учиться и адаптироваться к изменениям;
- повышать квалификацию наставников по сопровождению проектной работы;
- использовать результаты проектной деятельности для модернизации образовательных программ.

Кроме того, проектная деятельность в процессе обучения должна базироваться на следующих принципах:

- 1) личностной направленности – работа над проектом основывается на личных мотивах участников, стимулирует развитие их личностных качеств и позволяет приобрести практический опыт;
- 2) системности – проектная деятельность организуется на основе междисциплинарных связей в соответствии с целями и задачами;
- 3) последовательности – работа над проектом осуществляется в соответствии с планом действий и графиком работы; выполнение проектов осуществляется поэтапно; этапы взаимосвязаны друг с другом;
- 4) преемственности – некоторые проекты могут реализовываться модульно на протяжении двух и более лет, иногда разными группами участников проекта, углубляющих или развивающих отдельные направления;
- 5) непрерывности – проектная деятельность является средством приобретения общепрофессиональных и профессиональных компетенций с первого курса и на протяжении всего срока обучения.



Рисунок 2 – Организация проектной деятельности в РУТ (МИИТ)



Умение придумать и реализовать проект – необходимый навык студентов и будущих специалистов. Он будет полезен не только в процессе обучения, но и в повседневной жизни. Проектная деятельность учит мыслить креативно, анализировать, находить выход из любой ситуации. На 1-м курсе обучение начинается с определения, что такое проект. Не любую исследовательскую работу можно назвать проектом. Поэтому необходимо изучить со студентами, что отличает проект от других работ. На первом этапе проектирования задача наставника – помочь студентам с выбором темы проекта. Для этого студентам предлагается внимательно изучить, какие проблемы в первую очередь интересуют его лично и являются также проблемой других людей. Когда тема выбрана, необходимо определить цели и задачи проекта. Это

каркас будущего проекта. На этом этапе студенты задают себе вопрос: зачем я это делаю. Формулировка целей должна быть действенной. Поэтому в ее основе должен быть глагол, например: изменить, доказать, улучшить, разработать, помочь, создать. Когда цель поставлена, студенты определяют, что нужно сделать, чтобы этой цели достичь. Это и будут задачи проекта.

Для правильной постановки целей мы предлагаем студентам использовать метод SMART (рисунок 3). Эта эффективная техника постановки целей широко используется в бизнесе и очень полезна в обучении. На данном этапе хорошо видны все ошибки в определении целей. Цель должна быть конкретной, измеримой, достижимой, актуальной и определенной по времени. Цель – это будущий результат проекта.

## Методика SMART

Yva.ai



Рисунок 3 – Постановка целей по SMART

Когда цель поставлена, необходимо определить задачи будущего проекта. В этом хорошо помогает метод анализа корневых причин проблемы при помощи построения «дерева текущей реальности» (рисунок 4). Это эффективный инструмент анализа контекста проекта, который помогает понять, почему появилась проблема, увидеть ситуацию системно. Для этого ставим главный вопрос – проблема, которую хотим решить. И отвечаем на вопросы, почему это происходит.

Далее устанавливаем причинно-следственные связи – причины причин. Записываем их до тех пор, пока можем найти все причины. Когда ответов больше не находится, смотрим, в чем мы точно уверены, а в чем нет. Те причины, в которых мы не уверены, будут гипотезами нашего проекта. Здесь мы определяем зоны адаптации (то, на что мы не можем никак повлиять), зоны влияния (на что мы косвенно можем повлиять) и зоны контроля (что мы можем изменить).

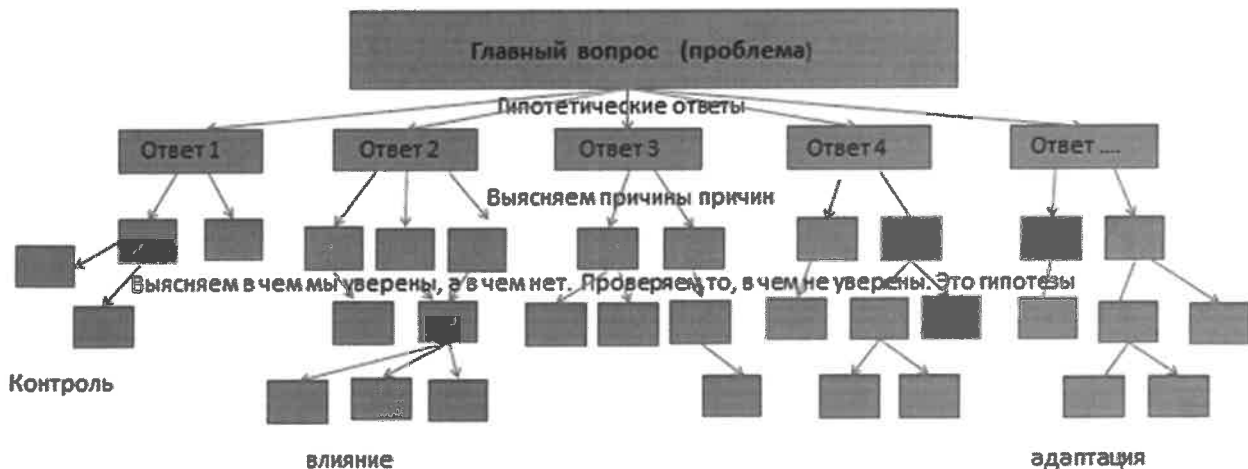


Рисунок 4 – Построение дерева текущей реальности



Предполагаемым решением проблемы проекта является гипотеза. В ходе работы над проектом она должна быть доказана или опровергнута. Для ее правильной постановки следует учитывать основные свойства, которыми должна обладать гипотеза. Она должна быть проверяемой, непротиворечивой и простой. Проверять гипотезу удобнее всего по методу HADI. Этот экспериментальный научный метод исследования, широко используемый в бизнесе, нашел применение и в проектной деятельности. Метод состоит из четырех блоков: формирование гипотезы (Hypothesis), ее проверка (Action), получение измеряемого результата (Data) и выводы (Insights), на основании которых мы формулируем дальнейшие гипотезы.

Для правильного формулирования гипотезы также можно использовать метод SMART:

– Specific: гипотеза должна быть конкретной: куда мы пойдем, чего мы хотим достичь – всё должно быть описано четко, чтобы было понятно, в каком направлении проводить исследование;

– Measurable: в чем должен измеряться результат и какой результат нам нужен;

– Attainable: достижимые цели; здесь мы проверяем, находятся ли наши цели в реальных пределах достижимости;

– Relevant: все гипотезы должны быть направлены на достижение цели проекта.

– Timebound: обязательное ограничение во времени. Большие гипотезы надо стараться разбить на более мелкие.

Чтобы наиболее точно сформулировать гипотезу, необходимо проанализировать и понять основные причины возникновения проблемы и ее последствия.

Непременным условием проектной деятельности является наличие этапов проектирования, определение целей и задач проекта, график выполнения проекта с указанием сроков окончания этапов, организация деятельности по реализации самого проекта, а также осмысление результатов деятельности. Проект выполняется в несколько этапов.

Этап 1. Поиск проблемы – это вопрос, который волнует и касается всей команды.

Этап 2. Планирование – определяем, как будет выполняться проект, распределение ролей в команде.

Этап 3. Поиск ресурсов – определяем, что нужно для выполнения проекта: исходные данные и необходимый материал для выполнения проекта.

Этап 4. Продукт – это результат проекта. Им может быть конкретное изделие, деталь или оборудование производства, программное обеспечение, инновационная технология процесса и др.

Этап 5. Презентация – свой продукт необходимо презентовать. Для этого нужно сделать презентацию, наглядно показывающую цель и актуальность проекта, а также все этапы его выполнения. В конце каждого семестра команда студентов презентует готовые проекты с выделением по-

Получено 26.09.2023

**E. V. Borodina, S. N. Kol.** Practice-based approach to the organization of project activities.

The issues of effective organization of the education system are considered with an emphasis on practical orientation. A set of professional skills and behavioral competencies was analyzed. A model for organizing project activities in RUT (MIIT) has been defined. The use of the SMART method when designing a hypothesis and the stages of project activities at a university are considered.

лезных эффектов, коллективного самоанализа и оценивания результатов.

Полученные исследовательские навыки, теоретические и практические знания при выполнении студенческих проектов позволят будущим выпускникам достичь успехов в построении профессиональной карьеры на рабочих местах, внедрять и развивать инновационные и цифровые технологии в управление и организацию перевозочного процесса на железнодорожном транспорте.

Вместе с тем следует учитывать, что проектная деятельность в вузе значительно отличается от проектной деятельности в бизнесе как по своим целям, так и по особенностям осуществления. Даже если проект предназначен для решения некоторой реальной задачи, например, он дан в качестве кейса заказчиком, или его разработка предполагает решение какой-либо научно-исследовательской задачи, или его целью является получение какого-то востребованного программного продукта или сервиса, в любом случае образовательная функция проекта является доминирующей.

#### Список литературы

1 **Бородина, Е. В.** Проектная деятельность как способ инновационного обучения в образовательных программах «Эксплуатация железных дорог» и «Технология транспортных процессов» / Е. В. Бородина, С. Н. Кол // Современные методы и принципы управления перевозочным процессом на транспорте : сб. тр. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Москва, 17–18 мая 2023 года / под общ. ред. Г. М. Биленко, И. А. Трушиной. – М. : РУТ (МИИТ), 2023. – С. 47–55.

2 **Нагорный, Д. О.** Проектная деятельность в вузе: особенности, проблемы, технологии управления / Д. О. Нагорный, С. М. Щербаков // Информатизация в цифровой экономике. – 2021. – Т. 2, № 4. – С. 167–180.

3 **Клычева, Н. А.** Роль образования в трансформации мышления персонала / Н. А. Клычева, Е. С. Прокофьева, С. С. Андриянов // Стратегические ориентиры развития высшей школы : сб. науч. тр. участ. Нац. науч.-практ. конф. – М. : РУСАЙН. – 2019. – С. 39–43.

4 **Бородина, Е. В.** Подготовка специалистов по управлению движением поездов с использованием современных тренажерных и программных комплексов / Е. В. Бородина, В. К. Сергиенко // Тенденции развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом : материалы Междунар. юбил. науч.-техн. конф., посвящ. 95-летию кафедр «Железнодорожные станции и транспортные узлы», «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте». – М. : РУТ (МИИТ). – 2020. – С. 155–165.

5 **Прокофьева, Е. С.** Подготовка специалистов с использованием современных методов обучения / Е. С. Прокофьева, П. А. Егоров, Е. В. Бородина // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 7. – С. 22–25.

6 **Бородина, Е. В.** Повышение качества подготовки студентов / Е. В. Бородина, Р. А. Ефимов, В. К. Сергиенко // Железнодорожный транспорт. – 2019. – № 9. – С. 23–25.

7 Новое слово в развитии системы формирования практико-ориентированных компетенций / С. П. Вакуленко [и др.] // Железнодорожный транспорт. – 2021. – № 9. – С. 14–19.

УДК 625.042:534.112.4

А. Э. ЮНИЦКИЙ, ЗАО «Струнные технологии», ООО «Астроинженерные технологии», г. Минск;  
Ю. А. ШЕБЗУХОВ, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель; А. Р. ПОКУЛЬНИЦКИЙ,  
ЗАО «Струнные технологии», г. Минск

## ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ВЕРОЯТНОСТЬ ВОЗНИКНОВЕНИЯ РЕЗОНАНСА В СИСТЕМЕ «СТРУНА – ПОДВИЖНОЙ СОСТАВ»

Струнный транспортный комплекс представляет собой предварительно напряжённую рельсо-струнную эстакаду, по которой в автоматизированном режиме управления перемещаются рельсовые электромобили-беспилотники. Рельсо-струнные трассы могут быть однопутными и многопутными, навесными и подвесными. Благодаря ровности и жёсткости рельсо-струнной путевой структуры струнный транспорт позволяет развивать высокие скорости движения. В то же время сочетание жёсткости и гибкости струнной путевой структуры в совокупности с высокими скоростями движения и особенностями расположения элементов комплекса относительно друг друга приводят к возникновению колебаний в различных плоскостях и с различными частотами, что является фактором риска возникновения резонанса. На исследование данного процесса и направлена настоящая работа.

**Д**вижение неуравновешенных масс всегда сопровождается колебаниями. Чем выше скорость движения и чем больше масса, тем выше соответственно частота и амплитуда колебаний.

Какой бы ровной и жёсткой ни была струнная транспортная линия, помимо неровностей пути и колебаний самой струны (собственный колебания), под влиянием множества внешних факторов будут возникать и вынужденные колебания. Как известно, совпадение частот собственных и вынужденных колебаний приводит к резонансу.

Резонансные параметры являются важной характеристикой колебательных систем. Для определения резонансных режимов движения необходимо знать условия, при которых амплитуда колебаний достигает максимального значения. В работе [1] оценка таких условий, при которых обеспечиваются необходимые статические и динамические характеристики (в том числе ускорения, частоты собственных колебаний и др.), обеспечивающие нормальное функционирование транспортной системы при эксплуатации, определяется как одна из наиболее сложных проблем. Для преодоления указанной проблемы предлагается детерминированный подход с решением задач по определению частот и форм собственных колебаний, расчету амплитудно-частотных характеристик и исследованию режимов вынужденных колебаний.

Исследования, связанные с возникновением резонанса в функционировании различных транспортных систем (наиболее приближённых к струнной транспортной системе) и частичным решением указанных проблем, представлены в научной литературе достаточно широко: например, для монорельсовой системы [2], канатной дороги [3], системы взаимодействия «транспортное средство – мост» [4, 5]. Вместе с тем представленные указанными авторами решения не направлены на комплексное решение задачи исследования резонанса, и тем более не могут быть применены для струнного транспорта.

В этой связи задача исследования сводится к расчету отдельных режимов колебания и определению для каждого из них коэффициентов уравнения движения (преимущественно констант), наилучшим образом

обеспечивающих соответствие решений этих уравнений экспериментальным данным [6, с. 608].

На подвижной состав, расположенный на струне, одновременно могут оказывать воздействие несколько факторов. К их числу на основании работ [1, 7, 8] можно отнести проезд транспортных модулей по струне, неровности пути, ветровую нагрузку (продольную и поперечную) на транспортные модули, на струну и на опоры, перемещения по кабине транспортного модуля, гололедные нагрузки. При этом следует иметь в виду, что внешние воздействия, как правило, обладают нестационарными параметрами [9].

В линейных системах со многими степенями свободы и в сплошных системах на возникновение резонанса существенное влияние оказывает распределение внешнего воздействия по отдельным координатам. При этом возможны случаи, при которых, несмотря на совпадение частоты внешнего воздействия с одной из нормальных частот системы, резонанс не наступает.

Резонанс в колебательных системах, параметры которых зависят от её состояния, т. е. в *нелинейных системах*, имеет более сложный характер. Кривые резонанса в нелинейных системах могут стать резко несимметричными, и резонанс может наблюдаться при разных соотношениях частот воздействия и частот собственных малых колебаний системы.

Если внешнее воздействие производит периодические изменения энергоёмких параметров колебательной системы, то при определённых соотношениях частот изменения параметра и собственной частоты свободных колебаний возможно *параметрическое возбуждение колебаний*, или параметрический резонанс.

Таким образом, необходима оценка комплексного влияния внешних воздействий с выявлением параметров, являющихся общими для разных видов воздействия. При этом с учетом существующих технических характеристик струнной транспортной линии (длина пролёта – 100–200 м, скорость транспортных модулей – до 150 км/ч) систему «струна – подвижной состав» можно рассматривать как систему с несколькими степенями свободы ( $n = 2...4$ ,  $n$  – число транспортных модулей, одновременно находящихся на пролёте).

Как известно, напряжение в струне может быть направлено только вдоль неё, и позволяет не учитывать изгибные напряжения, которые могли бы возникнуть при поперечных деформациях (то есть при изгибе струны). Однако стоит учитывать, что поперечные колебания *тонких стержней* отличаются от колебаний струны, так как это связано именно с возникновением изгибных напряжений. В стержне существенную роль играют внутренние изгибные напряжения, препятствующие изменению его формы, поэтому его нельзя рассматривать как струну. Здесь возникает задача определения минимальной длины пролета при постоянном поперечном сечении струны или наибольшей площади поперечного сечения при определенной длине пролета. При существующих характеристиках струнной транспортной линии, которые упомянуты ранее в статье, выполняются требования, предъявляемые к описанию струны как физического объекта.

В *натянутой* струне возникает *поперечная упругость*. При вертикальном смещении произвольного элемента струны, возникают силы, действующие на соседние элементы, и в результате вся струна приходит в движение в вертикальной плоскости, т. е. возбуждение «бежит» по струне. Передача возбуждения представляет собой *поперечные бегущие волны*, распространяющиеся с некоторой скоростью в *обе стороны* от места возбуждения. В ненатянутом состоянии струна не обладает свойством поперечной упругости, и поперечные волны на ней невозможны.

Если рассматривать перемещение одного транспортного модуля по струне, то, в отличие от железнодорожного подвижного состава, в котором локомотив испытывает дополнительное воздействие от соседних вагонов или другого локомотива, модуль рассматриваемой системы является функционально законченным транспортным объектом [1, с. 223], что несколько упрощает модель. Однако с учетом цикличности движения модулей по струне, а также учитывая тот факт, что *поперечные бегущие волны* распространяются в *обе стороны* от места возбуждения, можно рассматривать несколько транспортных модулей, периодически движущихся по струне, как связанную систему.

Так как струна натянута горизонтально в поле тяжести, то натяжение  $T$  должно быть достаточным, чтобы в состоянии равновесия струна *не провисала*.

Если считать струну *нерастяжимой*, то скорость распространения поперечных волн на струне зависит *только* от силы натяжения струны  $T$  и её погонной плотности  $\rho_l$  и не зависит от модуля Юнга материала струны. Это можно показать, рассмотрев дифференциальное уравнение, описывающее малые поперечные свободные колебания струны.

При отклонении от равновесия элементарного участка струны, находящегося в точке  $x$ , имеющего длину  $\delta x$  и массу  $\delta m = \rho_l \delta x$ , где  $\rho_l$  – *погонная плотность струны*, кг/м, на него действуют силы натяжения  $T_1$  и  $T_2$ , направленные по касательной к струне. Их вертикальная составляющая будет стремиться вернуть рассматриваемый участок струны к положению равновесия, придавая элементу некоторое вертикальное

ускорение  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}$ . При этом угол  $\alpha$  зависит от координаты  $x$  вдоль струны и различен в точках приложения сил  $T_1$  и  $T_2$  (рисунок 1).

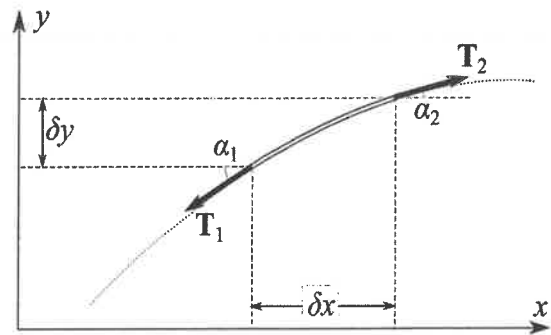


Рисунок 1 – К выводу уравнения колебаний струны

Таким образом, второй закон Ньютона для вертикального движения элемента струны запишется в следующем виде:

$$\delta m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = -T_1 \sin \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2.$$

С учетом *нерастяжимости* струны получаем после деления обеих частей уравнения движения на  $\delta x \rightarrow 0$

$$\rho_l \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \frac{T_2 \sin \alpha_2 - T_1 \sin \alpha_1}{\delta x} \approx T \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{\delta x} \rightarrow T \frac{\partial \alpha}{\partial x}.$$

Подставляя  $\alpha = \frac{\partial y}{\partial x}$  и вводя величину с размерностью скорости  $u = \sqrt{\frac{T}{\rho_l}}$ , находим окончательно уравнение свободных малых поперечных колебаний струны  $\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = u^2 \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$ .

Данное уравнение называется *волновым* и описывает волновые процессы в самых разных системах.

Оно также показывает, что скорость распространения поперечных волн на струне не зависит от таких внешних параметров, как амплитуда или частота возбуждающей силы. Однако это справедливо только для *малых* амплитуд колебаний. Если амплитуда колебаний струны достаточно велика, то необходимо учитывать изменение натяжения струны из-за её растяжения при деформации, что, в свою очередь, приведет к зависимости скорости волны от её амплитуды и другим *нелинейным* эффектам [10]. Как известно, амплитуда колебаний струны весьма незначительна [1].

При сильном возбуждении струны нарушаются основные условия, при которых получено волновое уравнение. Возвращающая сила  $T \sin \alpha$ , действующая на элемент струны  $\delta x$ , в этом случае будет сама зависеть от величины  $y$  – отклонения элемента струны от положения равновесия. Кроме того, начинает играть существенную роль продольная деформация (растяжение) струны. Поэтому форма резонансной кривой (амплитудно-частотной характеристики) струны начнет искажаться (рисунок 2).

Каждый участок струны будет представим как нелинейный осциллятор. Как известно, частота собственных колебаний  $\nu$  нелинейного осциллятора зависит от амплитуды  $a$  [10]. При умеренных амплитудах вынуждающей силы ( $F_2$  на рисунке 2) это приводит к смещению максимума резонансной кривой.

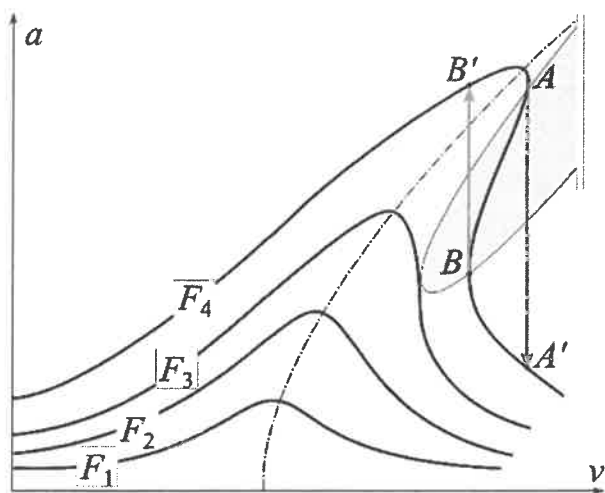


Рисунок 2 – «Опрокидывание» резонансной кривой в нелинейном режиме колебаний струны при разных амплитудах вынуждающей силы ( $F_1 < F_2 < F_3 < F_4$ )

Эффект смещения частоты тем сильнее, чем больше амплитуда колебаний струны. Вследствие этого, начиная с некоторого значения амплитуды силы ( $F_3$  на рисунке 2), резонансные кривые «опрокидываются» и приобретают неоднозначную «клювообразную» форму ( $F_4$  на рисунке 2). В таком случае в определённом интервале частот стационарная амплитуда вынужденных колебаний оказывается зависящей от предыстории установления колебаний – возникает явление колебательного гистерезиса. При увеличении частоты амплитуда достигает максимума, после чего почти сразу происходит срыв колебаний (переход  $A \rightarrow A'$ ), а при уменьшении частоты (подходе к резонансу «справа») возникает резкая раскочка колебаний на частоте, меньшей, чем резонансная (переход  $B \rightarrow B'$ ). При этом на плоскости  $(\nu, a)$  образуется область физически нереализуемых режимов (закрашена серым).

Рассматривая колебания, возникающие вследствие вибрации элементов привода транспортного средства, следует учитывать многочисленные технические решения, применяемые в существующих и разрабатываемых конструкциях, позволяющие демпфировать вибрационную нагрузку. Это же относится к перемещениям по кабине транспортного средства в том числе с учетом соотношения масс пассажира и кабины.

Неровности пути с учетом технологии изготовления струны представляют собой параметр, не носящий системный характер и потому не относящийся к источникам возмущающей силы. Ветровой нагрузкой при скорости движения транспортных средств до 200 км/ч пренебрегают [1, с. 224]. Однако следует принимать во внимание воздействие ветровой нагрузки на струну и на опоры. Последние в силу своей конструкции обладают определенной парусностью в

плоскости, перпендикулярной вектору скорости ветра. В связи с этим возникает ветровая нагрузка, приводящая к колебаниям, описываемым уравнениями, известными в аэродинамике.

В случае рассматривания системы «струна – подвижной состав» как системы с несколькими степенями свободы определение частот собственных колебаний является трудоемкой операцией, требующей больших вычислительных работ [11, с. 711]. В инженерной практике более предпочтительным является *приближенное* решение, основанное на методе Рэлея, который в то же время применяется при рассмотрении балочных систем. Так как струнная транспортная линия представляет собой в общем виде массы, колеблющиеся на натянутой струне, то к ней следует применять положения, описанные в статье.

В линейных системах со многими степенями свободы и в сплошных системах на возникновение резонанса существенное влияние оказывает распределение внешнего воздействия по отдельным координатам, при этом возможны такие специальные случаи, при которых, несмотря на совпадения частоты внешнего воздействия с одной из нормальных частот системы, резонанс не наступает. В этой связи вероятность возникновения резонанса в системе «струна – подвижной состав» при одновременном влиянии перечисленных в статье факторов стремится к нулю.

Анализ поведения колеблющейся струны и уравнения колебаний показывает, что возникновение резонанса при совокупном влиянии факторов, указанных в статье, маловероятно по причине нестационарности параметров внешних воздействий и их несовпадения в направлении колебаний и времени. Таким образом, приведенные в статье тезисы позволяют провести следующий анализ степени вероятности возникновения резонанса. Данный анализ целесообразно выполнить посредством проведения моделирования с помощью специализированных программных комплексов, основанных на принципах метода конечных элементов, с привлечением методов статистического анализа.

#### Список литературы

- 1 Юницкий А. Э. Струнные транспортные системы: на Земле и в Космосе / А. Э. Юницкий. – Силакрогс : «ПНБ принт», 2019. – 576 с.
- 2 Пат. RU 187282 U1. Устройство гашения колебаний вагона надземной монорельсовой транспортной системы / Е. Г. Мелюк, В. В. Ярицын. – № 2018141081; заявл. 22.11.2018; опубл. 28.02.2019.
- 3 Ракша, С. В. Анализ влияния подвижных масс подвешенной канатной дороги на спектр собственных частот привода / С. В. Ракша, Ю. К. Горячев, А. С. Куропятник // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2013. – № 1. – С. 110–115.
- 4 Проворная, Д. А. Система взаимодействия «транспортное средство – мост» / Д. А. Проворная, Н. В. Молокова // Современные научные исследования: теория, методология, практика : сб. статей по материалам Междунар. науч.-практ. конф. – Уфа, 2019. – С. 141–145.
- 5 Глушков, С. П. Исследование колебаний моста с учетом взаимодействия «транспортное средство – мост» в условиях резонанса / С. П. Глушков, Д. А. Проворная, Н. В. Молокова // Политранспортные системы : материалы XI Междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск, 2020. – С. 757–760.

6 **Дядькин, А. А.** Метод определения характера колебательного движения летательного аппарата на основе анализа коэффициентов аэродинамических производных демпфирования / А. А. Дядькин, О. Н. Хатунцева // Теплофизика и аэромеханика. – 2014. – Т. 21, № 5. – С. 607–616.

7 **Солтаханов, Ш. Х.** Гашение колебаний консоли / Ш. Х. Солтаханов // Вестник СПбГУ. – 2009. – Вып. 4. – С. 105–112. – Сер. 1.

8 Ветровой резонанс [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://selenasys.com/Help.aspx?p=3/3.12.htm>. – Дата доступа : 05.12.2023.

9 Концепция обратной связи в динамике механических систем и динамическое гашение колебаний / С. В. Елисеев [и др.] // Наука и образование. – № 5. – 2012. – С. 354–368.

10 **Кингсеп А. С.** Основы физики. Курс общей физики. В 2 т. Т. 1. Механика, электричество и магнетизм, колебания и волны, волновая оптика / А. С. Кингсеп, Г. Р. Локшин, О. А. Ольхов // под ред. А. С. Кингсепа. – М. : Физматлит, 2001. – 560 с.

11 **Подскребко, М. Д.** Сопротивление материалов : учеб. / М. Д. Подскребко. – Минск : Выш. шк., 2007. – 797 с.

Получено 12.10.2023

**A. E. Unitsky, U. A. Shebzukhov, A. R. Pokulnitskiy.** Influence of external factors on the probability of resonance in the "string – rolling stock" system.

The string transport complex is a pre-stressed string-rail trestle-road, on which rail electric vehicles – drones move in an automated control mode. String-rail routes can be single-track or multi-track, mounted or suspended. Due to the evenness and rigidity of the string-rail track structure, string transport allows the development of very high speeds. However, the combination of rigidity and flexibility of the string track structure, together with high speeds of movement and the peculiarities of the arrangement of the elements of the complex relative to each other, lead to the occurrence of oscillations in different planes and with different frequencies. This is a risk factor for resonance. The study of this process is the focus of this paper.

**ПОДГОТОВКА КАДРОВ**

УДК 81'271:656.08

*Н. А. ГРИШАНКОВА, кандидат филологических наук, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель***АНАЛИЗ ТИПИЧНЫХ ОШИБОК В ПОНИМАНИИ ГЛАГОЛЬНЫХ УСТОЙЧИВЫХ СЛОВСОЧЕТАНИЙ ПРИ ЧТЕНИИ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ТЕКСТОВ**

Представлены типичные ошибки студентов в понимании и семантизации глагольных устойчивых словосочетаний немецкого языка, проводится их сравнительный анализ и указываются причины их возникновения. Дана оценка уровню подготовки обучаемых, их умению опознавать устойчивые глагольные словосочетания. Рассмотрены особенности раскрытия общего значения словосочетаний на основе лексического анализа компонентов. Определяются и рассматриваются факторы, от которых зависит самостоятельное выделение студентами неязыковых учреждений высшего образования значения таких сочетаний. Разработаны критерии классификации ошибок.

**П**редупреждение и устранение ошибок в процессе усвоения иностранных языков – важное средство повышения эффективности учебного процесса. Поэтому анализ ошибок, их качественная и количественная характеристика являются актуальной задачей как в практической работе преподавателя, так и при организации учебного процесса.

Практический опыт и анализ методической литературы свидетельствует о том, что среди ошибок, допускаемых обучаемыми, встречаются такие, которые постоянно повторяются у большинства студентов. Такие ошибки можно назвать, в отличие от случайных, типичными.

Типизация ошибок позволяет выделить наиболее характерные для обучающихся и выявить причины их возникновения. Последующая разработка методических приемов по их устранению и предупреждению должна занять важное место в ряду мероприятий по преодолению трудностей обучения иностранным языкам.

Типизация ошибок может производиться как по видам речевой деятельности, так и по языковым аспектам – фонетическим, грамматическим, лексическим [1–7]. Исследуются типичные ошибки, связанные с языковой интерференцией и ошибки в переводе. Большое внимание уделяется анализу типичных ошибок при проведении психологических исследований.

Во всех вышеперечисленных работах подчеркивается необходимость анализа и систематизации ошибок и делаются практические выводы по их предупреждению.

В последнее время появляются отдельные работы, цель которых привлечь внимание преподавателей иностранных языков к устойчивым словосочетаниям. Практика обучения иностранным языкам показывает, что усвоение студентами устойчивых словосочетаний связано с большими трудностями. Обучаемые пытаются понять смысл читаемого исходя из значений отдельных хорошо известных слов. Однако устойчивые словосочетания представляют собой единое семантическое целое. Из отдельных, даже хорошо знакомых, компонентов невозможно понять смысл читаемого, ошибки в понимании фразеологических оборотов связаны с попытками их дословного перевода, обучаемые не умеют отыскивать в словаре устойчивые словосочетания.

Удачную попытку вскрыть трудности усвоения устойчивых словосочетаний читатель находит в работах Тихоненко Н. Е. [8–10], где подробно обосновывается

выбор моделей устойчивых словосочетаний для изучения, приводится их анализ, а также рекомендуется использовать отобранные модели в упражнениях для расширения потенциального словарного запаса. Также отмечается важность анализа фразеологического состава научно-технической прозы, отбора и методической классификации устойчивых словосочетаний, представляющих значительные трудности в процессе их изучения.

В настоящей статье мы пытаемся вскрыть типичные ошибки в понимании студентами глагольных устойчивых словосочетаний немецкого языка и проанализировать их.

Соответствующая экспериментальная проверка проводилась в Белорусском государственном университете транспорта. Разработанные тесты были проверены в 2015/16 учебном году. В тестировании участвовало более 250 студентов первых курсов всех факультетов университета. В задачу проверки входило установить уровень подготовки обучаемых, их умение опознавать глагольные устойчивые словосочетания и раскрывать общее значение последних на основе лексического анализа компонентов. Представляется, что в процессе обучения необходимо учитывать психологические особенности формирования навыка понимания и семантизации устойчивых сочетаний. Для этого важно было выяснить и уточнить факторы, от которых зависит самостоятельное выведение значения таких сочетаний студентами неязыковых учреждений высшего образования. Проверка должна была помочь выявить типичные ошибки в понимании и семантизации устойчивых словосочетаний, а также помочь определить причины их возникновения.

Материалом для проверки служили глагольные устойчивые словосочетания, которые встречаются в научно-технической литературе (в том числе и в транспортной), а также представленные в стабильных учебниках и учебных пособиях немецкого языка для неязыковых УВО. Выбору устойчивых словосочетаний предшествовал подробный анализ оригинальных источников научно-технических текстов, учебников и учебных пособий. Кроме того, отбор словосочетаний определялся степенью трудности их понимания и характером семантизации. Из списка словосочетаний, предъявленных для проверки, были исключены устойчивые словосочетания, имеющие дословные эквиваленты в русском языке.

В качестве объекта контроля предъявлялись наиболее распространенные типы моделей глагольных устойчивых словосочетаний (таблица 1).

Таблица 1 – Типы моделей устойчивых словосочетаний

Типы моделей устойчивых словосочетаний	Пример	Перевод каждого слова	Перевод устойчивых словосочетаний
Глагол + существительное	von Bedeutungsein	Von – «о, из, с»; Bedeutung – «значение, смысл»; Sein – «быть, существовать, находиться»	Иметь значение
Существительное + глагол	Rechnungstragen	Rechnung – «счет, вычисление, расчет»; tragen – «носить, иметь надеть»	Учитывать, принимать в расчет
Глагол + наречие	Gerechtwerden	Gerecht – «правильный, правдивый»; werden – «становиться»	Быть справедливым к кому-либо

В отобранных для проверки устойчивых словосочетаниях глагольные компоненты относились к школьному словарю-минимуму. Предварительно определялось, известно ли значение глаголов студентам. В том случае, если они не могли семантизировать глагольный компонент, он указывался в задании. Именные и наречные компоненты приводились также в задании, т. е. при подготовке к проведению контрольной работы учитывалось всё необходимое, чтобы обеспечить объективность её показателей.

В ходе проверки была предпринята также попытка определить, как влияет гнездовое предъявление словосочетаний на их понимание. Студентам предъявлялись гнезда словосочетаний с глаголами *kommen*, *leisten*, *machen* вне контекста и в предложениях.

Таким образом, экспериментальная проверка состояла из трёх серий:

- в первой серии предъявлялись различные словосочетания вне контекста, в предложениях и в тексте;

- во второй серии предъявлялись словосочетания в различных видах контекста;

- в третьей серии предъявлялись гнезда словосочетаний с глаголами вне контекста и в предложениях.

При проверке работ следовало определить критерий оценки «верно-неверно», ибо при семантизации устойчивых сочетаний имело место как однозначное, так и неоднозначное раскрытие их значений. В этой связи остановимся на понимании однозначности в методическом плане. Под однозначной семантизацией мы понимаем такую семантизацию, при которой студенты на основе имеющегося речевого опыта правильно передают понятие, заложенное в устойчивом словосочетании, хотя лексическое оформление этого понятия на русском языке может варьироваться. При раскрытии значений словосочетаний возможны лексические синонимы, которые имеют «лексическую соотнесенность» с ожидаемым «эталоном» словосочетания на русском языке. Так, для сочетания «in Betrieb nehmen» возможны синонимы «вводить в строй, приводить в действие, сдавать в эксплуатацию». Такая семантизация понимается нами как

однозначная, т. к. эти синонимы не противоречат понятию всего словосочетания.

Для подведения итогов тестирования в связи с поставленной задачей были определены следующие критерии классификации ошибок.

1 Ошибки, связанные с неумением распознать глагольное словосочетание и вывести его значение. Эти ошибки можно объяснить неумением обучающихся «видеть» устойчивые сочетания, отличать их от свободных сочетаний слов, а также отсутствием умения анализировать словосочетание в линейном плане и синтезировать общее значение словосочетания на основе значений составляющих компонентов.

2 Ошибки, вызванные неумением студентов соотнести значение одного из компонентов немецкого глагольного словосочетания с соответствующим русским эквивалентом.

В каждой серии проверки определялся процент понимания устойчивых словосочетаний, т. е. отношение количества понятых устойчивых словосочетаний к их общему числу, а также проводился количественный и качественный анализ ошибок.

Статистический анализ результатов двух серий экспериментальной проверки позволил выявить процент понимания студентами глагольных устойчивых словосочетаний в различных видах контекста (таблица 2).

Таблица 2 – Статистический анализ результатов двух серий проверки понимания студентами устойчивых словосочетаний в различных видах контекста

Характер контекста	Общее число предъявленных глагольных устойчивых словосочетаний и процент понимания								
	Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста			Глагольные устойчивые словосочетания в предложениях			Глагольные устойчивые словосочетания в тексте		
	Всего	Понято	Процент понимания	Всего	Понято	Процент понимания	Всего	Понято	Процент понимания
Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста	370	147	39,7	–	–	–	–	–	–
Глагольные устойчивые словосочетания в предложениях	–	–	–	205	62	30	–	–	–
Глагольные устойчивые словосочетания в тексте	–	–	–	–	–	–	570	250	44
Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста и в предложениях	384	84	21,9	287	83	29	–	–	–
Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста и в тексте	91	23	25,3	–	–	–	91	40	44
Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста, в предложениях и в тексте	145	30	21	145	45	31	145	57	39,3



В первой серии контрольной проверки проверялись возможности понимания студентами устойчивых словосочетаний в различных видах контекста. При этом были получены довольно неожиданные результаты. Вопреки нашим ожиданиям процент понимания сочетаний вне контекста оказался выше понимания словосочетаний в предложениях почти на 10 % (см. таблицу 2). Этот факт можно объяснить либо неодинаковой степенью трудности словосочетаний, предъявленных в изолированном виде и в предложениях, либо контекстуальной недостаточностью. Данные предложения подтвердились во второй серии текстов, в которых устойчивые словосочетания предъявлялись последовательно в разных контекстах. С каждым новым предъявлением процент понимания словосочетаний увеличивается. Так, доля понимания словосочетания *in Frage kommen* вне контекста составила 0 %, в предложении – 50 %, в широком контексте – 70 %.

Данные, полученные в ходе проверки понимания устойчивых сочетаний в широком контексте, совпали с нашими ожиданиями. Процент их понимания оказался выше, чем во всех остальных случаях.

Во второй серии эксперимента устойчивые сочетания предъявлялись последовательно в разных видах контекста. Как следует из таблицы 2, процент понимания в микро- и макротексте выше, чем в изолированном виде. Полученные данные подтвердили существующее положение о положительной обучающей роли контекста.

Наряду с этим они показали, что необходимо целенаправленное обучение распознаванию и пониманию устойчивых сочетаний. Постепенно предъявление их в различных видах контекста, хотя и повышает степень понимания последних, но в недостаточной мере. Общий уровень понимания словосочетаний остается по-прежнему неудовлетворительным. Менее 50 % студентов первых курсов умеют распознать устойчивое сочетание и понять его.

В третьей серии тестирования решено было пойти по пути предъявления гнезд словосочетаний. В ходе этой серии мы хотели использовать рекомендации лингвистов и методистов по систематизированной подаче лексического материала для повышения эффективности учебного процесса. Были отобраны гнезда словосочетаний с наиболее употребительными глаголами *kommen*, *leisten*, *machen*. Словосочетания с *kommen* и *leisten* предъявлялись вне контекста и в предложениях, а сочетания с глаголом *machen* предъявлялись в изолированном виде, но с помощью «гнезд». Вот несколько словосочетаний с «*machen*», приводимых в контрольной работе: *eine Fahrt machen*, *einen Besuch machen*, *einen Vorschlag machen*? *Schluss machen*, *Platz machen*, *Ordnung machen*, *eine Reise machen*.

Статистический анализ результатов по третьей серии теста позволил продемонстрировать эффективность гнездовой подачи устойчивых словосочетаний (таблица 3).

Таблица 3 – Статистический анализ результатов по третьей серии теста

Характер предложения	Общее число предъявленных глагольных устойчивых словосочетаний												
	Глагольные устойчивые словосочетания с « <i>machen</i> »			Глагольные устойчивые словосочетания с « <i>leisten</i> »			Глагольные устойчивые словосочетания с « <i>kommen</i> »			Итого понято			
	Всего	Понято	Процент понимания	Всего	Понято	Процент понимания	Всего	Понято	Процент понимания	Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста		Глагольные устойчивые словосочетания в предложениях	
										Понято	Процент понимания	Понято	Процент понимания
Глагольные устойчивые словосочетания вне контекста	721	426	59	680	310	46	552	163	30	899	46		
Глагольные устойчивые словосочетания в предложениях				462	185	40	706	304	43			489	41,9

Как видно из таблицы 3, гнездовая подача устойчивых сочетаний также способствует пониманию их. Если сравнить результаты первых двух серий с результатами, полученными в третьей серии, то улучшение результатов имеет следующий вид: понимание изолированных сочетаний повысилось на 6,3 %, а в предложениях – на 11,9 %. Следовательно, предъявление

устойчивых сочетаний в макротексте и гнездами является средством улучшения эффективности обучения, правда в ограниченной степени.

Нами был проведен анализ результатов экспериментальной проверки и сделана попытка установить причины ошибок обучающихся. При этом, как показали результаты, ошибки студентов носят не случайный



характер, а связаны либо с трудностями семантизации словосочетания (степенью спаянности компонентов, одно- или многозначностью составных частей или его синтаксической дистрибуцией), либо обусловлены бедностью речевого опыта в немецком и родном языках. Обе причины ошибок являются следствием недостаточной работы над устойчивыми сочетаниями в практике обучения иностранному языку; обучение пониманию таких сочетаний либо вообще отсутствует, либо носит формальный характер. Студенты заучивают значение устойчивых словосочетаний, не анализируя их синтаксическую структуру и функции.

Из анализа результатов экспериментальной проверки следует, что большинство ошибок связано с неумением распознать структуру устойчивого словосочетания. Вследствие этого возникли следующие проблемы.

1 Не было узнано фразеологически связанное значение глагола, оно было воспринято в его свободном значении. Ошибочно понято значение глагола далее «приспосабливается» к значению именного члена сочетания, в результате чего общий вывод о значении всего словосочетания также является ложным. Так, в словосочетании «ins Auge fallen» студенты находят основное значение глагола «падать» и, «приспосабливая» его ко всему словосочетанию, получают «падать в глазах» вместо «бросаться в глаза», не видя также того, что именной компонент словосочетания в русском и немецком языках не совпадает в числе и падеже.

Таким образом, глагольный компонент «зашифровывает» значение всего словосочетания. В словосочетании «den Wege einschlagen» из неверно понятого значения «einschlagen» – «разбивать» выводится ложное заключение «разбивать путь» вместо «пойти по пути». У студентов наблюдается тенденция делать вывод о значении словосочетания на основе первого попавшегося в словаре глагола, не задумываясь и не проверяя себя. При предъявлении сочетаний с наречным компонентом обучающиеся, так же как и в сочетаниях с именным компонентом, «приспосабливали» неверно понятое значение глагола ко всему словосочетанию. Так, сочетание «gern haben» семантизировалось как «охотно иметь» вместо «любить».

2 Неправильно семантизировался именной (наречный) компонент словосочетания. Наибольшую трудность представляли случаи, когда именной (наречный) компонент многозначен и найти следовало значение, которое сочетается с данным глагольным компонентом. Имя существительное «Betrieb» имеет значение «предприятие, производство, завод, работа, действие, функционирование, эксплуатация, привод и др». При раскрытии значения сочетания «in Betrieb stehen» имеем «находиться на предприятии, пускать в производство, приводить в движение» вместо «эксплуатироваться, находиться в действии». Как и в первом случае, здесь студенты принимают решение на основе первого попавшегося в словаре значения именного (наречного) компонента, не задумываясь о смысле целого.

3 Оба компонента сочетания, меняющие свое значение, передаются в своем свободном значении. Всё словосочетание имеет сходство со свободными сочетаниями. И именно это сходство обусловило допущенные

ошибки. Обучающиеся не «видят», что оба члена сочетания употребляются в измененном значении. Так, в словосочетании «eine Karte lösen» существительное «Karte» имеет значение «карта, карточка, билет», глагольный компонент «lösen» означает «развязывать, решать, брать». Студенты это значение так и воспринимают «брать карту, билет» вместо «покупать билет», домысливая общее значение по-своему в соответствии со своими ассоциациями.

Данные проверки свидетельствуют о том, что формирование общего значения словосочетания, т. е. той системы обобщений, которые отражаются в устойчивом сочетании, является сложным психическим актом, требующим специальной аналитико-синтетической деятельности мозга.

Вторая большая группа типичных ошибок была вызвана неумением студентов соотнести значение одного из компонентов немецкого устойчивого сочетания (главным образом, глагольного компонента) с соответствующим русским эквивалентом. Структура данных словосочетаний узнается студентами без труда. Основную трудность вызывает план выражения, план отыскания соответствующего русского эквивалента, ибо глагольный компонент, сохраняя одну и ту же предметную соотнесенность, вводит обозначаемый им объект в разную степень связей и отношений. Так, глагол «lösen» в сочетании «ein Problem lösen» имеет значение «решать (проблему)», а в словосочетании «sich von der ralten Umgebung lösen» – «порвать (с прежней средой)». И здесь проявляется неумение обучающихся соединить в единое целое значение составных частей сочетания. Так, значение словосочетаний «das Interesse entgegenbringen» и «Freude machen» семантизируется соответственно как «принести интерес» и «сделать радость» вместо «проявлять интерес» и «доставить радость». В данном случае иноязычные связи оказываются сильнее связей в родном языке. Следовательно, задача состоит в том, чтобы при семантизации устойчивых сочетаний развить у студентов навык находить соответствующий русский эквивалент. Для этого следует затормозить вывод о значении всего сочетания на основе только одного компонента. Необходимо развить умение синтезировать значение всех компонентов сочетания в соответствии с нормами русского литературного языка.

Итак, в ходе экспериментальной проверки были выделены две большие группы типичных ошибок.

1 Неумение распознавать устойчивое словосочетание, а следовательно, понять его функцию и синтаксическую структуру и, как следствие, неспособность вывести общее значение всего словосочетания.

2 Неумение вывести общее значение устойчивых словосочетаний на основе анализа составляющих компонентов при правильном распознавании структуры названных сочетаний.

Проведенный анализ типичных ошибок позволяет сделать следующие выводы.

1 Работа над устойчивыми словосочетаниями проводится в недостаточной мере.

2 Студенты I курса неязыкового УВО не имеют достаточного опыта в узнавании устойчивых словосоче-

таний и их разграничении от свободных сочетаний слов.

3 Студенты не обучены анализу устойчивых словосочетаний, в результате чего обобщенный смысл устойчивого сочетания остается не раскрытым.

4 У обучающихся отсутствует умение находить русский эквивалент словосочетания в соответствии с языковыми нормами русского литературного языка. Развитие данного умения требует в качестве основного условия затормаживание преждевременного вывода о значении словосочетания на основе только одного компонента.

Проведенное тестирование помогло выявить типичные ошибки в понимании устойчивых словосочетаний при чтении. Преодоление и предупреждение таких ошибок позволяет повысить эффективность процесса обучения чтению научно-технической литературы.

#### Список литературы

1 Бархударов, Л. С. Язык и перевод (Вопросы общей и частной теории перевода) / Л. С. Бархударов. – М. : Международные отношения, 1975. – 240 с.

2 Георгиевская, Т. М. Работа над ошибками при обучении письму / Т. М. Георгиевская // Иностранные языки в школе. – 2011. – № 4. – С. 112–116.

3 Горская, И. А. Учет интерференции как источника языковых ошибок в образовательном процессе / И. А. Горская // Актуальные проблемы романо-германской филологии и методики преподавания иностранных языков : материалы IV Междунар. конф. (24 октября 2014 года). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – С. 37–39.

4 Гришанкова, Н. А. Учебно-методическая типология терминов обучения самостоятельному чтению научно-технических текстов в транспортном вузе / Н. А. Гришанкова // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2018. – № 1 (36). – С. 144–46.

5 Мильруд, Р. П. Подходы к описанию и предупреждению ошибок в иноязычной речи / Р. П. Мильруд, Н. Н. Кондакова // Иностранные языки в школе. – 2007. – № 1. – С. 12–17.

6 Основные понятия и определения на железнодорожном транспорте : словарь-справочник по изучению железнодорожной терминологии на рус., англ., нем., фр. и исп. языках / Д. В. Захаров [и др.] ; под ред. Н. А. Гришанковой. – Гомель : БелГУТ, 2016. – 76 с.

7 Половцева, О. В. Современные подходы к исправлению ошибок в устной речи при изучении иностранного языка / О. В. Половцева, Ю. А. Шаврук // Актуальные проблемы гармонизации социально-трудовых отношений : материалы Седьмой Междунар. науч.-практ. конф. (4 марта 2005 года). В 2 кн. Кн. 1. – Витебск : МИТСО, 2005. – С. 230–233.

8 Тихоненко, Н. Е. Немецкие глагольные словосочетания как результат реализации одной обстоятельственной валентности стержневого слова / Н. Е. Тихоненко // Вопросы лингвистики и методики преподавания иностранного языка : сб. науч. ст. – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2004. – Вып. 4. – С. 30–34.

9 Тихоненко, Н. Е. Немецкие именные словосочетания с зависимым существительным в родительном падеже / Н. Е. Тихоненко // Актуальные проблемы романо-германской филологии и методики преподавания иностранных языков : материалы IV Междунар. конф. (24 октября 2014 года). – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2014. – С. 152–155.

10 Тихоненко, Н. Е. Прономинальные словосочетания в современном немецком языке / Н. Е. Тихоненко // Теоретические и практические аспекты романо-германской филологии и методики преподавания иностранных языков : сб. науч. ст. Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2015. – С. 167–170.

Получено 31.10.2023.

**N. A. Grishankova.** Analysis of typical errors in understanding verb phases when reading scientific and technical texts.

Typical mistakes of students in understanding and semantization of verbal set phrases of the German language are presented, their comparative analysis is carried out and the reasons for their occurrence are indicated. An assessment is made of the level of training of students and their ability to recognize stable verb phrases. The features of revealing the general meaning of phrases based on lexical analysis of components are considered. The factors on which the independent identification by students of non-linguistic institutions of higher education of the meaning of such combinations depend are determined and considered. Error classification criteria have been developed.

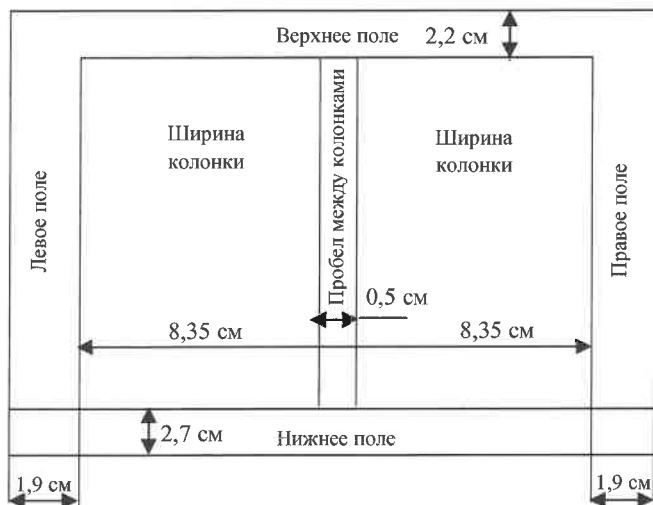
## ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ СТАТЕЙ

Статьи, направляемые в редакцию журнала «Вестник БелГУТа: Наука и транспорт», должны соответствовать следующим требованиям.

1 Материал статьи должен отражать профиль журнала и излагаться предельно ясно на белорусском или русском языке. На оборотной стороне последнего листа ставится подпись автора (авторов) и указывается название рубрики, к которой относится статья.

2 Статья должна быть представлена в одном экземпляре на бумажном носителе [для иногородних – по почте (адрес электронной почты: tatiana-101@list.ru)] и тщательно отредактирована. Одновременно текст статьи представляется в формате текстового редактора MS Word в виде обычного текстового файла – по фамилии автора (авторов), гарнитура шрифта – Times New Roman.

3 Текст статьи должен быть оформлен в соответствии с ГОСТ 7.5–98 «Журналы, сборники, информационные издания. Издательское оформление публикуемых материалов», ГОСТ 2.105–95 «Межгосударственный стандарт. Общие требования к текстовым документам» и напечатан на белой бумаге формата А4 на лазерном принтере. Объем статьи – 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания и др.), т. е. не более трех полных страниц текста формата А4, напечатанного в две колонки размером шрифта (кегель) 10 pt по следующему образцу:



4 Текст статьи должен содержать:

– в левом верхнем углу первой страницы – индекс УДК (размер шрифта – 10 pt).

– через интервал на формат 17,2 см – инициалы и фамилия автора (авторов) прописным светлым курсивом, а учёная степень, наименование и местонахождение организаций, в которых работают авторы, – строчным светлым курсивом 10 pt;

– ниже, через интервал на формат 17,2 см – название статьи, напечатанное прописными буквами, жирным шрифтом, без переносов (высота букв – 11 pt), которое должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким, содержать ключевые слова, позволяющие идентифицировать данную статью;

– через интервал на формат 17,2 см – аннотация, в которой дается краткая характеристика статьи (размер шрифта – 9 pt, объём – до 10 строк, или 100–150 слов);

– через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая, с интервалом между ними 0,5 см – текст статьи (размер шрифта – 10 pt), межстрочный интервал – одинарный, абзац – 5 мм, или 3 печатных знака;

– через интервал в две колонки форматом 8,35 см каждая – список литературы (размер шрифта – 9 pt);

– через интервал – дата поступления рукописи в редколлегию (размер шрифта – 8 pt); например: Получено 05.06.2009;

– через интервал на формат 17,2 см – фамилия, инициалы автора (авторов) – прямым жирным строчным шрифтом 10 pt, название статьи – светлым строчным прямым шрифтом 10 pt; аннотация статьи на английском языке шрифтом 9 pt.

5 Научная статья должна включать:

– введение, где должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме. Указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы, т. е. поставлена задача;

– основную часть, содержащую описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробное освещение содержания исследований, которые могут быть иллюстрированы графиками или подтверждены расчетами в табличной форме. Полученные результаты должны быть проанализированы с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными. Основная часть также может делиться на подразделы (с разъяснительными заголовками). Иллюстрации, формулы, уравнения и сноски, встречающиеся в статье, должны быть пронумерованы в соответствии с последовательностью их размещения в тексте;

– заключение, в котором в сжатом виде формулируются основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

6 Графический материал в статье (рисунки, схемы, диаграммы) должен содержать не более пяти рисунков и быть оформлен в соответствии с требованиями Р 50-77-88 «Рекомендации ЕСКД. Правила выполнения диаграмм». Каждый рисунок должен иметь название (размер шрифта – 9 pt светлым 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.