Фундаментальные и прикладные вопросы транспорта

Научно-теоретический Журнал

№ 1 (1) · 2020 · ИЮЛЬ – ДЕКАБРЬ

Выходит два раза в год. Основан в 2020 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Транспорт

Нехорошков В.П., Арошидзе А.А. Оценка устойчивости развития внешнеторговых потоков по основным направлениям потенциальной грузовой базы объединенной транссибирской и транскорейской магистрали……..……... *5*

Югрина О.П., Жарикова Л.С., Танайно Ю.А. Эффективность использования маршрутизации грузовых перевозок при минимизации затрат на перевозку…….. *13*

Невежин В.С., Кутень И.А. Система контроля технического состояния железнодорожных переездов…….. *21*

Макаров Р.И. Разработка транспортной модели с применением искусственной нейронной сети для регулирования движения на перекрестке……..... *27*

Псеровская Е. Д., Грефенштейн А.П. Проблема развоза грузов в крупных городах с участием разных видов транспорта……..……..*34*

Зачешигрива М.А., Тесленко И.О. Проблемы логистики перевозки скоропортящихся грузов в Российской Федерации……..... *41*

Волегжанина И. С. Расширение механизмов взаимодействия науки, образования и производства на основе управления отраслевыми знаниями в условиях цифровизации железнодорожной отрасли……..…… *48*

Строительство и архитектура

Акимов С.С., Котова И.А., Косенко С.А. Целесообразность устройства подбалластных защитных слоев из грунтобетона при капитальном ремонте железнодорожного пути……....*54*

Разуваев Д.А, Чахлов М.Г. Результаты исследования золошлаков Новосибирской ТЭЦ-3 на предмет применения в качестве материала в дорожном строительстве…….…..... *62*

Севостьянов А.А., Величко Д.В. Состояние геометрии рельсовой колеи в сложных условиях эксплуатации……69

Fundamental and applied transport issues Scientific journal

№ 1 (1) · 2020 · JULY-DECEMBER

Published twice a year. Established in 2020.

CONTENTS

Transport

Nekhoroshkov V.P., Aroshidze A.A. Assessment of the sustainability of development of foreign trade flows in the main directions of the potential cargo base of the united trans-siberian and trans-korean railway…….. *5*

Yugrina O.P, Zharikova L.S., Tanayno Yu.A. Efficiency of use of routing of freight transportation with minimization of transportation costs.…….. *13*

V.S. Nevezhin, Kuten I.A. Control system of technical condition of railway crossing……..……... *21*

Makarov R.I. Development of a transport model using an artificial neural network to traffic flow regulation……... *27*

Pserovskaya E. D., Grefenshtein A. P. Freight delivery problem with different transport modes in large cities…….. *34*

Zacheshigriva M.A., Teslenko I.O. Problems of logistics for transportation of perishable goods in the Russian Federation……...…..... *41*

Volegzhanina I. S. Expansion of mechanisms of science, education and industry interaction based on industry-related knowledge management under conditions of railway industry digitalization …….. *48*

Building and Architecture

Akimov S.S., Kotova I.A., Kosenko S.A. Expediency of the subballast protective Layers formation from soil-concrete during Railway track overhaul……..……..... *54*

Razuvaev D. A., Chakhlov M.G. Research findings of ash from Novosibirsk tpp-3 for application in highway construction as a material……..... *62*

Sevostyanov A.A., Velichko D.V Rail track geometry in difficult maintenance conditions…… *69*

УДК 332.1, 656.022

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ РАЗВИТИЯ ВНЕШНЕТОРГОВЫХ ПОТОКОВ ПО ОСНОВНЫМ НАПРАВЛЕНИЯМ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ГРУЗОВОЙ БАЗЫ ОБЪЕДИНЕННОЙ ТРАНССИБИРСКОЙ И ТРАНСКОРЕЙСКОЙ МАГИСТРАЛИ

В.П. Нехорошков[1], А.А. Арошидзе[1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: Проект соединения Транскорейской и Транссибирской магистралей позволит получить полноценный сухопутный выход на рынок Республики Корея. Следовательно, именно внешняя торговля между Республикой Корея и европейским регионом, а также РФ должна сформировать основную грузовую базу перевозок по объединенной магистрали. В этой связи исследование перспектив транспортной загрузки должно прежде всего основываться на анализе внешнеторговых потоков, их устойчивости, по данным направлениям.

Ключевые слова: ТРАНССИБ, Транскорейская магистраль, проект соединения, перспективная загрузка, внешнеторговые потоки

ASSESSMENT OF THE SUSTAINABILITY OF DEVELOPMENT OF FOREIGN TRADE FLOWS IN THE MAIN DIRECTIONS OF THE POTENTIAL CARGO BASE OF THE UNITED TRANS-SIBERIAN AND TRANS-KOREAN RAILWAY

V.P. Nekhoroshkov[1], A.A. Aroshidze[1]

1. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The project of connecting the Trans-Korean and Trans-Siberian railways will provide a full-fledged overland access to the market of the Republic of Korea. Consequently, it is the foreign trade between the Republic of Korea and the European region, as well as the Russian Federation, that should form the main freight base of transportation along the united railway. In this regard, the study of the prospects for transport loading should primarily be based on the analysis of foreign trade flows, their stability, in these areas.

Key words: TRANSSIB, Trans-Korean Railway, connection project, prospective cargo, foreign trade flows

Железная дорога, соединяющая юг и север Корейского полуострова, была построена в 1906 г. Японией. Магистраль «Кёнъисон» из Пусана в Синыйджу, расположенный на границе с Китаем, через Сеул и Пхеньян являлась частью военной инфраструктуры Японии. В 1945 г. на Потсдамской конференции произошло территориальное разделение Корейского полуострова на две зоны влияния – США и СССР. Сквозное железнодорожное сообщение с этого момента по магистрали прекратилось. Война между Северной и Южной Кореей 1950-1953 гг. окончательно разорвала транспортное сообщение между югом и севером полуострова. Из-за военных конфликтов Транскорейская железная дорога не смогла использовать имеющийся у нее потенциал транзитной магистрали, соединяющей Корею с Китаем, Россией и странами Европы через Транссибирскую магистраль. Актуализация темы соединения корейских железных дорог с российскими произошла только с началом XXI веке, когда

главы России и КНДР договорились соединить Транссиб с Транскорейской магистралью (2001 г.), подписав Московскую декларацию. В 2008 г. силами РЖД и партнеров из КНДР и Республики Кореи была начала реализация проекта «Хасан-Раджин», который рассматривался в качестве первого этапа реконструкции Транскорейской железной дороги [1-7].

В последние десятилетия происходит сдвиг не только в географии международной торговли, но и в структуре видов транспорта, обеспечивающих товаропотоки. Дальнейшая унификация транспортных технологий позволяет ускорять продвижение грузов и более эффективно использовать возможности мультимодальных перевозок. На этом фоне проект соединения Транскорейской и Транссибирской магистралей также является одним из значимых для повышения эффективности транспортного обеспечения как взаимной торговли двух стран, так и повышения доходов от реализации транзитного потенциала [8-10].

В этой связи оценка устойчивости существующих экспортных и импортных потоков между Республикой Корея и ЕС, Республикой Корея и РФ позволяет оценить перспективы потенциальной грузовой базы объединенной железнодорожной магистрали. Обозначив данную оценку в качестве цели нашей работы, для ее достижения предлагаем использовать методы диагностических матриц, а также распознавания сигналов о кризисных явлениях. Информационной базой исследования выступает статистическая база данных внешней торговли Trade statistics for international business development [11].

Построение диагностических матриц осуществляется на первом этапе оценки, для чего рассчитывается собственно устойчивость динамики внешнеторговых потоков по их направлениям с помощью коэффициента Спирмена. При этом оценку целесообразно проводить по абсолютным динамическим рядам, что отражает тренд (или его отсутствие, т.е. каждый следующий уровень выше или ниже предыдущего) и его устойчивость, а также по относительным динамическим рядам, т.е. темпам роста, что отражает устойчивость скорости изменений (темп роста каждого следующего периода выше или ниже предыдушего). Качественная интерпретация коэффициента в данной работе основывается на общепризнанной шкале Чеддока.

Как видно из представленной диагностической матрицы по экспорту Республики Корея в ЕС (см. табл.1), устойчивой положительной тенденцией в абсолютных величинах характеризуются поставки электрических машин, оборудования и пр., фармацевтической продукции, при динамика относительных величин, т.е. темпов роста экспорта также положительна, но устойчивость данной положительной тенденции слабая. Также высокая устойчивость положительного тренда зафиксирована по поставкам средств наземного транспорта, реакторов ядерных котлов и пр., пластмасс и изделий из них, черных металлов, однако динамика темпов роста по ним негативная со слабой устойчивостью. Высоко устойчивая положительная динамика абсолютных показателей экспорта каучука, резины и изделий из них, а также органических химических соединений сопровождается высоко устойчивой негативной

тенденцией по их темпам роста, т.е. несмотря на увеличение стоимости поставок, темп роста замедляется.

Таблица 1 Диагностическая матрица устойчивости экспортных потоков Республики Корея в ЕС по товарным группам

Устойчивость относительных показателей (темпов роста), устойчивость скорости		Устойчивость абсолютных показателей, устойчивость тренда							
		К < 0,2, неустойчивость		0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость		0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость		К > 0,6, высокая устойчивость	
		+	–	+	–	+	–	+	–
К < 0,2, неустой-чивость	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	–	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость	+	-	-	-	-	-	ТН 27	ТН 85, 30	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 87, 84, 39, 72	-
0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	-	ТН 90
	–	ТН 73	-	-	-	-	-	-	-
К > 0,6, высокая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 40, 29	ТН 89

Примечание: К – значение коэффициента Спирмена; «+» – положительная динамика, «–» – отрицательная динамика; ТН – товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности

Результаты оценки и анализа импорта (см. табл. 2) свидетельствует, что наиболее устойчивым положительным трендом характеризуются поставки в Республику Корея из ЕС пластмасс и изделий из них, но скорость изменений неустойчива, темпы роста скорее замедляются. Импорт эфирных масел, резиноидов и пр. также высоко устойчивых в положительном тренде абсолютных показателей, но динамика темпов роста, т.е. относительных показателей, слабо устойчива в положительном направлении. Аналогичная ситуация по абсолютным показателям характерна для импорта фармацевтической продукции и прочих химических продуктов, но скорость изменения поставок замедляется со слабой устойчивостью. Устойчивый положительный тренд наблюдался по импорту инструментов и аппаратов оптических и пр., однако с высокой устойчивостью данные изменения замедляют свою скорость. Интересно, что поставки изделий из черных металлов и жемчуга природного или культивированного и пр. носят неустойчивый тренд, но ежегодные темпы роста в целом устойчиво выше предыдущих.

Экспорт Республики Корея в РФ в своем тренде (см. табл. 3) по всем товарным группам положительный, при этой с высокой устойчивостью, за исключением поставок изделий из черных металлов.

Таблица 2 Диагностическая матрица устойчивости импортных потоков Республики Корея из ЕС по товарным группам

Устойчивость относительных показателей (темпов роста), устойчивость скорости		Устойчивость абсолютных показателей, устойчивость тренда							
		К < 0,2, неустойчивость		0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость		0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость		К > 0,6, высокая устойчивость	
		+	–	+	–	+	–	+	–
К < 0,2, неустой-чивость	+	-	-	-	-	ТН 2	-	-	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 39	-
0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	ТН 33	-
	–	-	ТН 28		ТН 27	-	-	ТН 30, 38	-
0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость	+	-	-	ТН 87	ТН 72	-	-	-	ТН 29
	–	-	ТН 84	-	-	-	-	-	
К > 0,6, высокая устойчивость	+	ТН 73, 71	-	-	ТН 85	-	-	-	ТН 42
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 90	-

Примечание: К – значение коэффициента Спирмена; «+» – положительная динамика, «–» – отрицательная динамика; ТН – товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности

Таблица 3 Диагностическая матрица устойчивости экспортных потоков Республики Корея в РФ по товарным группам

Устойчивость относительных показателей (темпов роста), устойчивость скорости		Устойчивость абсолютных показателей, устойчивость тренда							
		К < 0,2, неустойчивость		0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость		0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость		К > 0,6, высокая устойчивость	
		+	–	+	–	+	–	+	–
К < 0,2, неустой-чивость	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	–	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	ТН 87, 39	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 29, 48	-
0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	ТН 90, 27	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 72, 21, 33	-
К > 0,6, высокая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	ТН 85	-
	–	-	-	ТН 73	-	-	-	ТН 84, 40, 94	-

Примечание: К – значение коэффициента Спирмена; «+» – положительная динамика, «–» – отрицательная динамика; ТН – товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности

При этом устойчивость скорости изменений по экспорту достаточно сильно варьируется. Так, увеличение скорости с высокой степенью устойчивости наблюдается по поставкам электрических машин, оборудования и пр., наоборот устойчивое замедление скорости характерно для экспорта ядерных реакторов, котлов и пр., каучука, резины и изделий из них. Средняя устойчивость увеличения скорости изменений характерна для инструментов и аппаратов оптических и пр., мебели, постельных принадлежностей и пр., минерального топлива и пр., замедления скорости – для черных металлов, разных пищевых продуктов, эфирных масел, резиноидов и пр. Слабая устойчивость сокращения темпов роста отмечается по поставкам органических химических соединений, бумаги и картона и пр. Также слабая устойчивость, но положительной динамики относительных показателей зафиксирована по экспорту средств наземного транспорта и пр., пластмасс и изделий из них. Необходимо отметить, что ни по одной товарной группе не наблюдалось отсутствие устойчивости в динамике абсолютных или относительных показателей.

По импортным потокам (см. табл. 4) в разрезе трех товарных групп наблюдается положительный тренд высокой устойчивости: рыба и пр. со слабой устойчивостью увеличения скорости изменений, древесина и изделия из нее со слабой устойчивостью замедления скорости изменений, топливо минеральное и пр. со средней устойчивостью увеличения скорости изменений. Поставки продуктов неорганической химии характеризуются высокоустойчивой негативной динамикой абсолютных показателей, но наблюдается среднеустойчивая положительная динамика относительных показателей (другими словами, несмотря на сокращение абсолютных показателей, темпы роста увеличиваются со средней устойчивостью, т.е. сокращения составляют меньшую величину ежегодно). Среднеустойчивый положительный тренд по импорту черных металлов сопровождается высоко устойчивым замедлением скорости изменений. Слабоустойчивая негативная динамика наблюдается по импорту из РФ алюминия, при этом скорость данных негативных изменений замедляется со средней устойчивостью (т.е. устойчивость положительной динамики относительных показателей средняя, последующие темпы роста выше предыдущих). Отсутствием четкого тренда, но скорее с негативным оттенком характеризуются поставки злаков, устойчивость негативной динамики относительных показателей высокая.

На основе проведенной оценки и анализа устойчивости динамики экспортно-импортных операций по представленным направлениям внешней торговли, следующим этапом предлагаем провести оценку, позволяющую выявить зарождающиеся кризисные явления и зоны безопасного развития внешней торговли между странами, обеспечивающими потенциальные грузопотоки по объединенной Транскорейской и Транссибирской магистрали.

В соответствии с уровнем устойчивости и направленностью тренда динамики абсолютных показателей экспорта и импорта, а также устойчивостью замедления или увеличения скорости изменений по каждой товарной группе экспорта и импорта в разрезе каждого внешнеторгового направления

присуждаются баллы. Баллы отражают силу сигнала о кризисном состоянии– от 0 до 5, т.е. размерность шкалы числовых значений сигналов равна пяти: 0 – сигнал отсутствует; 1 – незначительный сигнал (т.е. фактически можно пренебречь); 2 – слабый сигнал; 3 – умеренный сигнал; 4 – сильный сигнал; 5 – очень сильный, явный сигнал. Сформированный набор сигналов позволяет обнаружить и оценить стадии кризиса в развитии внешнеторговых отношений стран.

Таблица 4 Диагностическая матрица устойчивости импортных потоков Республики Корея из РФ по товарным группам

Устойчивость относительных показателей (темпов роста), устойчивость скорости		Устойчивость абсолютных показателей, устойчивость тренда							
		К < 0,2, неустойчивость		0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость		0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость		К > 0,6, высокая устойчивость	
		+	–	+	–	+	–	+	–
К < 0,2, неустой-чивость	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	–	-	-	-	-	-	-	-	-
0,2 < К < 0,4, слабая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	ТН 3	-
	–	-	-	-	-	-	-	ТН 44	-
0,4 < К < 0,6, средняя устойчивость	+	-	-	-	ТН 76	-	-	ТН 27	ТН 28
	–	-	-	-	-	-	-	-	-
К > 0,6, высокая устойчивость	+	-	-	-	-	-	-	-	-
	–	ТН 10	-	-	-	ТН 72	-	-	-

Примечание: К – значение коэффициента Спирмена; «+» – положительная динамика, «–» – отрицательная динамика; ТН – товарная номенклатура внешнеэкономической деятельности

После присвоения по каждой ключевой товарной группе экспорта и импорта балла как отражения силы сигнала о кризисных явлениях, необходимо произвести расчет показателя истинных условий, т.е. фактически рассчитать количество ключевых товарных групп, сила сигналов по которым находится в диапазоне от 1 до 5, и показателя суммарной силы сигналов. Для расчета масштабности и интенсивности сигналов о кризисных явлениях во внешнеторговой деятельности аналогичным образом необходимо также произвести расчет интегральных показателей истинных условий сигнала и суммарной силы сигналов.

Масштабность сигналов является отражением широты охвата кризисными явлениями внешнеторговой деятельности между странами и рассчитывается как отношение интегрального показателя истинных условий сигнала к общему числу ключевых товарных групп. Интенсивность сигналов является отражением глубины охвата внешней торговли кризисными явлениями и рассчитывается как отношение интегрального показателя суммарной силы сигналов к произведению общего числа ключевых товарных групп и размерности шкалы числовых

значений сигналов. С помощью показателей масштабности и интенсивности сигналов представляется возможным распознать стадии кризисных явлений по внешней торговле по ключевым направлениям, составляющим основу потенциальной транспортной загруженности объединенной Транссибирской и Транскорейской магистрали (см. табл. 5).

Таблица 5 Результаты распознавания кризисных явлений и зон развития внешней торговли по основным направлениям объединенной магистрали

Показатель	**Значение**	**Зона развития**
Республика Корея-ЕС		
масштабность по экспорту %	50	зеленая
интенсивность по экспорту %	26,7	
стадия кризисных явлений в экспорте	скрытый зарождающийся	
масштабность по импорту %	50	зеленая
интенсивность по импорту %	31,3	
стадия кризисных явлений в импорте	скрытый развивающийся	
суммарная масштабность %	50	зеленая
суммарная интенсивность %	29,3	
стадия кризисных явлений во внешней торговле	скрытый зарождающийся	
Республика Корея-РФ		
масштабность по экспорту %	28,6	зеленая
интенсивность по экспорту %	8,6	
стадия кризисных явлений в экспорте	отсутствует	
масштабность по импорту %	42,8	зеленая
интенсивность по импорту %	28,6	
стадия кризисных явлений в импорте	потенциальный	
суммарная масштабность %	33,3	зеленая
суммарная интенсивность %	15,2	
стадия кризисных явлений во внешней торговле	потенциальный	
стадия кризисных явлений во внешней торговле	потенциальный	

Стадии кризисных явлений доходят только до скрытой развивающейся, при этом глубина их охвата по товарным группам не превышает 50%, а широта не более 60%. Следовательно, основываясь на пятилетних наблюдениях, вероятность неблагоприятного развития внешней торговли по ключевым направлениям, обеспечивающим грузовую базу перевозок по объединенной Транскорейской и Транссибирской магистрали, можно считать как низкую. Устойчивость трендов и скорости развития внешней торговли стран достаточна, чтобы не перейти в стадию острого кризиса, даже с учетом неблагоприятной ситуации в мировой экономике.

Таким образом, оценка устойчивости грузовой базы по ключевым направлениям показывает перспективность грузопотоков по объединенной

магистрали. Развитие внешней среды проекта объединения Транскорейской и Транссибирской магистралей может происходить по трем основным сценариям: инерционный, инновационный, радикальный экологический, «черный лебедь». При оценке эффективности проекта каждый из данных долгосрочныхсценариев развития должен быть сопряжен с выявленными зонами безопасности развития внешней торговли, так как именно они отражают ключевые направления, обеспечивающие грузовую базу проекта.

Библиографический список

1. Транскорея – 2020: быть или не быть? // Морские вести России. – URL: http://www.morvesti.ru/analitika/1687/74917/ (дата обращения 19.09.2020).

2. Батырь В.А. Российско-северокорейский проект «Хасан-Раджин» в системе международных экономических ограничений (неприступный российско-китайский бастион в КНДР) // LEX RUSSICA (РУССКИЙ ЗАКОН). – 2018. – № 4 (137). – С. 53-69.

3. Железная дорога между приморским Хасаном и северокорейским Раджином готова к эксплуатации // PRIMAMEDIA. – URL: https://primamedia.ru/news/304176/ (дата обращения 19.09.2020).

4. Информационное агентство «Ведомости». – URL: https://www.vedomosti.ru/business/news/2019/04/21/799747-sibantratsit (дата обращения 19.09.2020).

5. Коммерсант: электрон. версия газ. 2016. № 39. – URL: https://www.kommersant.ru/doc/2932940 (дата обращения 19.09.2020).

6. Могилевкин И.М. Россия в глобальной транспортной инфраструктуре. Проблема оптимизации транспортно–коммуникационной политики в меняющихся условиях мировой экономики. – М.: ИМЭМО РАН, 2008. –150с.

7. Российские железные дороги. – URL: http://www.rzd.ru (дата обращения 19.09.2020).

8. Авдокушин Е.Ф. Железнодорожный транспорт в условиях трансформации глобальной экономики // Вопросы новой экономики. – 2017. – №1. – С. 5-14.

9. Арошидзе А.А. Новосибирская область в концепции международной торговли «Восток-Сибирь-Запад»: транспортное обеспечение геостратегического ресурса транзитности и внешнеторгового потенциала / А.А. Арошидзе, В.П. Нехорошков // Финансовая экономика. – 2019. – № 12. – С. 7-11.

10. Нехорошков В.П., Арошидзе А.А. Внешнеторговая деятельность Сибирского региона в контексте структурных сдвигов в мировой экономике: монография. – Новосибирск: Изд. ООО «СибАК», 2020. – 260 с.

11. Trade statistics for international business development. – URL: https://trademap.org/ (дата обращения 19.09.2020).

УДК 656.225

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАРШРУТИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК ПРИ МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ

О.П. Югрина[1], Л.С. Жарикова[1], Ю.А. Танайно[1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: для определения эффективности пропуска вагонопотока в различных видах отправок авторами приведен анализ технологических операций с вагонами в процессе доставки маршрутными и повагонными отправками. В соответствии с технологией работы железнодорожного транспорта определена схема перевозочного процесса с указанием составляющих элементов и затрат времени. Установлены различия в эксплуатационных и временных затратах в различных видах отправок и оценена эффективность пропуска вагонопотока, определена экономическая эффективность маршрутных перевозок для перевозчика и проанализирован порядок стимулирования грузоотправителей. Рассмотрена возможность применения системы стимулирования грузоотправителей при организации маршрутных отправок с учетом интересов перевозчика.

Ключевые слова: маршрут, маршрутизация, грузовая перевозка, повагонная отправка, переработка вагонов, доставка в срок

EFFICIENCY OF USE OF ROUTING OF FREIGHT TRANSPORTATION WITH MINIMIZATION OF TRANSPORTATION COSTS

O.P Yugrina[1], L.S. Zharikova[1], Yu.A. Tanayno[1]

1. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: to determine the efficiency of passing the car traffic in various types of shipments, the authors provide an analysis of technological operations with cars in the process of delivery by route and wagon shipments. In accordance with the technology of the railway transport, a diagram of the transportation process has been determined, indicating the constituent elements and the time required. The differences in operating and time costs in various types of shipments were established and the efficiency of passing the car traffic was estimated, the economic efficiency of route transportation for the carrier was determined and the procedure for stimulating shippers was analyzed. The possibility of using a system of incentives for shippers when organizing route shipments, taking into account the interests of the carrier, is considered.

Keywords: route, routing, freight transportation, wagon dispatch, processing of wagons, delivery on time.

В рыночных условиях не только жизнеспособность, но и эффективная работа предприятий напрямую зависит от развития транспортного фактора государства. Поэтому все виды транспорта должны быть увязаны в единую мультимодальную транспортную систему, удобную как с точки зрения организации обслуживания клиентов, времени, сроков и точности доставки, сохранности грузов, так и в отношении возможностей сквозного информационного сопровождения и финансовых отношений.

На практике приоритет в подходах зачастую приводит к рассогласованию интересов перевозчика и грузовладельцев. Перевозчику требуется доставить

маршруты и вагоны не позднее определенного времени, а клиента волнуют судовые партии, последовательность в доставке повагонных отправок и четко регламентированные сроки доставки. Актуализируется определение путей развития единого транспортного пространства в единую систему технологий мультимодальных перевозок.

В сферах железнодорожного транспорта, транспортной логистики, задачах планировании перевозок или ресурсов, выделяемых для реализации перевозок, транспортная задача должна появляться и решаться при необходимости минимизации расходов. Под транспортной задачей в эксплуатации железных дорог понимается определение такой системы формирования поездов, которая учитывает наиболее экономически выгодные пути следования вагонов, маршрутов и составов поездов [1, 2]. На сегодняшний день на первый план в вопросе совершенствования работы железных дорог выходит сокращение времени занятия инфраструктуры подвижным составом, что достигается путем повышения транзитности перевозок и уменьшения времени простоя вагонов на станциях в пути следования. Этому способствует организация перевозок грузов маршрутами [3, 4, 5]. Экономический эффект маршрутных перевозок по сравнению с немаршрутными определяется сокращением количества переработок вагонов и, соответственно, ведет к экономии эксплуатационных затрат. При использовании маршрутных отправок экономический эффект возможен если экономия эксплуатационных расходов от продвижения вагонов в маршруте превышает затраты на формирование. Актуальность данной проблемы заключается в повышении конкурентоспособности железных дорог посредством минимизации расходов перевозчика и пользователей услуг железнодорожного транспорта путем сокращения сроков доставки, обеспечивая принцип "точно в срок" и выбора варианта следования грузов к месту назначения [6, 7, 8].

В Инструктивных указаниях по организации вагонопотоков предлагается порядок расчетов по каждой рассматриваемой корреспонденции, реализуемый при использованием программного обеспечения технологии организации вагонопотоков (АСОВ) и подсистемы «Разработка и ведение плана организации (формирования) маршрутов» (АСОВ ПФМ). С его помощью определяется целесообразность организации отправительских маршрутов с последующим решением о применении стимулирующих мер [9]. Но это возможно только для прямых отправительских маршрутов, т.е. для составов с одной станции погрузки на одну станцию выгрузки и только от одного отправителя в адрес одного получателя. Но стимулирующие меры не охватывают все остальные виды маршрутных отправок. А для высвобождения технических станций от переработки вагонопотока по маршруту следования рационально распространить поощрение и на ступенчатые маршруты и «в расформирование».

Порядок работы с немаршрутными и маршрутными отправками существенно отличается. Концентрация вагонопотоков на станции погрузки для формирования маршрутов способствует эффективности этих назначений, так

как в плане формирования поездов на сортировочных станциях невозможно выделить их в отдельные.

Формирование маршрутных поездов от мест их зарождения до погашения должно основываться на работе с грузопотоками.

Организация и продвижение маршрутов состоит из следующих основных этапов [3]: маршрутообразование; продвижение груженых маршрутов; маршрутопогашение; продвижение порожних маршрутов (для кольцевых маршрутов).

«Маршрутообразование – процесс организации погрузки и формирования маршрута, то есть последовательность операций от момента прибытия вагонов на станцию выполнения грузовых операции до момента отправления сформированного маршрута» [3, с. 94].

Для этого сопоставляются различные технологические схемы отправления вагонов со станции формирования для немаршрутных и маршрутных вариантов с поэлементным сравнением комплексов набора технологических операций, входящих в тот или иной вариант.

Сопоставление операций с начальной станции позволяет выявить некоторые отличия и сходства, выполняемые при маршрутообразовании или отправлении повагонной отправки с маршрутными и немаршрутными составами. На примере грузовой станции Комбинатская определены затраты времени на выполняемые технологические операции при. Время от прибытия до начала погрузки различается на накопление вагонов для подачи на путь необщего пользования под погрузку, это 7,8 ч и 4,8 ч соответственно. Затраты времени на путях необщего пользования под погрузкой также различается (4 и 2 ч соответственно для маршрутной и немаршрутной погрузки). Время простоя вагонов от окончания погрузки до отправления с маршрутным и немаршрутным составом различается на элемент накопления вагонов на состав для отправления. У маршрутизированных составов также отсутствует элемент «ожидание уборки» в связи с тем, что они формируются и отправляются по расписаниям, что сокращает на 2,7 ч простой вагонов на путях общего пользования и их занятость.

Реальная разница во времени нахождения вагонов отправления при маршрутной и немаршрутной отправках определятся для конкретной станции с учетом ее технологии. В нашем примере это 15,2 и 15.0 ч при маршрутной и немаршрутной отправках соответственно, но занятость путей станции в этом случае на 3,6 ч меньше. Но, если обеспечить организованный подвод порожних вагонов, то затраты времени сокращаются на 4 ч, а время маршрутной погрузки составит 11,2 ч на вагон.

Продвижение маршрутов состоит из следующих основных элементов [3, с. 95]: «следование по участкам; операции на технических станциях (техническое обслуживание составов, смена локомотивов и локомотивных бригад, изменение веса или длины состава)».

Маршрутные перевозки ускоряют пропуск вагонопотока, так как переработка на попутных технических станциях в пути исключается. Количество станций переработки вагонопотока при немаршрутном

отправлении, а также простой на них для каждого вагона уникальны, так как план формирования поездов учитывает мощность назначения и маршрут следования. Авторами определялись данные по корреспонденциям от Комбинатского назначения крупные припортовые станции по маршрутным и немаршрутным отправкам дальностью от 3 тыс. км до 6,8 тыс. км. Расчет производился с использованием программного комплекса СЕТЬ-3. Были выявлены высвобождающиеся на этапе продвижения станции по пути следования отправок, а также затраты времени на каждой из них для переработки вагонопотока.

Например, для назначения Крабовая при маршрутной отправке высвободится 4 станции, время в пути сократится на 43,5 часа, а Лужская – 4 и 37 часов соответственно. В целом экономия времени при доставке в отправительских маршрутах для разных назначений составит от 37 до 47 часов, а высвобождается от 4 до 5 станций от переработки вагонов в пути следования.

«Маршрутопогашение – процесс организации расформирования маршрута и его выгрузки, то есть операции от момента прибытия поезда в пункт расформирования или выгрузки до момента уборки порожних вагонов.

Маршрутопогашение предусматривает последовательность основных операций: прибытие вагонов на станцию расформирования; расформирование состава маршрута, либо отцепка первой группы; подача вагонов на места выполнения грузовых операций, либо следование оставшихся частей маршрута до станций назначения; грузовые операции; уборка (перестановка) вагонов на станцию» [3, с. 96].

Как и при формировании для станции назначения цепочка операций имеет свои характеристики затрат времени на технологические операции при различных видах отправок. В зависимости от местных условий прибывший маршрут под выгрузку может быть подан полным составом на путь необщего пользования или расформирован на станции примыкания. Например, по станции Рыбники выгрузка маршрутной отправки производится за 8,5 ч, а в случае немаршрутного прибытия простой вагонов составит17,3 ч.

Для станций массовой выгрузки, а особенно припортовых актуально прибытие под выгрузку в маршрутных составах, так как для них можно исключить на путях необщего пользования дополнительные подборки вагонов для фронтов выгрузки. Это позволяет рационально использовать инфраструктуры станций назначения за счет сокращения простоя вагонов на путях общего пользования, исключая операции с вагонами на них. На грузовых станциях массовой погрузки или выгрузки для маршрутных перевозок можно операции по приему и сдаче вагонов работниками станции и грузоотправителя или грузополучателя выполнять параллельно, т.е. пути станции проследовать без смены локомотива. Следует заметить, что затраты времени на станции назначения вагона и для разных предприятий, примыкающих к ней, рассчитываются индивидуально.

Но целесообразно рассмотреть финансовую сторону об экономической заинтересованности при формировании маршрутных составов. В Тарифном

руководстве определен порядок применения скидок на провозную плату для грузоотправителей, формирующих маршрутные отправки.

Но размер скидки зависит от тарифного расстояния для каждой корреспонденции, а экономический эффект для перевозчика и владельца инфраструктуры определяется в высвобождении от переработки вагонопотока технических станций и соответствующих затрат, связанных с технологическими операциями. Но количество переработок на технических станциях в пути следования не зависит от расстояния перевозки напрямую. Поэтому экономическая оценка в части зависящих от размеров движения затрат перевозчика не всегда прямо пропорциональна расстоянию перевозки.

На примере перевозок нефтегрузов были произведены расчеты провозной платы для различных вариантов следования вагонопотока при маршрутных и повагонных отправках. Для выбранных корреспонденций следует, что сокращение эксплуатационных затрат ОАО «РЖД» меньше, чем экономия для грузоотправителя в части предоставленной скидки за формирование отправительских маршрутов.

Но без стимулирования формирования всех видов маршрутов невозможно обеспечить рациональное использование инфраструктуры железных дорог, а также сокращения оборота вагонов. Для этого необходимо увязать его с технологией перевозочного процесса, т.е. учитывать количество станций, высвобожденных от переработки вагонопотока в пути следования маршрутного состава.

Как было определено авторами ранее «для этого целесообразно применять показатель «высвобождено вагоно-станций», который будет отражать сокращение эксплуатационных затрат железных дорог. Современные информационные системы позволят обеспечить учет этого показателя при оформлении провозных документов на грузовую перевозку. Можно установить рассчитанную для этого ставку в рублях, которая будет учитывать эксплуатационные затраты, связанные с переработкой вагонопотока, по станциям сети железных дорог и определить сокращение эксплуатационных затрат для отправительского маршрута в пути его следования.

Для этого можно применить формул, учитывающую экономию от высвобождения вагоно-станций при организации маршрутной перевозки:

$$Э = G * m * N,$$

где m – количество вагонов в маршрутном составе, ваг;

G – стоимость переработки на станции, руб.;

N – количество высвобожденных от переработки вагонопотока станций в пути следования маршрута, станций» [12, с.17].

Экономически целесообразно применять поощрительное стимулирование клиентов за высвобожденную от переработки вагонопотока станцию в пределах суммы от экономии затрат. Применив эту ставку и показатель «высвобождено вагоно-станций», можно получить размеры вознаграждения, сопоставимые с экономией от пропуска маршрутизируемого вагонопотока.

Показатель «высвобождено вагоно-станций» можно использовать и для стимулирования маршрутов других видов, например, «в расформирование» на

станции Инская и Алтайская, для высвобождения от сортировочной работы значительно загруженную станцию Новокузнецк-Восточный. Чтобы избежать нарушений плана формирования с минимизацией числа переработок часть западного вагонопотока должна направляться в поездах Инская. Предложенный порядок стимулирования позволит заинтересовать клиента в подборе вагонов путем календарного планирования для определенных станций назначения организацией маршрута «в расформирование» на установленные станции. Это можно применить и к ступенчатым маршрутам с соседних углепогрузочных станций.

Маршрутизация обеспечивает доставку груза к строго определенному времени, а это сокращает расходы на нерациональный простой вагонов в ожидании выгрузки и дополнительное складирование груза. Особенно наглядно это можно представить на работе припортовых станций, для которых учет логистического принципа «точно в срок» очень важен, так как позволяет прогнозировать резервы инфраструктуры для взаимодействия с портом.

В работе были определены сроки доставки груза от станции Комбинатская по корреспонденциям до станций Крабовая (К1), Рыбники (Р), Новороссийск (Н), Лужская (Л) Расчеты произведены по технологии работы железных дорог с помощью программы СЕТЬ-3, использована методика, отраженная в Инструктивных указаниях [13] ($Т_{тех}$), а также в соответствии с действующими Правилами перевозок грузов [13] ($Т_н$). Результаты представлены на рисунке.

Рисунок – Определение сроков доставки маршрутных корреспонденций

Следует заметить, что во всех случаях срок доставки, рассчитанный в соответствии с технологическим процессом во всех примерах меньше, чем срок доставки, определенный по Правилам перевозок $Т_н$. Несоответствие этих

сроков составляет от 3 до 6 суток, что приводит к дополнительным затратам получателей груза, связанных со складированием. С целью повышения клиентоориентированности перевозчика и реализации логистического принципа «точно в срок» имеет смысл ввести расчет срока доставки грузов по технологии.

Для минимизации эксплуатационных расходов на перевозку и дополнительное складирование, обеспечивающих эффективную работу железнодорожного транспорта, необходимо использовать прогнозирование технологического срока доставки грузов. При невыполнении срока доставки расходы перевозчика вынужденно возрастают на величину штрафов, выплачиваемых за просрочку. А сокращение оборота вагонов за счет организации всех видов маршрутов уменьшает потребность в вагонном парке, что способствует уменьшению занятости путей станций и загрузки инфраструктуры.

Изменение порядка стимулирования формирования различных видов маршрутов увеличит охват маршрутизацией перевозок массовых грузов, что ускорит доставку, повысит транзитность вагонопотока и уменьшить загрузку инфраструктуры технических станций.

В заключении следует отметить, что маршрутные перевозки выгодны всем участникам рынка. Для перевозчика снижаются затраты, связанные с выполнением технологических операций на путях общего пользования, а также появляются дополнительные гарантии по соблюдению сроков доставки грузов. Грузоотправители могут создать условия для эффективного сбыта произведенной продукции, а также для них уменьшается потребность в оборотных средствах, что в текущих экономических условиях является крайне важным для экономики предприятий. Для операторской компании возможно сокращение оборота вагона, что повышает эффективность ее работы.

Библиографический список:

1. Осьминин, А.Т. Научное обоснование направлений повышения эффективности управления перевозочным процессом / А.Т. Осьминин // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». – 2016. – № 3. – С. 28-40.

2. Панин, В.В. Маршрутизация перевозок грузов на сети железных дорог ОАО «РЖД» / В.В. Панин, Е.С. Колесникова // Железнодорожный транспорт. – 2011. – № 2. – С. 34-39.

3. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД», утв. распоряжением ОАО «РЖД», от «29» декабря 2018 г. № 2872/р, г. Москва. – 2018. – 548 с.

4. Кужель, А.Л. Сквозные технологии маршрутизации грузовых перевозок / А.Л. Кужель, И.Н. Шапкин, А.Н. Вдовин // Железнодорожный транспорт. – 2015. – № 7, – С. 14-19.

5. Сыщиков, Д.А. Оптимизация грузоперевозочного процесса посредством маршрутизации транспортных потоков / Д.А. Сыщиков, Д.А. Тарабрин, В.А. Гавриков // Вестник транспорта. – 2018. – № 10. – С. 41-44.

6. Югрина, О.П. Принципы управления вагонным парком в современных условиях / О.П. Югрина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 14-17.

7. Чечулина, Ю.А. Обоснование целесообразности отправления грузовых поездов с технической станции по твердым ниткам графика / Ю.А. Чечулина // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2014. – № 1-2. – С. 95-97.

8. Бессоненко, С.А. О вопросе рационального определения нормативных сроков доставки грузов железнодорожным транспортом / С.А. Бессоненко, Л.С. Жарикова // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2015. – № 4. – С. 19-22.

9. Бородин, А.Ф. Технология автоматизированного планирования и управления маршрутными перевозками / А.Ф. Бородин, В.В. Панин, С.Л. Щепанов, А.Л. Щепанов, Д.В. Рубцов // Железнодорожный транспорт. – 2018. – № 3, – С. 8-15.

10. Vorobyov, V. Optimization of processes in railways based on the cost management model / V. Vorobyov, A. Manakov, A. Reger, I. Tanaino // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 216 – 02009.

11. Tanaino, I. Assessment criteria for decisions in the field of rail freight transportation / I. Tanaino, O. Yugrina, L. Zharikova // MATEC Web of Conferences. – 2018. – № 216. – 02015.

12. Югрина О.П. Эффективность маршрутизации грузовых перевозок / О.П. Югрина, Ю.А. Танайно, Л.С. Жарикова // Железнодорожный транспорт. – 2020. – № 6, – С. 14-18.

13. Жарикова, Л.С. Совершенствование системы расчета элементов простоя вагонов на станциях в увязке с определением срока доставки: автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук : защищена 30.09.16 / Жарикова Лариса Сергеевна. – Екатеринбург, 2016. – 24 с.

14. Правила перевозки грузов железнодорожным транспортом. Общие требования : сб. рук. док. МПС и Минтранса России. - 5-е изд., доп. и перераб. - Екатеринбург : Урал Юр Издат, 2016. – 392 с.

УДК 625.161

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕЕЗДОВ

В.С. Невежин[1], И.А. Кутень[2]

1. Министерство транспорта и дорожного хозяйства Новосибирской области, ул. Красный проспект, 18, г. Новосибирск, 630005, Россия

2. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: данная работа посвящена разработке системы мониторинга технического состояния железнодорожных переездов. Цель исследования заключается в создании и внедрении на пересечениях железнодорожных и автомобильных дорог комплексов, позволяющих оценивать техническое состояние автоматической переездной сигнализации, а также анализировать дорожную ситуацию в зонах переездов.

Ключевые слова: железнодорожные переезды, автоматическая переездная сигнализация, мониторинг технического состояния.

CONTROL SYSTEM OF TECHNICAL CONDITION OF RAILWAY CROSSING

V.S. Nevezhin[1], I.A. Kuten[2]

1. Ministry of Transport and Roads of the Novosibirsk Region, st. Krasny prospect, 18, Novosibirsk, 630005, Russia

2. Siberian Transport University, st. Dusi Kovalchuk, 191, Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: This work is devoted to the development of a system for monitoring the technical condition of railway crossings. The purpose of the study is to create and implement complexes at the railway crossings that allow assessing the technical condition of automatic level crossing safety installation, as well as analyzing the traffic situation in crossing zones.

Key words: railway crossings, automatic level crossing safety installation, technical condition monitoring.

В настоящее время на Западно-Сибирской железной дороге эксплуатируется 762 переезда, из них 673 пересекают главные и станционные пути, 89 – расположены на подъездных путях. Количество переездов, оборудованных автоматической переездной сигнализацией составило 599 переездов или 78,6 %, 199 переездов с дежурным работником, 163 переезда оборудованы устройствами заграждения переезда (УЗП).

Рисунок 1 – Количество переездов на Западно-Сибирской железной дороге

Из общего количества переездов по категориям в зависимости от интенсивности движения поездов и транспортных средств составляют: 1 категории – 66 переездов, 2 категории – 117 переездов, 3 категории – 117 переездов, 4 категории – 462 переезда. Количество переездов по категориям показано на рисунке 2.

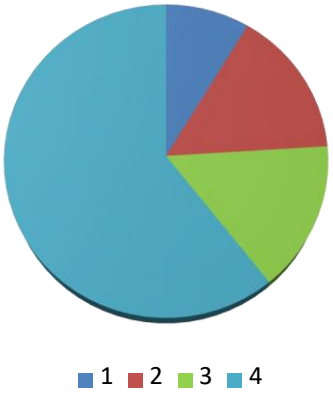


Рисунок 2 – Количество переездов по категориям

Разделение железнодорожных переездов на категории в зависимости от интенсивности движения транспортных средств показано в таблице 1.

Таблица 1 – Категории железнодорожных переездов

Интенсивность движения поездов по главному пути (суммарно в двух направлениях) поезд./сут.	Интенсивность движения транспортных средств (суммарная в двух направлениях) авт./сут.				
	до 200 включительно	201 - 1000	1001 - 3000	3001 - 7000	Более 7000
До 16 включительно, а также по всем станционным и подъездным путям	IV	IV	IV	III	II
17 - 100	IV	IV	III	II	I
101 - 200	IV	III	II	I	I
Более 200	III	II	II	I	I

За многолетний период значительно возросла суточная интенсивность движения автомобилей, увеличилось количество поездов по железной дороге с одновременным ростом скоростей движения.

В настоящее время на 20% переездов интенсивность движения превышает 7 тысяч автомобилей в сутки, достигая тысяч на магистральных федеральных дорогах в зонах влияния крупных городов.

В связи с низкой пропускной способностью пересечений автотранспортных и железных дорог на одном уровне, обусловленной частотой и длительностью закрытия переезда при высокой интенсивности движения автомобилей, формируются длинные заторы, достигая нескольких километров на подходах к переездам, что резко обостряет проблему. В этих условиях возрастает количество нарушений правил дорожного движения на переездах, что значительно увеличивает вероятность возникновения риска ДТП.

Железнодорожные переезды, оборудованные автоматической сигнализацией, функционирующие без диспетчера, являются объектами повышенной опасности, на которых железнодорожный транспорт имеет

преимущество в движении перед всеми остальными видами транспорта. Среди общего количества они составляют 79%. Согласно требованиям Приказа Министерства транспорта РФ от 31 июля 2015г. N237 "Об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов" железнодорожные переезды должны быть оборудованы системами мониторинга технического состояния. При возникновении неисправности на переезде, на ближайший диспетчерский пункт поступает сигнал, что позволяет своевременно выявить неисправность и принять решение о требуемом ремонте. Это позволяет значительно повысить уровень безопасности на таких объектах. Такие системы имеют значительный недостаток: используемое оборудование устарело. Учитываю то, что используемые системы мониторинга технического состояния монтировались в прошлом веке, передача сигнала от переезда до диспетчерского пункта требует прокладки физического кабеля. В настоящее время данные системы в большей части неисправны, так как за последние годы не уделялось должного внимания комплексному переоборудованию и ремонту. Восстановление работоспособности прежних систем практически невозможно, так как это потребует значительных затрат.

Для решения данной задачи Министерством транспорта и дорожного хозяйства Новосибирской области совместно с Сибирским государственным университетом путей сообщения была разработана Система контроля безопасного проследования железнодорожных переездов автомобильным транспортом.

В состав разработанного комплекса входят:

- модуль состояния железнодорожного переезда (МС ЖДП);
- SIM-карта формата micro-SIM с поддержкой функции GPRS;
- программное обеспечение для обработки информации.

Модуль состояния переезда монтируется непосредственно на железнодорожном переезде в щиток переездной сигнализации или релейный шкаф.

Рисунок 3 – Модуль технического состояния переезда

Основные функции предлагаемого комплекса:

1. мониторинг технического состояния железнодорожного переезда без использования физического кабеля между переездом и пунктом диспетчера;
2. контроль проезда железнодорожных переездов на запрещающий сигнал светофора транспортными средствами, оборудованными системой ГЛОНАСС (автобусы, автомобили скорой помощи и МЧС и т.д.);
3. выявление потенциально опасных железнодорожных переездов посредством анализа зафиксированных нарушений личным транспортом граждан, без установления владельцев автомобилей.

Дополнительные функции предлагаемого комплекса:

1. предупреждение водителей автомобилей, оборудованных системой ГЛОНАСС, о приближении к закрывающемуся/закрытому переезду. Данная функция реализуется с помощью технологии LoRa;
2. отображение информации в навигационных приложениях об открытых/закрытых железнодорожных переездах;
3. возможность оценки влияния железнодорожных переездов в черте города на образование заторов.

Достоинства предлагаемой системы перед существующими решениями в данной области:

- низкая стоимость;
- регистрация событий во внутренней памяти и передача в онлайн режиме на сервисы мониторинга транспорта;
- возможность настройки и перепрограммирования устройства путём загрузки новой микропрограммы (прошивки) через встроенный micro-USB разъём и удалённо через сеть GSM;
- возможность работы через протокол wialon;
- встроенный «чёрный ящик» на 100 000 записей (при отсутствии связи);
- возможность передачи данных на 4 (четыре) различных сервера сбора информации;
- три цифровых входа для фиксирования и передачи информации с различных датчиков;
- встроенные антенны GSM, ГЛОНАСС/GPS и LoRa;
- возможность установки 1 SIM-карты любого мобильного оператора для передачи данных;
- 4-х диапазонный GSM-модем;
- исполнение в жёстком пластиковом корпусе маленького размера класса защиты IP64;
- датчик вскрытия корпуса;
- диапазон рабочих температур от -40 до +85 градусов по Цельсию.

Основные технические данные оборудования представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Основные технические данные оборудования

Параметр	**Значение**
Размеры корпуса, мм	80 x 60 x 30
Степень защиты корпуса	IP64
Напряжение питания, В	9…36
Потребляемый ток, мА - в спящем режиме - в активном режиме	 1,5 40…300
Диапазон рабочих температур, °С	- 40…+85
Цифровые входы	3
Антенны GSM и ГЛОНАСС/GPS	Встроенные
Антенна LoRa	Встроенная
SIM	1 SIM карта
GSM-модем	4х диапазонный
Micro-USB	Да
Встроенный черный ящик	До 100 000 записей
Датчик вскрытия корпуса	1

В настоящее время совместно с ОАО «РЖД» проводятся активные испытания на территории Новосибирской области. С декабря 2019 г. Системой были оборудованы 11 железнодорожных переездов, разработано Программное обеспечение, оборудовано 20 автомобилей блоками ГЛОНАСС. Проводимые испытания доказали способность Системы фиксировать нарушения при проезде железнодорожного переезда автомобильным транспортном. После выявления ряда нарушений были проведены воспитательные беседы с водителями, допустившими нарушения. Дальнейшие наблюдения показали снижение количества нарушений при пересечении ЖД переездов данными водителями.

Следующим шагом стали испытания по выявлению «неисправности» или «аварии» автоматической переездной сигнализацией ЖД переезда. В августе 2020 г. были оборудованы ЖД переезды в с. Куйбышево, с. Мочище, с. Барлак и пос. Матвеевка. Проводимые испытания показали, что предлагаемая Система способна фиксировать нарушение при работе автоматической переездной сигнализации и оперативно передавать информацию на диспетчерский пункт.

При проведении испытаний был выявлен следующий недостаток: информация с модуля состояния железнодорожного переезда поступает на диспетчерский пункт со значительным запозданием, что не позволяет в режиме реального времени отследить неисправность на ЖД переездах. Это стало следствием того, что информация передавалась с модуля на пункт диспетчера с помощью Wialon-сервера, неспособного передавать информацию в режиме

реального времени. Для решения возникшей проблемы было решено перенести работу предлагаемой Системы на сервера ОАО «РЖД» и РНИЦ, это позволит сократить задержку при передаче информации до значения, равного от 3 до 15 секунд, в отдельных случаях, при плохом сигнале мобильной связи до 3 минут. В настоящее время ведутся переговоры по переносу и настройке системы на предлагаемых серверах.

Проведённые испытания показали, что при определённых доработках предлагаемая Система позволит оперативно получать информацию о техническом состоянии ЖД переезда диспетчерами ОАО «РЖД», что снизит риск возникновения аварийных ситуаций на переездах, снизить экономические затраты компании на оплату штрафов за неисправные системы мониторинга технического состояния переезда. Позволит фиксировать нарушения при проезде ЖД переездов коммерческим и муниципальным транспортом, оборудованным модулями ГЛОНАСС. Позволит выявить потенциально опасные ЖД переезды.

Библиографический список

1. Молодцов В. П. Системы диспетчерского контроля и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / В. П. Молодцов, А.А. Иванов. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2010. – 140 с.

2. Ефанов Д. В. Обеспечение безопасности движения за счет технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики / Д. В. Ефанов, П. А. Плеханов // Транспорт Урала. – 2011. – № 3. – С. 44–48.

3. Ефанов Д. В. Основы построения и принципы функционирования систем технического диагностирования и мониторинга устройств железнодорожной автоматики и телемеханики : учеб. пособие / Д. В. Ефанов, А. А. Лыков. – СПб. : Петербургский гос. ун-т путей сообщения, 2012. – 59 с.

4. ГОСТ 33893-2016. Системы железнодорожной автоматики и телемеханики на железнодорожных переездах. Требования безопасности и методы контроля = Railway automatics and telemechanics systems on railway crossings. Safety requirements and methods of checking – Введ. 2017-11-01. - М.: Стандартинформ, 2017. – 25с.

5. Приказ Министерства транспорта Российской федерации N 237 об утверждении Условий эксплуатации железнодорожных переездов от 31 июля 2015 года (электронный ресурс: http://base.garant.ru/71178536/).

УДК 004.85+004.94

РАЗРАБОТКА ТРАНСПОРТНОЙ МОДЕЛИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НА ПЕРЕКРЕСТКЕ

Р.И.Макаров[1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: в данной статье рассматривается идея применения машинного обучения в транспортном моделировании. Приводятся примеры имитационных моделей с применением машинного обучения. Статья описывает разработанную модель перекрестка с автоматическим регулированием движения с помощью искусственной нейронной сети, включает выводы и сравнение работы модели с применением машинного обучения и без него.

Ключевые слова: имитационное моделирование, транспортная модель, машинное обучение, обучение с подкреплением, искусственная нейронная сеть, программное обеспечение AnyLogic.

DEVELOPMENT OF A TRANSPORT MODEL USING AN ARTIFICIAL NEURAL NETWORK TO TRAFFIC FLOW REGULATION

R.I. Makarov[1]

1. Siberian Transport University, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: This paper describes an idea of using machine learning in transport modeling. Examples of simulation models using machine learning are given. The article presents a developed model of an intersection with automatic traffic control using an artificial neural network, includes conclusions and a comparison of the model's operation with machine learning and without this.

Key words: simulation, transport model, machine learning, reinforcement learning, artificial neural network, AnyLogic software.

Машинное обучение – научная область, находящаяся на пересечении статистики, искусственного интеллекта и компьютерных наук, также известная как прогнозная аналитика или статистическое обучение. [1] Это всё ещё относительно новое направление в мире искусственного интеллекта и находится в стадии развития. [2] В то же время имитационное моделирование в течение десятилетий регулярно используется в практике. Существует огромное количество примеров применения технологии машинного обучения в бизнесе, но не в имитационном моделировании. Поэтому алгоритмы машинного обучения начинают постепенно применять и в задачах имитационного моделирования. Одним из типов задач, для решения которых применяется имитационное моделирование, является решение транспортных проблем. Методы машинного обучения возможно применить и в транспортном моделировании для оптимизации транспортных потоков на существующем объекте.

Цель исследования – применить методы машинного обучения в транспортном моделировании для регулирования дорожного движения на перекрёстке.

Работа с имитационным моделированием включает в себя следующие этапы: создание имитационной модели, проведение экспериментов (оптимизация, варьирование параметров и т. д.), получение результатов, принятие решений в моделируемой системе. [3] Такой подход требует участия человека, который проводит эксперименты с моделью и получает от нее информацию. При машинном обучении алгоритмы (т.н. обучающиеся агенты) способны самостоятельно извлекать подходящие линии поведения и стратегии из имитируемых систем. [4]

Примером подобной модели может служить работа Muhammad M, Cihan H. [5], в которой машинное обучение используется для создания комплексной имитационной модели с участием автоматической роботизированной платформы для проверки состояния безопасности мостов. Или работа Michael L., Farazze M. [6], в которой машинное обучение используется вместе с имитационной моделью для изучения поведение выбора небольшой группы клиентов, а затем воспроизведения поведения на большем охвате населения. Объединение машинного обучения и транспортных моделей единичные случаи. Данный подход рассматривается в статьях I.Arel [7] и Lapan M [8]. Однако информации об этом слишком мало. Поэтому возникла задача разработки собственной имитационной модели. В 2019 году компания AnyLogic представила инструментарий, позволяющий объединить технологии машинного обучения и имитационное моделирование, уменьшив сложность интеграции и взаимодействия. С материалом можно ознакомиться по ссылке в пункте № 9 библиографического списка.

В данной работе была разработана упрощенная имитационная модель перекрестка Д. Ковальчук – Залесского – Д. Ковальчук с применением искусственной нейронной сети для регулировки фаз светофоров перекрестка. Модель разработана в системе AnyLogic.

Исходные данные. Область проведения моделирования включает в себя улицы, находящиеся в границах перекрестка: Д. Ковальчук – Залесского – Д. Ковальчук.

Исходными данными для моделирования являются:

– топология участков улично-дорожной сети;

– приоритетные направления движения на рассматриваемых пересечениях;

– интенсивности входящих потоков движения;

– распределение транспортных потоков в узле.

В качестве интенсивностей входящих потоков и распределений потока на узлах использовались данные обследования транспортных потоков на следующем пересечении улиц: Д. Ковальчук – Залесского – Д. Ковальчук.

Для получения данных было проведено обследование транспортных потоков с использованием видеосъемки в вечерний час пик для выявления наибольшей загруженности транспортного узла. Интенсивности в вечерний час (17.00-18.00) представлены в таблице. Также была получена сигнальная программа светофоров перекрестка (см. рис. 1).

Таблица. Пиковые интенсивности входящих и выходящих потоков

Направление	легковые авто, ед./ч
С Д. Ковальчук (СГУПС) на Залесского	1977
С Д. Ковальчук (СГУПС) на Д. Ковальчук (Калининский)	277
С Залесского на Д. Ковальчук (СГУПС)	260
С Залесского на Д. Ковальчук (Калининский)	525
С Д. Ковальчук (Калининский) на Залесского	597
С Д. Ковальчук (Калининский) на Д. Ковальчук (СГУПС)	1201

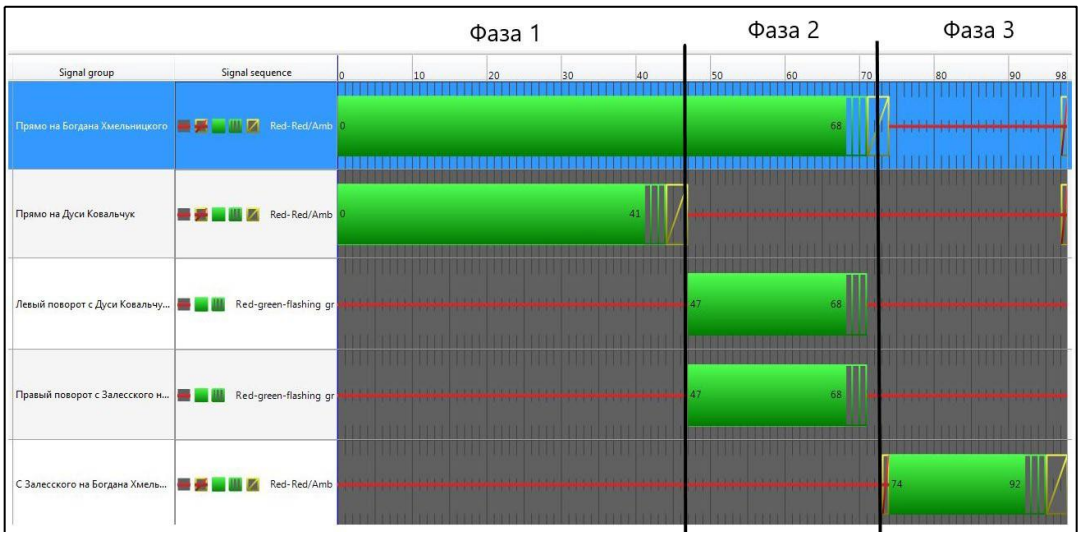


Рисунок 1 – Сигнальная программа светофоров перекрестка

Модель была упрощена, введен ряд глобальных допущений таких как: отсутствие пешеходов и автомобильных парковок, в том числе автобусных остановок.

Описание имитационной модели. Ключевой показатель эффективности (КПЭ) перекрестка определяется как среднее время, которое автомобиль находится в системе. Когда автомобиль покидает систему, его показатель эффективности записываются в общий набор данных. Это значение рассчитывается как разница между текущим модельным временем и временем появления агента в системе. Вторичным показателем эффективности является среднее время нахождения в системе за последние полчаса. Он используется для сравнения и отображения более детальных результатов.

В данной модели используется машинное обучение с подкреплением для регулировки фаз светофоров. Нейронная сеть, основываясь на КПЭ, принимает решение: оставить текущую фазу светофора активной или переключить ее. Таким образом осуществляется управление светофорами на перекрестке.

Взаимодействие нейронной сети с моделью для наблюдения текущего состояния и принятия действий основано на двух функциях.

Первая функция возвращает числовое значение и, основываясь на этом значении, выполняет некоторое действие в модели. В нашем случае агент либо ничего не сделает (если аргумент равен 0), либо переключит фазу светофора на следующую (если аргумент равен 1). Дополнительным условием является то,

что агенту не позволено обрывать желтый сигнал светофоров, так как полная желтая фаза необходима для плавного перехода.

Вторая функция суммирует информацию о перекрестке в массив из 8 элементов (см. рис. 2). Полное состояние системы обычно содержит слишком большое количество информации. Для упрощения общее состояние системы было абстрагировано до 8 чисел. Цель состоит в том, чтобы этот массив содержал достаточно информации о состоянии системы для нахождения искусственной нейронной сетью оптимальной политики. [10] Каждый из первых шести элементов (индексы от 0 до 5) представляет собой общее количество времени, проведенное в модели для всех автомобилей в данной полосе движения и в непосредственной близости от перекрестка. 7-й элемент (индекс 6) работает так же, как и первые шесть элементов, но фокусируется только на автомобилях на перекрестке. 8-й элемент (индекс 7) — это текущий индекс фазы светофора.

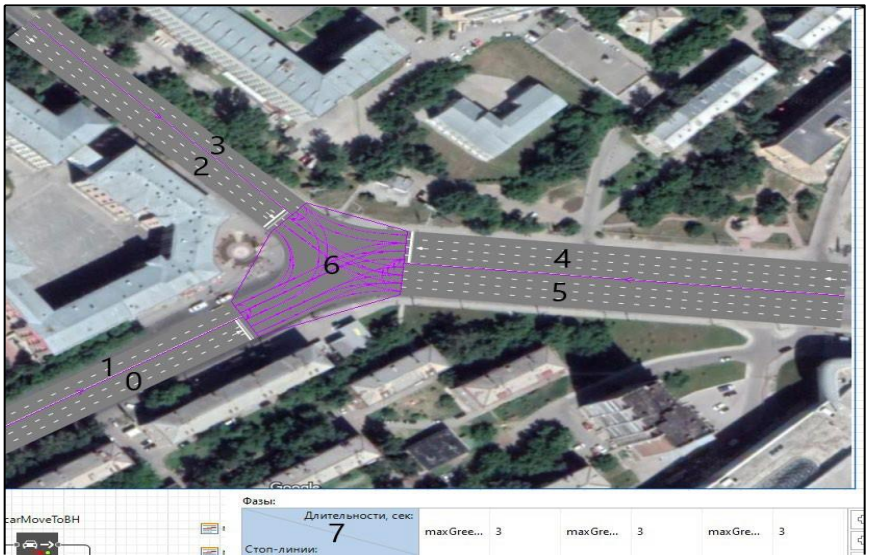


Рисунок 2 – Состояния системы

На основании наблюдений, взятых из модели до и после действия, рассчитывается вознаграждение.

Поскольку наблюдение состоит из восьми значений, входной слой имеет восемь нейронов (входной слой построен на основе размера пространства наблюдения). Сеть также имеет два скрытых слоя по 300 узлов в каждом и выходной слой с двумя нейронами. После обучения сеть сообщает, нужно ли предпринять действие или нет, основываясь на значениях, предоставленных на входном слое. Общая структура сети представляет собой простую, полностью подключенную сеть прямого распространения.

Результаты и анализ работы модели. Для получения результатов было осуществлено два запуска модели с пиковыми интенсивностями в течение двух часов: первый – с фазами светофоров, полученных при обследовании перекрестка Д. Ковальчук – Залесского – Д. Ковальчук, второй – под управлением нейронной сети (см. рис. 3).

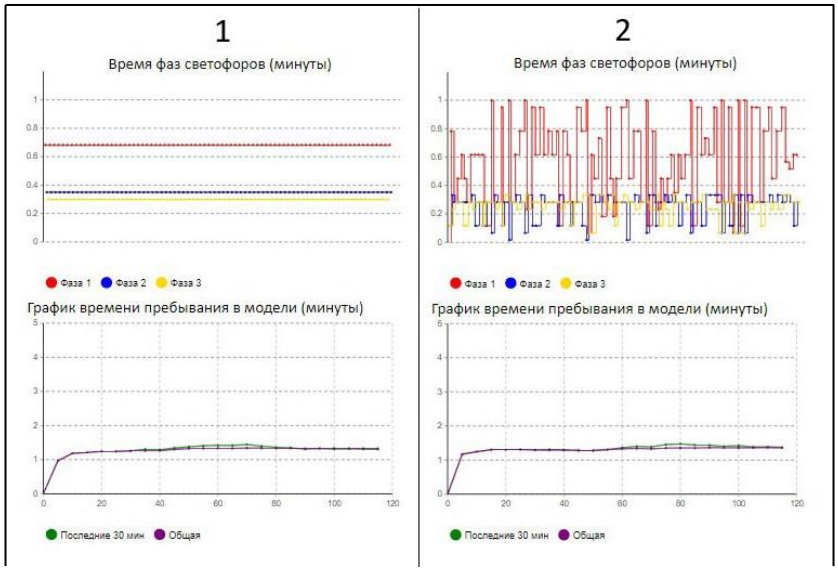


Рисунок 3 – Результат работы модели с двухчасовой пиковой нагрузкой

Среднее время нахождения автомобиля в модели в пиковое время составило 75 секунд при существующих фазах светофоров. Среднее время нахождения автомобиля в модели под управлением нейронной сети составило 78 секунд. Результат близок к существующему варианту. Фазы светофоров на перекрестке изначально оптимизированы, а значит, агент регулирует фазы светофоров с эффективностью близкой к оптимизированным фазам. Стоит отметить, что при более детальной настройке параметров обучения, можно добиться лучшего результата.

Для наглядности была проведена имитация 6 часов работы перекрестка с чередующимися пиковыми и непиковыми интенсивностями (интенсивность уменьшена в 2 раза). Таким образом была оценена эффективность модели под управлением нейронной сети на более продолжительном временном интервале с различными интенсивностями (см. рис. 4).

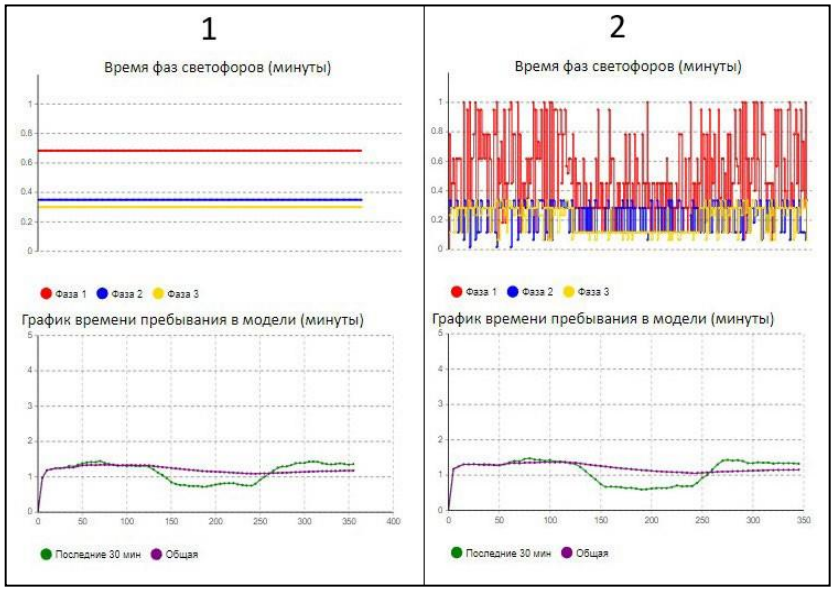


Рисунок 4 – Результат работы модели с чередующимися интенсивностями

Среднее время нахождения автомобиля в модели составило примерно 73 секунды. Среднее время нахождения автомобиля в модели под управлением нейронной сети составило 67 секунд.

В данном случае динамическое управление позволило сократить среднее время нахождения автомобиля в модели на 8.2%. Стоит учитывать, что интенсивности чередовались следующим образом: пик – слабая – пик. Во время слабой интенсивности среднее время пребывания автомобиля в модели за последние 30 минут было еще меньше, чем у существующих фаз. Большая продолжительность пиковой нагрузки в большей степени повлияла на среднее время пребывания. Результат может быть улучшен за счет корректировки процесса обучения.

Применение машинного обучения при разработке транспортных моделей позволит эффективнее оптимизировать транспортную систему и обучить нейронную сеть для ее дальнейшего применения на реальных объектах. Одним из недостатков машинного обучения является нехватка данных для обучения. Имитационные модели не имеют особых ограничений – они дёшевы и гибко настраиваются под конкретные нужды. Кроме того, модели в виртуальных средах могут воспроизводить процессы быстрее, чем они происходили бы в реальности, что экономит время и позволяет предоставить необходимое количество данных для обучения искусственной нейронной сети.

Библиографический список

1. Мюллер А., Гидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. / М.: Вильямс, 2017. — 392 с.

2. Шамин Р.В. Практическое руководство по методам машинного обучения. М.: Грин Принт. 2019. — 93 с.

3. Основы транспортного моделирования: Практическое пособие / А.Э. Горев, К. Бёттгер, А.В. Прохоров, Р.Р. Гизатуллин – СПб.: ООО «Издательство-полиграфическая компания «КОСТА», 2015. – 168с.

4. Вьюгин В.В. Математические основы машинного обучения и прогнозирования. М: МЦНМО. 2014. — 304 с.

5. Muhammad M., Daglia H. Modeling and Simulation of a Robotic Bridge Inspection System. // Procedia Computer Science. 2020. Volume 168, Pages 177-185.

6. Michael Lieder, Farazee M. A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. // Journal of Cleaner Production. 2020. Volume 258, Pages 45-57.

7. Arel L., Liu C., Urbanik T., A. Kohls A. Reinforcement learning-based multi-agent system for network traffic signal control. // IET Intelligent Transport Systems. 2010. vol. 4. no. 2. Pages 128-135.

8. Lapan M. Deep reinforcement learning hands-on: Apply modern RL methods, with deep Q-networks, value iteration, policy gradients, TRPO, AlphaGo Zero and more. P: Packt Publishing. 2018. 546 p.

9. Machine Learning and Simulation: Example and Downloads [Электронный ресурс] URL: https://www.anylogic.com/blog/machine-learning-and-simulation-example (дата обращения 10.06.2020)

10. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement learning: An introduction. / P: A Bradford Book. 2018. 322 p.

УДК 656.025.4

ПРОБЛЕМА РАЗВОЗА ГРУЗОВ В КРУПНЫХ ГОРОДАХ С УЧАСТИЕМ РАЗНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

Е. Д. Псеровская, А. П. Грефенштейн

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация. В статье обосновывается актуальность грузовых перевозок в крупных городах с участием разных видов транспорта. Предлагается для создания городской интермодальной транспортной системы использовать железнодорожные пути необщего пользования и промышленно-складскую инфраструктуру заводов и предприятий. Это позволит улучшить транспортное обеспечение районов города за счет снижения загрузки улично-дорожной сети.

Ключевые слова. Доставка, груз, заторы, пути необщего пользования, крупный город, улично-дорожная сеть.

FREIGHT DELIVERY PROBLEM WITH DIFFERENT TRANSPORT MODES IN LARGE CITIES

E. D. Pserovskaya, A. P. Grefenshtein

Siberian Transport University, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract. The article substantiates the relevance of freight delivery with different modes in large cities. It is proposed to use non-public railways and industrial and warehouse infrastructure of factories and enterprises to create an urban intermodal transport system. This will improve transport support for the city's districts by reducing the traffic load on the road network.

Keywords. Delivery, cargo, congestion, non-public railway track, large city, road network.

В настоящее время в городах России проживает подавляющее большинство населения страны. По данным Росстата, на городское население приходится 74,7 % россиян, а данный показатель по Новосибирской области равен 79,2 % [1]. Кроме того, во всем мире прогнозируется дальнейший рост городского населения и территорий крупных городов [2], при этом потребности в пассажирских и грузовых перевозках также будут пропорционально увеличиваться.

По характеру выполняемой работы грузовое движение делится на несколько групп. Это – коммунально-бытовое и торговое обслуживание населения, перевозка промышленных и строительных грузов, а также внешнее транзитное движение через город. Первые две группы рассматриваются как обязательный элемент, а третья группа к городскому транспорту отношения не имеет, поэтому транзит представляется крайне нежелательным и подлежит выводу из города.

Официальный прогноз роста объема перевозок по указанным выше группам грузового движения в Новосибирске представлен в табл. 1.

В нашей стране большинстве случаев грузы в пределах городских границ перевозятся автомобильным транспортом различной грузоподъемности в зависимости от параметров перевозимого груза (вида, количества, размера партии и т.д.) и транспортной планировки города (особенностей улиц, строений и зданий, зонирования территории и т.д).

Таблица 1. Прогноз роста объема перевозок в Новосибирске в 2030 году [3]

Вид груза	Объем перевозок, т/год	Нормы, используемые в расчете
Потребительские товары	1 525 155	850 кг/год на человека
Твердые коммунальные отходы	538 290	300 кг/год на человека
Строительные материалы	14 355 000	30 м^2 жилой площади и 10 м^2 общественно-деловой, учебной площади на 1 человека
Промышленные грузы: на железнодорожном на внутреннем водном на автомобильном	 12 266 400 807 000 24 129 300	пропорционально росту среднегодового индекса производства
Итого:	52 814 145	

По официальным данным [3], в Новосибирске приоритетные маршруты грузового автотранспорта включают в себя внутренний контур улично-дорожной сети (УДС) и все вылетные магистрали, значительно усиливая заторы на дорогах. Распределение суммарного пробега и количества грузового транспорта в потоке транспортных средств (ТС) для Новосибирска представлено в табл. 2.

Таблица 2. Суммарный объем передвижений в утренний «час пик» [3]

Подсистемы транспорта	Пробег, км	Количество, ед.
Индивидуальный транспорт	976 053	84 792
Грузовой транспорт	191 214	5 518

Особое влияние на загрузку УДС оказывает значительная доля транзита в составе потока. Отсутствие альтернативных путей (улиц и дорог) перевозки транзитных грузов усугубляет заторовые ситуации на мостах города, а также на улицах вдоль реки Оби (ул. Большевистская, Фабричная, Владимировская) на 10-15 % (актуальные характеристики условий дорожного движения приведены в табл. 3).

Описанная в статье тенденция увеличения транспортного спроса на фоне накопившихся проблем перегрузки существующей УДС требует разработки серьезных мероприятий по повышению эффективности работы городских транспортных систем при одновременном снижении негативных последствий от преимущественного использования автомобильного транспорта [4]. Как уже доказано [5, 6, 7, 8], «автомобильная зависимость» крупных городов оказывает отрицательное влияние как на качество самого процесса перевозки, так и на уровень жизни горожан.

Сегодняшние проблемы автомобильных перевозок включают в себя экологические вопросы, проблемы заторов и перегрузки улиц и дорог, а также хранения ТС, растущую высокими темпами стоимость доставки на автотранспорте, проблему нерациональной маршрутизации, низкой загрузки подвижного состава и многие другие. Этот факт обуславливает

целесообразность применения альтернативных способов перевозки по отношению к привычной классической доставке автотранспортом.

Таблица 3. Параметры элементов УДС Новосибирска [3]

Наименование элемента УДС	Min скорость, км/ч	Пиковая интенсивность, авт./ч.	Пропускная способность, авт./ч.	Коэфф. загрузки, %
Площадь Труда	5	2620	2300	114
Пл. Инженера Будагова	3	7743	6900	112
Ул. Большевистская	3	3407	3100	110
Ул. Владимировская	5	2290	2100	109
Пл. Энергетиков	5	4622	4400	105
Ул. Восход	7	2349	2350	100
Октябрьский мост	7	4606	4750	97
Димитровский мост	10	4300	4500	96
Ул. Фабричная	3	2135	2350	91
Ул. Немировича-Данченко	5	2552	2800	91
Ул. Ипподромская	10	3105	3600	86
Ул. Нарымская	7	2970	3500	85
Ул. Станционная	10	1932	2350	82
Ул. Ватутина	7	1900	2350	81
Пр. Энергетиков	10	3617	4500	80
Пр. Карла Маркса	10	1750	2200	80
Ул. Дуси Ковальчук	10	1741	2350	74
Ул. Сибиряков-Гвардейцев	10	1726	2350	73
Ул. Кирова	15	1968	3000	66
Красный Проспект	15	1923	3000	64
Ул. Станиславского	15	2505	4000	63

Развитие технологий, таких как Интернет вещей (Internet of Things), приводит к появлению в городах новых форм распределения товаров (в частности, мелкими партиями). Большое распространение уже получили доставочные пункты с боксами (постаматы). Такой способ подразумевает установку автоматических терминалов, оборудованных ящиками разного размера, предназначенных для выдачи и самостоятельного приема клиентом мелких партий груза вблизи мест проживания. Доставка в терминалы осуществляется транспортной компанией наиболее целесообразным способом: например, доставкой курьером пешим ходом, велосипедами или с использованием общественного транспорта (ОТ) и т.д. Похожая схема используется при развозе продовольственных товаров в места проживания и работы компаниями Яндекс.Еда, Delivery Club и другими.

Для особой категории мелких грузов, требующих крайне быстрых сроков доставки (медикаментов, документации, почтовой корреспонденции, продуктов питания), Юренкова Л.Р., Кучугурный А.В. [9] разработали модель аэротакси на основе квадрокоптера без управляющего участия человека в условиях большого количества препятствий. Применение аэротакси возможно при

большой загруженности транспортного потока в крупных городах и помещениях с очень большой площадью.

Таким образом, сегодня во всем мире на первый план выдвигаются новые тенденции при организации перевозок грузов, которые нашли отражение в концепциях «зеленой», «городской» и «низкоуглеродной» логистики, в концепциях «интермодальной» или «мультимодальной» транспортной системы и многих других. Для реализации концепций городским властям необязательно разрабатывать капиталоемкие проекты и строить объекты транспортной инфраструктуры, достаточно по-новому использовать уже имеющуюся инфраструктуру и ее потенциал.

Авторы [10, 11] рассматривают возможности интеграции систем грузового и пассажирского ОТ. Работы данной тематики посвящены созданию системы грузовых перевозок с использованием ОТ, решению множества практических проблем реализации таких проектов, а также определению условий, при которых целесообразно привлекать городской ОТ для грузовой деятельности. Другие работы описывают способы включения альтернативных видов транспорта (в частности, внутреннего водного [12]) в городские логистические схемы доставки грузов на примере опыта зарубежных стран. Подобные методы могут быть актуальными в приречных городах или городах с развитой инфраструктурой рельсовых видов транспорта.

Безусловно, такие решения не позволяют полностью исключить грузовые автомобили из городского движения. При этом устойчивость и эффективность работы системы транспорта крупного города обеспечивается не за счет полного отказа от автомобилей, а за счет интермодальности внутригородских перевозок. Принцип интермодальности означает объединение всех форм и способов перемещений таким образом, чтобы каждый вид транспорта или способ доставки в городе использовался на той территории (зоне города), где он наиболее эффективен в данных условиях.

Современный город включает в себя 6 основных зон: селитебную, промышленную, коммунально-складскую, внешнего транспорта, санитарно-защитную и отдыха населения [13, 14]. В специализированных городах (например, научных или курортных) возникают дополнительные зоны.

Ранее при проектировании новых городов грузообразующие и грузопоглощающие пункты располагали так, чтобы доставка грузов осуществлялась по кратчайшему пути в обход жилых районов и общественного центра города. Поэтому промышленные районы находились на периферии, а в непосредственной близости от них располагались складские территории.

В градостроительстве прошлого времени существовала тенденция выноса основных сооружений железнодорожного транспорта в промышленную зону или за пределы города. Однако в 1980-2000 гг. из-за высоких темпов роста «точечной» и «стихийной» застройки без оптимизации под транспортную работу во многих городах России зонирование территорий стало носить несколько условный характер, и основные зоны города тесно слились друг с другом и перемешались.

С одной стороны, по этой причине сегодня вывод грузовых потоков на периферию города практически невозможен. С другой стороны, многие предприятия и заводы с развитой промышленно-складской и транспортной инфраструктурой, имеющие собственные пути необщего пользования (ПНОП), оказались «внутри» города вблизи с пунктами зарождения и поглощения грузопотоков (вблизи с торговыми предприятиями). Вследствие перестройки в экономике страны после 90-х годов заводы либо закрылись, либо сузили деятельность, либо изменили род деятельности. Поэтому сегодня представляется возможным использовать в новом качестве существующие железнодорожные ПНОП и складскую инфраструктуру промышленных предприятий.

Практическая суть данного предложения состоит в том, чтобы грузы в город прибывали большими партиями на специальные склады. В литературе для обозначения таких складских объектов употребляются следующие термины:

1) городские центры консолидации,
2) городские центры распределения,
3) логистические товарораспределительные центры,
4) городские терминалы и т.д.

Предлагаемая схема доставки графически изображена на рис. 1.

Рисунок 1 Канал распределения с использованием подсетей ПНОП

Рисунок 2 Схема путей сообщения новосибирского транспортного узла

Складские объекты промышленных предприятий могут использоваться как городские центры-терминалы (см. выше). Прибывающие по железнодорожным путям общего (ПОП) и необщего пользования грузы перерабатываются в терминалах, и только затем доставляются потребителю определенным транспортом (в том числе автомобильным), маршрутом и размером партии [15].

На рис.2 представлена схема путей сообщения в Новосибирском транспортном узле. Рисунок иллюстрирует, что железные дороги общего пользования дублируют вылетные магистрали, а ПНОП связывают железнодорожную сеть с грузопоглащающими пунктами на территории города. При этом в северо-восточной части (Калининский и Заельцовский районы) железнодорожные ПНОП проложены вблизи крупных торговых точек: «Лента», «Леруа Мерлен», «Колорлон», «Ашан Сити», «Большая медведица» и т.д. Кроме развоза промышленных товаров, по путям могут доставляться грузы для строительства жилых комплексов, которые активно возводятся на рассматриваемой территории.

Описанная в статье модель городского распределения грузопотоков создаст возможность более эффективного транспортного обеспечения новых или существующих зон городской застройки вблизи рассматриваемых промзон с точки зрения снижения загрузки УДС. В дальнейшем необходимо определить условия, при которых описанный метод доставки товаров и грузов с использованием железнодорожных ПНОП промышленных предприятий будет эффективен.

Библиографический список

1. Доля городского населения в общей численности населения на 1 января // Информационно-вычислительная система Федеральной службы государственной статистики. Режим доступа: https://showdata.gks.ru/report/278932/ (дата обращения: 12.08.2020).

2. World Population Prospects 2019: Highlights // United Nations. 2019. 39 p. Режим доступа: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf (дата обращения 15.08.2020).

3. Программа комплексного развития транспортной инфраструктуры города Новосибирска на 2018 – 2030 годы // Решение совета депутатов города Новосибирска 26.09.2018 N 660. Режим доступа: https://novo-sibirsk.ru/upload/iblock/8c8/kprti.pdf (дата обращения 16.08.2020).

4. Якимов М. Р. Научная методология формирования эффективной транспортной системы крупного города: автореферат дис. док. тех. наук: 05.22.01. Москва, 2011. 49 с.

5. Вучик В.Р. Транспорт в городах, удобных для жизни / пер. с англ. А.К Алинина под научн. ред. М. Блинкина. М.: Издательский дом «Территория будущего», 2011. 576 с.

6. Pavlov, S., Rebrova, A. Improvement of methods of expediency assessment with regard to dedicated traffic lane establishing in large cities // Transportation Research Procedia. 2018. Vol. 36. Pp. 556-561.

7. Сыздыкбаева Б. У., Раимбеков Ж. С., Сейдуалин Д. А. Организация грузовых перевозок в системе городской логистики товародвижения: зарубежный опыт // Бюллетень науки и практики. 2018. № 7. Т. 4. С. 388-398.

8. Грефештейн А.П. К вопросу о совершенствовании процесса грузовых перевозок в крупных городах // Молодежная наука: труды XXIV Всероссийской студенческой научно-практической конференции (г. Красноярск, 17.04.2020 г.): в 4-х томах / редкол.: В.С. Ратушняк (отв. ред.) [и др.]; КрИЖТ ИрГУПС. Т. 1. Красноярск: КрИЖТ ИрГУПС, 2020. С. 39-43.

9. Юренкова Л.Р., Кучугурный А.В. Транспорт будущего. Аэротакси для перевозки грузов // Главный механик. М.: Издательский дом «Панорама», 2020. № 1. С. 52-55.

10. A. Galkin, T. Schlosser, O. Galkina, D. Hodáková, S. Cápayová Investigating using Urban Public Transport For Freight Deliveries // Transportation Research Procedia. 2019. Vol. 39. Pp. 64-73.

11. M. Jacyna, E. Szczepański Holistic Approach To The Ecological Cargo Distribution In Urban Areas With The Use Of Multi-modal Transport // Urban Transport XIX. 2013. Vol. 130. Pp. 53-65.

12. Курбатова Е.С. Зарубежный опыт организации перевозок грузов внутренним водным транспортом в приречных городах // Экономика: проблемы, решения и перспективы. 2018. С. 93-96.

13. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. М.: Транспорт, 1990. 240 с.

14. Фишельсон М. С. Транспортная планировка городов: Учеб. пособие для студ. авт.-дор. спец. вузов. М.: Высш. шк., 1985. 239 с.

15. Псеровская, Е. Д., Ким. А.С. Исследование потребительского спроса при формировании пакета транспортных услуг // Вестник транспорта Поволжья. 2020. № 5 (77). С. 77-85.

УДК 656.033

ПРОБЛЕМЫ ЛОГИСТИКИ ПЕРЕВОЗКИ СКОРОПОРТЯЩИХСЯ ГРУЗОВ В РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

М.А. Зачешигрива[1], И.О. Тесленко[1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: в работе выполнен анализ структуры и объемов грузопотоков скоропортящихся грузов, выявлены основные проблемы, влияющие на объемы структуру железнодорожных перевозок. Разработаны предложения по повышению конкурентоспособности железнодорожного транспорта при перевозке скоропортящихся грузов.

Ключевые слова: скоропортящиеся грузы, проблемы перевозки, технические средства, тариф, срок доставки, логистические схемы перевозки.

PROBLEMS OF LOGISTICS FOR TRANSPORTATION OF PERISHABLE GOODS IN THE RUSSIAN FEDERATION

M.A. Zacheshigriva, I.O. Teslenko

1. Siberian State Transport University, 191 Dusi Kovalchuk, Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The paper analyzes the structure and volumes of perishable cargo flows, identifies the main problems affecting the volume of the structure of railway transportation. Proposals have been developed to improve the competitiveness of rail transport in the transportation of perishable goods.

Key words: perishable goods, transportation problems, technical means, tariff, delivery time, logistic transportation schemes.

В 2010 году указом президента была утверждена «Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации»:

«Стратегической целью продовольственной безопасности является обеспечение населения страны безопасной сельскохозяйственной продукцией, рыбной и иной продукцией из водных биоресурсов и продовольствием» [1].

Следовательно, необходимо развитие транспортно-логистической инфраструктуры доставки скоропортящейся продукции, а также совершенствование системы управления транспортировкой.

Необходимо отметить что на транспортно-логистическом рынке доставки скоропортящихся продуктов в РФ существует высокий уровень конкуренции из-за большого количества операторов как автомобильного, так и железнодорожного подвижного состава (ПС), причем в рамках как одного, так и разных видов транспорта. «Такая рыночная ситуация требует от компаний-перевозчиков предоставления клиентам качественного сервиса по приемлемой цене, для того чтобы эти компании могли удержать свои позиции. Для того чтобы сочетать высокое качество предоставляемых услуг и низкие издержки на его поддержание, необходимо максимально эффективно использовать имеющуюся транспортную инфраструктуру» [2].

Особенно остро эта проблема стоит перед компаниями, специализирующимися на работе в сегменте железнодорожных перевозок. Как отмечают специалисты Ассоциация операторов рефрижераторного подвижного

состава «доля железнодорожного транспорта в перевозках СПГ составляет около 12%, доля автотранспорта около 88%. За 2007-2019 гг. объем перевозок скоропортящейся продукции железнодорожным транспортом сократился на 37%. Положительная динамика перевозки СПГ на железной дороге наблюдается только в сегменте контейнерных перевозок. Объем перевозок в рефрижераторных контейнерах рос с 2001 по 2019 год в двухзначном темпе прироста» [3]. При этом механизм доставки населению качественного продовольствия можно отработать благодаря грамотно отлаженной системе железнодорожных перевозок.

К основным условиям, способствующим правильной логистике скоропортящихся грузов, а именно их доставке в назначенные пункты, в назначено время, в целости и сохранности, можно отнести:

- правильную подготовку груза отправителем к транспортировке (доброкачественный груз в стандартной таре и упаковке);
- использование для перевозки исправных транспортных средств и соблюдение требований по укладки груз в транспортные средства;
- неукоснительное соблюдение условий перевозки и ускоренное продвижение грузопотока СПГ [4].

Анализ нормативно-правовых документов, регламентирующих перевозку СПГ на железнодорожном и автомобильном транспорте, свидетельствует о большом количестве одинаковых условий. Общие требования, которые необходимо соблюдать при перевозке скоропортящихся грузов наземными видами транспорта том числе при перевозке в контейнерах. Так же необходимо отметить что железнодорожные перевозки, в том числе в контейнерах в значительной мере зарегламентированы, а автотранспортом выполняются на договорной основе между перевозчиком и грузовладельцем.

На основании данных Стратегии развития рынка перевозок скоропортящихся грузов (ЦМР) до 2025 г парк изотермических вагонов сокращается по причине окончания срока службы. На сегодняшний день текущий парк состоит из 5785 изотермических вагонов [5].

В настоящее время, в связи с сокращением парка железнодорожных изотермических вагонов перспективным направлением является контейнеризация перевозок ГТСТР. По данным АСОРПС текущий парк рефрижераторных контейнеров составляет 7053 контейнера [5].

Формирование и применение тарифов является одним из центральных вопросов коммерческой деятельности транспортного предприятия.

«Анализ практики работы автотранспортных предприятий позволяет указать следующие основные подходы к практическому установлению цен на услуги, связанные с перевозками грузов:

1) подход на основе сложившегося уровня текущих цен;
2) подход на основе установления наценки к себестоимости (издержки плюс прибыль);
3) подход на основе достижения расчетной целевой прибыли;
4) подход на основе платежеспособности потребителя или группы потребителей». [6]

Расчет платы за перевозку груза автотранспортом на основе установления наценки к себестоимости может быть произведен по формуле:

$$T=C_З+BC_ч+PC_{т\cdot км}, \quad (1)$$

где T – тарифная плата; $C_З$ – тарифная ставка платы за заказ; B – время пребывания автомобиля у клиента; $C_ч$ – тарифная ставка платы за один час пребывания под погрузкой или разгрузкой; P – объем выполненной транспортной работы; $C_{т\cdot км}$ – тарифная ставка платы за один тонно-километр для груза данного класса.

При этом переменные расходы $C_{ткм}$, руб/км, рассчитываются по формуле 5.2:

$$C_{ткм} = Z^{км}_{т} + Z^{км}_{см} + Z^{км}_{ш} + Z^{км}_{рф} + Z^{км}_{фот} + Z^{км}_{аморт} + Z^{км}_{платон}, \quad (2)$$

где $Z^{км}_{т}$ – норматив переменных затрат на топливо, руб/км; $Z^{км}_{см}$ – норматив затрат на смазочные материалы, руб/км; $Z^{км}_{ш}$ – норматив затрат на шины, руб/км; $Z^{км}_{фот}$ – норматив переменных затрат на оплату труда водителя, руб/км; $Z^{км}_{аморт}$ – затраты на амортизацию транспортного средства, руб/км; $Z^{км}_{платон}$ – плата по системе «Платон».

Стоимость железнодорожной перевозки груза в контейнере складывается из нескольких составляющих, которые можно выразить следующей формулой:

$$C^{жд}_{О} = C^{погр}_{нк} + П_{И} + (ЗЗ^{пс}_{а} + ЗЗ^{тм}_{а}) + C^{выгр}_{нк} \quad (3)$$

где $C^{погр}_{нк}$, $C^{выгр}_{нк}$ – стоимость начальных, конечных операций на станциях погрузки/выгрузки, руб; $П_{И}$ – стоимость перевозки контейнера с грузом на вагоне по железной дороге, руб; $ЗЗ^{пс}_{а}$, $ЗЗ^{тм}_{а}$ – стоимость предоставления подвижного состава, транспортного модуля.

Стоимость начальных, конечных операций на станциях погрузки/выгрузки контейнера определяется как сумма дополнительных сборов включая терминальное обслуживание и автодоставку контейнера от/до склада клиента. Величина сборов определяется по прайсам соответствующего контейнерного терминала. При определении этих ставок необходимо учитывать род груза, тип контейнера, местоположение клиента и др. особенности конкретной перевозки.

Стоимость перевозки контейнера с грузом на вагоне по железной дороге определяется по правилам, установленным для соответствующего типа перевозки Прейскурантом №10-01. [7]

Тарифы на автомобильном транспорте учитывают большое количество факторов, являются гибкими и позволяют подстраивать систему тарификации под наиболее удобные условия для всех участников перевозочного процесса.

Тарифы на железнодорожные перевозки в части стоимости услуг инфраструктуры четко регламентированы и не подлежат изменению. Элемент рыночной составляющей присутствует в оплате аренды за подвижной состав и контейнер, а также при оплате терминального обслуживания и автодоставке на первой и последней миле.

Для сравнения затрат на транспортировку был выбран груз 2 класса загрузка автомобиля 19 т. Перевозка автотранспортом осуществляется рефрижераторной еврофурой.

Так же для сравнения была определена фактическая стоимость перевозки ГТСТР в выделенном автомобиле на соответствующее расстояния транспортной компанией «Деловые линии». С использование калькулятора, приведенного на сайте компании.

Железнодорожным транспортом для сравнения выбран вариант перевозки в контейнерах 40-футов на платформе (сцеп с дизель-электростанцией) с разным количеством контейнеров.

По результатам расчетов провозной платы построены графические зависимости рисунок 1.

По данным графика можно сделать вывод, что железнодорожный транспорт в прямом сообщении может конкурировать с атоперевозчиками при перевозке скоропортящихся грузов на расстояние свыше 1500 км, а при условии попутного груза в обратном направлении с 1000 км.

Вторым фактором, влияющим на логистику доставки скоропортящихся грузов, является срок доставки груза.

Для оценки конкурентоспособности железнодорожных перевозчиков по данному критерию определим совокупные затраты на доставку на примере перевозки на направлении Новосибирск – Красноярск. Расчет производился по вариантам:

1) мультимодальная перевозка с использованием железнодорожного транспорта для межтерминальной корреспонденции с автодоставкой на первой и последней миле;

2) унимодальная перевозка «от двери до двери» с использованием рефрижераторной еврофуры.

Результаты расчета по элементам логистической цепи показаны на рисунке 2.

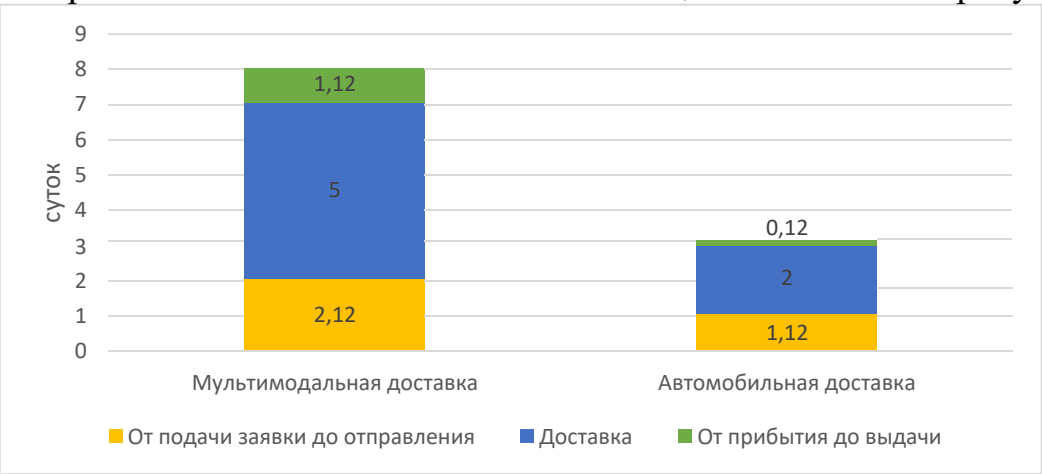
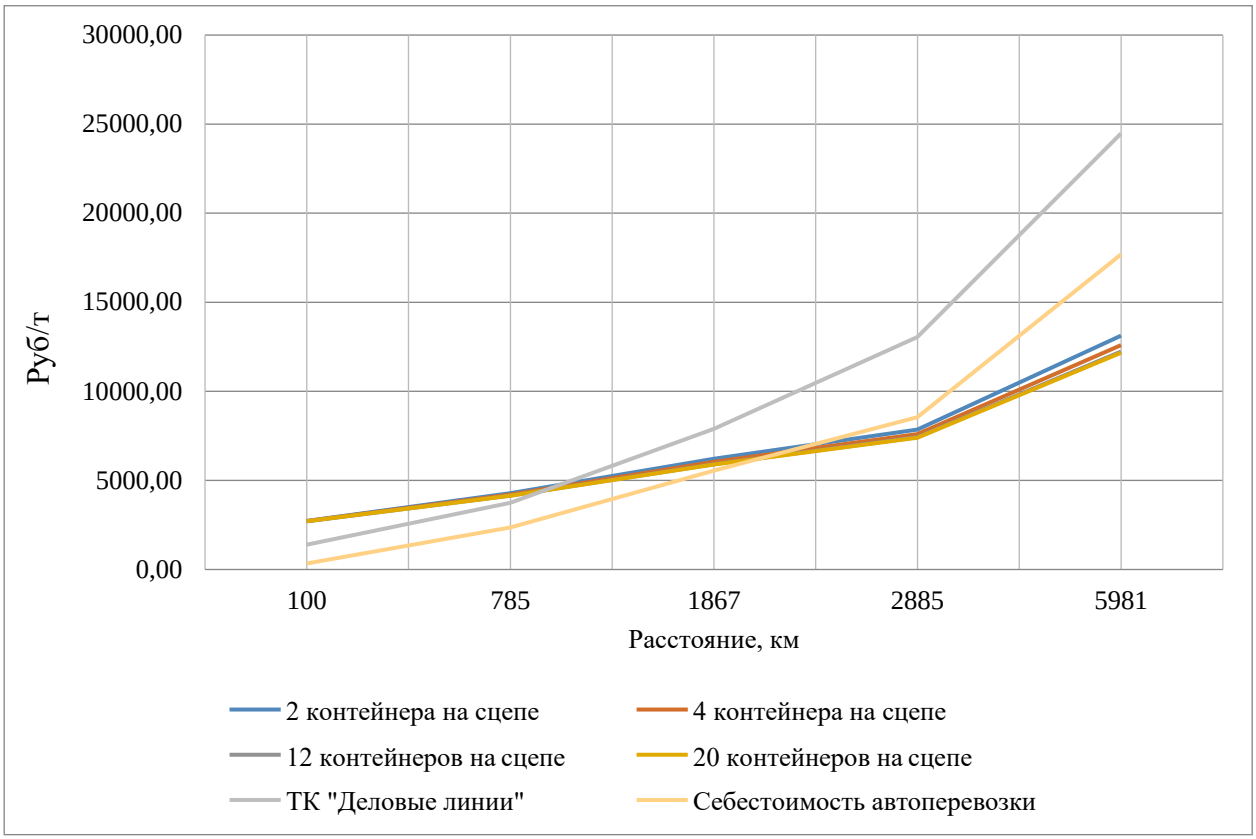
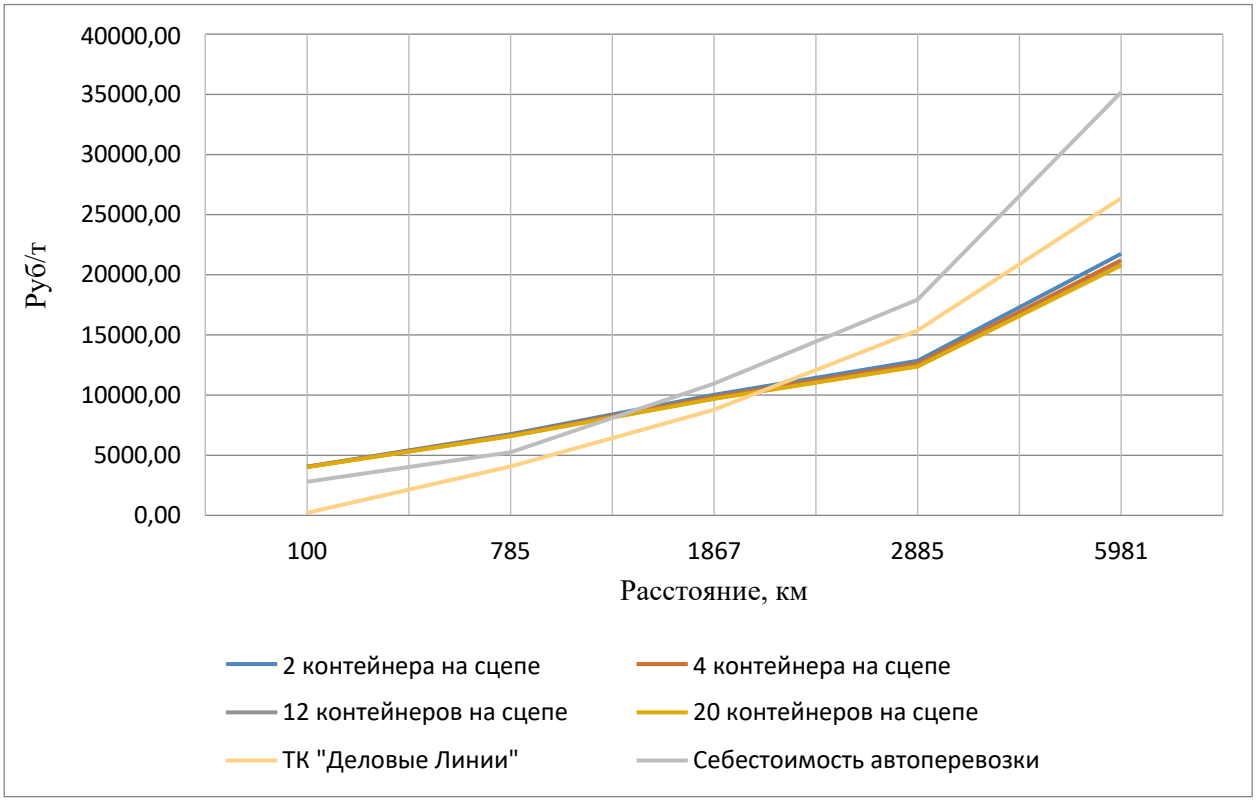


Рисунок 2 – Временные затраты на доставку груза по вариантам доставки

По совокупности произведенных расчетов можно отметить что основным недостатком при мультимодальной доставке являются значительные временные затраты, что приводит к увеличению финансовых затрат на перевозку и не позволяет конкурировать с автодоставкой.



а) груженый рейс



б) груженный + порожний рейс

Рисунок 1 – Провозная плата за груженый и порожний рейс на железнодорожном и автомобильном транспорте в зависимости от дальности следования и количества контейнеров на сцепе в местном сообщении

На основании выполненного анализа тарифов на перевозку и расчета фактических временных затрат по вариантам можно рекомендовать следующие мероприятия:

1. При перевозке на сцепе осуществлять доставку комплектами от 4 до 10 шт. Дальнейшее увеличение числа КРК не дает ощутимой разницы в тарифе, но может приводить к серьезным временным потерям;
2. Для перевозки по железной дороге лучше всего использовать контейнера длиною 40-футов;
3. Регулировать ставки арендной платы за КРК и вагоны для их перевозки;
4. Осуществлять подбор терминалов для перегрузки для снижения расходов на терминальное обслуживание.
5. Необходимо стремиться к сбалансированности рейсов, что повышает конкурентоспособность железнодорожной перевозки. Для исключения порожнего пробега КРК возможна погрузка нескоропортящихся продовольственных товаров, а так же непродовольственных тарно-штучных грузов не оказывающих вредного влияния на внутреннее оборудование;
6. Для снижения затрат времени на накопление сцепа, возможно постановка на свободные места универсальных крупнотоннажных контейнеров;
7. При передаче с одного вида транспорта на другой планировать работу по прямому варианту минуя площадку;
8. Так же необходимо решать вопросы сокращения времени в пути за счет организации ускоренных контейнерных поездов, либо Грузовых экспрессов.

Библиографический список

1. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации. /Аналитическая статья. //[Электронный ресурс]: – Экспертно-аналитический центр агробизнеса. - URL: https://ab-centre.ru (дата обращения 20.08.2020 г.).
2. Борисова, Л. А. Проблемы и решения в логистике перевозок скоропортящихся грузов на российском транспортном рынке / Борисова Л. А. // Логистика сегодня. – 2015. – № 6(72). – С. 360-376.
3. Анализ перевозок СПГ / Статьи и аналитические материалы АСОРПС. [Электронный ресурс]: – Ассоциация операторов рефрижераторного подвижного состава. - URL: http://asorps.ru/stati-i-analiticheskiye-materialy-asorps (дата обращения 10.08.2020 г.).
4. Низамова, Д.Е. Особенности транспортировки скоропортящихся грузов. / Д.Е. Низамова // Логистические системы в глобальной экономике – 2016. – №6. – С. 501-505. То же [Электронный ресурс] URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=25904634 (дата обращения 10.08.2020 г.)
5. Стратегии развития рынка перевозок скоропортящихся грузов (целевая модель рынка) до 2025 года (ЦМР СПГ 2025). [Электронный ресурс] // Институт исследования проблем железнодорожного транспорта *URL:* http://iizd.ru/category/issledovaniya/ (дата обращения: 10.09.2020 г.).

6. Стринковская, А.С. Цены и ценообразование на транспорте: учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2010. − 193 с.

7. Постановление ФЭК России от 17.06.2003 N 47-т/5 (ред. от 15.11.2018) "Об утверждении Прейскуранта N 10-01 "Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами" (Тарифное руководство N 1, часть 1,2)" (Зарегистрировано в Минюсте России 09.07.2003 N 4882) //[Электронный ресурс] – Доступ из СПС «КонсультантПлюс» (дата обращения 15.09.2020 г.)

УДК 378.4

РАСШИРЕНИЕ МЕХАНИЗМОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ НАУКИ, ОБРАЗОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ УПРАВЛЕНИЯ ОТРАСЛЕВЫМИ ЗНАНИЯМИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВИЗАЦИИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ОТРАСЛИ

И. С. Волегжанина

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: В статье обосновывается необходимость согласования педагогических концепций и технологий с современной концепцией управления знаниями и технологиями искусственного интеллекта в условиях цифровизации железнодорожной отрасли. Предлагается идея создания системы управления отраслевыми знаниями на основе онтологий, позволяющая расширить существующие механизмы взаимодействия современных университетов путей сообщения и крупнейшего работодателя РФ – ОАО «РЖД». Описывается инструментарий системы управления отраслевыми знаниями, разработанный коллективом НИЛ «Информационные технологии транспорта» СГУПС (Новосибирск).

Ключевые слова: железнодорожная отрасль, отраслевые знания, система управления знаниями, отраслевой вуз, онтологии.

EXPANSION OF MECHANISMS OF SCIENCE, EDUCATION AND INDUSTRY INTERACTION BASED ON INDUSTRY-RELATED KNOWLEDGE MANAGEMENT UNDER CONDITIONS OF RAILWAY INDUSTRY DIGITALIZATION

I. S. Volegzhanina[1]

1. Siberian Transport University, 191, Dusya Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The article justifies the need to coordinate pedagogical concepts and technologies with the modern knowledge management concept and artificial intelligence technologies under the conditions of railway industry digitalization. The idea of developing an industry-related knowledge management system based on ontologies is proposed to expand the existing mechanisms of interaction between modern railway engineering and transport universities and the largest employer of the Russian Federation – JSC "Russian Railways". The tools of the industry-related knowledge management system developed by the team of the Transport Information Technologies research laboratory in the Siberian Transport University (Novosibirsk) are described.

Key words: railway industry, industry-related knowledge, knowledge management system, industry-related university, ontology.

Важным направлением активного научного интереса в последние годы, о чем свидетельствуют публикации отечественных и зарубежных ученых, являются исследования, посвященные проблеме цифровых трансформаций в различных отраслях производства как логического следствия цифровой экономики и формирования экономики знаний. Показательным примером является железнодорожный транспорт. Авторами научных публикаций по теме создания «умной» (Smart) транспортной инфраструктуры отмечается, что цифровые системы на железнодорожном транспорте, известные сегодня как «цифровые железные дороги» (ЦЖД), кардинально изменили возможности

отрасли и содержание деятельности занятых в ней сотрудников [1; 2; 3]. Можно констатировать, что феномен ЦЖД связан с экономикой знаний, управлением знаниями и технологиями работы со знаниями [4], что определяет многие особенности ЦЖД и направления трансформаций в отрасли.

Изложенное актуализировало научную проблему повышения качества профессиональной подготовки будущих кадров железнодорожного транспорта на базе отраслевых вузов, решение которой, по мнению авторов статьи, потребует согласования педагогических концепций и технологий с инновационными концепциями и технологиями, реализуемыми в отрасли. В частности, с концепцией управления знаниями и соответствующими методами, стандартами и технологиями искусственного интеллекта.

Следует отметить, что управление знаниями признается важнейшим видом деятельности в отраслевых корпорациях и является индикатором их зрелости. Внедрение систем управления знаниями позволяет повторное использование экспертных знаний для решения первоочередных задач отрасли, в том числе профессиональной подготовки кадров. Системы управления знаниями уже реализованы многими ведущими отечественными работодателями – ОАО «РЖД», ГК «Росатом», ПАО «Газпром» и др. Цифровизация знаний, безусловно, затрагивает отраслевые вузы, поскольку содержание профессиональной подготовки будущих отраслевых кадров непосредственно связано с предметными знаниями. Таким образом, в статье предлагается идея разработки системы управления знаниями на основе методов и технологий искусственного интеллекта, позволяющей расширить и обогатить существующие механизмы взаимодействия современных университетов путей сообщения и крупнейшего работодателя РФ – ОАО «РЖД», имеющих исторически тесную связь через образовательную и научно-исследовательскую деятельность [5].

Анализ научной литературы и существующей практики взаимодействия работодателей и вузов позволил выделить следующие основные механизмы, реализация которых направлена на повышение качества результата профессиональной подготовки выпускников:

1. Административные, предполагающие участие работодателей в образовательном процессе вуза и оценке качества результата подготовки выпускников (привлечение представителей производства к разработке и модернизации образовательных программ, преподавательской деятельности, мониторингу качества образовательной деятельности в рамках компетентностного подхода, разработке адаптационных программ выпускников на предприятиях, проектному обучению и др.) [6].

2. Социальное партнерство на основе договоренностей заинтересованных организаций (совместная инновационная деятельность, договоры о стратегическом партнерстве, создание кластеров «школа – вуз – предприятие», научно-образовательно-производственных комплексов и других подобных объединений) [7].

3. Финансово-экономические, связанные с целевой подготовкой студентов, материальной поддержкой инновационных научно-методических решений через различные конкурсы, премии, гранты и т.д.

4. Юридические, показательным примером которых является ведомственное управление вузами, представляющими собой специализированные университетские комплексы многоуровневой подготовки инженерных кадров, которые характеризует исторически сложившаяся система взаимосвязей с конкретными отраслями производства.

Формирование экономики знаний активизировало поиск перспективных механизмов взаимодействия науки, образования и производства в совместной деятельности заинтересованных организаций (стейкхолдеров) по генерации новых знаний. В основу данного направления исследований полагается идея о том, что знания (интеллектуальный капитал, нематериальные активы) в экономике нового типа становятся основным источником богатства и главным фактором приобретения конкурентных преимуществ субъектами экономических отношений (и вузы не являются исключением). Отсюда становится возможным говорить о виртуальном аналоге отраслевого научно-образовательно-производственного комплекса, взаимодействие участников которого осуществляется посредством системы управления знаниями особого рода – *отраслевыми*. Такие знания находятся в интеллектуальном поле отрасли, возникающем при обмене информацией между всеми связанными с этой отраслью коммерческими и некоммерческими организациями, включая вузы. В состав отраслевых знаний, исходя из целевой направленности, включены корпоративные (направлены на решение коммерческих задач), фундаментальные (необходимы для решения прикладных научных, технологических и управленческих задач в отрасли), общепрофессиональные (ориентированы на профессии определенной отрасли и являются инвариантными для всех должностей) и узкоспециализированные (используются для решения производственных задач в областях, специфичных для конкретной отрасли) знания. Формирование понятия «отраслевые знания» описывается, например, в монографии [8].

Новизна предлагаемого решения раскрыта в более ранних работах авторов статьи [5; 9] и заключается в том, что в системе управления знаниями отраслевого научно-образовательно-производственного комплекса выделяется *интегрированный жизненный цикл знаний*, не замыкающийся на отраслевой корпорации. В этот цикл вовлекаются отраслевые вузы, где осуществляются не только воспроизводство и трансляция знаний, но и другие процессы жизненного цикла – извлечение, представление, обогащение знаний и пр. Интегрированный жизненный цикл отраслевых знаний характеризуется открытостью – он может синхронизироваться с жизненными циклами знаний других заинтересованных участников (учредителя, отечественных и зарубежных партнеров отрасли).

Важным эффектом реализации предложенного механизма взаимодействия в системе «отрасль – отраслевые вузы» является формирование интегративного ресурсного потенциала, который в совместной

деятельности студентов, преподавателей, экспертов от науки и производства преобразуется в ценный нематериальный ресурс – отраслевые знания. Отраслевые знания хранятся в *открытой базе знаний* в форме предметных онтологий и посредством портала знаний используются в реальном процессе обучения как основа для формирования у обучающихся критически важных для отрасли компетенций. Специфика открытой базы знаний отраслевого научно-образовательно-производственного комплекса определяется стандартизацией ее контента в формате *онтологий*, которые одобрены ISO/IEC в качестве международного стандарта репрезентации знаний для ряда отраслей материального производства и e-learning. Открытая (распределенная и разделяемая) база знаний предназначена для согласования и актуализации содержания реальной профессиональной деятельности и содержания профессиональной подготовки будущих кадров железнодорожного транспорта.

В статье [9, С. 16–17] изложено следующее обоснование: «Знания в форме онтологических шаблонов могут применяться в отрасли и способствовать повышению качества управления бизнес-процессами, в том числе с использованием искусственных интеллектуальных агентов. Такой подход видится адекватным в контексте цифровых трансформаций. При этом появляется возможность создания мультиагентной корпоративной среды на основе искусственных интеллектуальных ролевых агентов для поддержки деятельности персонала в рамках своих должностных обязанностей. Аналогичные «пакеты знаний» отдаются в образование, где полагаются в основу дидактического инструментария, используемого в процессе подготовки отраслевых кадров. Технологии Semantic Web позволяют разрабатывать системы дистанционного обучения, основанные на онтологиях, в которых поддержка процесса подготовки, переподготовки и повышения квалификации работников отрасли осуществляется искусственными интеллектуальными тьюторами. Тем самым содержание обучения сотрудника встраивается в тот бизнес-процесс, участником которого он является или будет являться. В результате повышается качество, с одной стороны, учебного контента, а с другой стороны, управления процессом обучения».

Очевидно, что реализация предложенного механизма взаимодействия отрасли и отраслевых вузов предполагает организацию системного управления знаниями. Как показывают результаты анализа научной литературы и существующего опыта, ответственность за реализацию процессов управления знаниями несет специально создаваемое организационное звено – *центр управления знаниями*. Такой центр создается на базе отраслевого вуза, рассматривается системообразующим элементом в структуре отраслевого научно-образовательно-производственного комплекса, организует, координирует и регулирует совместную деятельность его участников.

Помимо центра управления знаниями, необходимо создать инструментарий работы с онтологическим контентом, в том числе портал знаний, позволяющий доступ к открытой базе отраслевых знаний различным категориям пользователей. Определенные шаги в обозначенном направлении были предприняты коллективом научно-исследовательской лаборатории

«Информационные технологии транспорта» Сибирского государственного университета путей сообщения (г. Новосибирск). В частности, по заказу Учебно-методического центра по образованию на железнодорожном транспорте (гос. контракт № 30/16 от 30.05.2016) разработан прототип портала знаний, представляющего собой мультиязычную электронную среду обучения на основе онтологий, которая является сервером системы открытого образования [10]. Созданы средства совместной разработки, актуализации и управления контентом открытой базы отраслевых знаний в форме онтологий: диаграмма последовательности действий ролей, участвующих в этих процессах; версия контролируемого русского языка, позволяющая создание онтологий авторами, не владеющими английским языком и не имеющими навыков программирования; методика представления знаний на данном варианте контролируемого русского языка.

Анализ практики применения инновационных научно-методических решений в вузах позволил предположить, что использование названных разработок в реальной образовательной практике может вызывать различного рода сложности, снятие которых потребует постоянного технико-методического сопровождения пользователей. *Технико-методическое сопровождение* рассматривается, с одной стороны, как совокупность методических разработок, предназначенных преподавателям, обучающимся, представителям науки и производства, в которых содержится вся необходимая информация по практическому использованию системы управления отраслевыми знаниями, а с другой стороны, как процесс оказания постоянной консультационной, технической и методической помощи пользователям в ходе апробации и внедрения такой системы. Для организации технико-методического сопровождения были разработаны: комплект сопроводительных документов (техническая документация, инструкции, руководства), модуль автоматизированной методической поддержки участников процесса обучения, программа повышения квалификации преподавателей.

Таким образом, предложенный механизм интеграции науки, образования и производства с использованием системы управления отраслевыми знаниями на основе онтологий видится адекватным в условиях цифровых трансформаций железнодорожной отрасли. Данный механизм расширяет и обогащает существующие механизмы взаимодействия крупнейшего работодателя РФ – ОАО «РЖД» и территориально распределенных университетов путей сообщения, а также вносит вклад в формирование инновационной научно-методической базы для реализации научной идеи о создании отраслевого научно-образовательно-производственного комплекса.

Библиографический список

1. Jones N. Freight and the Digital Railway / Digital Railway Industry Conference – 25 & 26, the University of Birmingham, June 2019. URL: http://digitalrailway.co.uk/wp-content/uploads/2019/07/Freight-and-the-Digital-Railway-NJ.pdf.

2. Gorin, V., Merenkov, A., Lastochkina, G. Factors of digitalization of the transport complex of the Russian Federation. Entrepreneur's Guide. 2020. № 13. P. 15 – 22.

3. Managing rail infrastructure for a digital future: Future-proofing of asset information / P.E.D. Love, J. Zhou, J. Matthews, [et al.]. Transportation Research. 2018. Part A. № 110. P. 161 – 176.

4. Tien, N. Knowledge management in enterprises in the context of Industrial Revolutiuon 4.0 / Knowledge management in the context of industrial revolution 4.0. 2020. № 2. 39 – 44.

5. Khabarov V., Volegzhanina I. Knowledge Management System of an Industry-Specific Research and Education Complex (by an Example of Transport Personnel Training) / IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., Vol. 403, XII International Scientific Conference on Agricultural Machinery Industry 10–13 September 2019, Don State Technical University. 2019. doi: 10.1088/1755-1315/403/1/012197.

6. Сабирова Д. К. Работодатели и вузы: взаимодействие и перспективы / Управление. 2014. № 2 (4). С. 80 – 85.

7. Байрамова Ж. М. Интеграция образования и науки как движущая сила модернизации экономики России / Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В. Г. Белинского. 2011. № 24. С. 174 – 180.

8. Хабаров В. И. Волегжанина И. С. Цифровые трансформации в профессиональном образовании (на примере подготовки кадров транспорта). М. : Русайнс, 2018. 210 с.

9. Манаков А. Л., Хабаров В. И., Волегжанина, И. С. Интеграция образования, науки и производства по модели «Фабрика знаний» (на примере транспортной отрасли) / Качество. Инновации. Образование. 2019. № 5. С. 12 – 17.

10. Волегжанина, И. С. Программная среда для разработки образовательных ресурсов в формате онтологий (Onto.plus) / В. И. Хабаров, И. С. Волегжанина, И. С. Степанов, А. А. Серенко. Новосибирск : СГУПС, 2017. 1 DVD-ROM. Систем. требования: ПК с частотой ЦП от 800 МГц и выше ; дисковод DVD-ROM ; 256422 Кб. Свидет. о гос. рег. программы для ЭВМ № 2017618577 от 04.08.2017.

УДК 625.12: 625.144.5

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ УСТРОЙСТВА ПОДБАЛЛАСТНЫХ ЗАЩИТНЫХ СЛОЕВ ИЗ ГРУНТОБЕТОНА ПРИ КАПИТАЛЬНОМ РЕМОНТЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПУТИ

С.С. Акимов, И.А. Котова, С.А. Косенко

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: Цель настоящей работы является определение целесообразности устройства подбалластного грунтобетонного слоя по технико-экономическим показателям. Разработаны технологии устройства защитных слоев с использованием объемной георешетки, защитного слоя из дренирующего грунта и грунтобетонного слоя. Для рассматриваемых способов определены технико-экономические показатели. По большинству показателей использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее целесообразным вариантом.

Ключевые слова: земляное полотно, защитный слой, ресайклинг, тяжеловесное движение.

EXPEDIENCY OF THE SUBBALLAST PROTECTIVE LAYERS FORMATION FROM SOIL-CONCRETE DURING RAILWAY TRACK OVERHAUL

S.S. Akimov, I.A. Kotova, S.A. Kosenko

1. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The purpose of this article is to expediency of the sub-ballast soil-concrete layer formation. Technologies have been developed for arranging protective layers using a volumetric geogrid, a protective layer of drainage soil and a soil-concrete layer. For the considered technologies, technical and economic indicators are determined. According to most indicators, the use of soil-concrete as a protective layer is the most profitable option.

Key words: subgrade, protective layer, recycling, heavy traffic.

Активное развитие на протяжении нескольких лет полигона обращения тяжеловесных грузовых поездов на сети железных дорог Российской Федерации и стран СНГ [1,2] привело к вынужденной разработке и повышению требований к инфраструктуре железнодорожного пути на этих участках [3]. Это связано с повышением силового взаимодействия пути и подвижного состава нового поколения [4] вследствие увеличения осевых нагрузок, длин и весов поездов, а также скорости их движения.

Для успешного развития технологий тяжеловесного движения поездов, в т.ч. переход к промышленной эксплуатации на сети дорог поездов, сформированных из вагонов с осевыми нагрузками 265 кН/ось (27 тс/ось), а в дальнейшей перспективе и 294 кН/ось (30 тс/ось), необходимо усиление конструкции железнодорожного пути [5], и в первую очередь земляного полотна железнодорожного пути.

Земляное полотно в условиях повышенного вибродинамического воздействия тяжеловесных поездов является одним из слабых мест и не отвечает современным критериям [6–8]. Более половины протяженности земляного полота было возведено свыше 100 лет назад. По понятным причинам

оно не рассчитано воспринимать повышенные нагрузки. Кроме того земляное полотно железных дорог возведено преимущественно из глинистых грунтов. Такие грунты в условиях повышенных вибродинамических нагрузок [9] и неблагоприятного воздействия природных факторов [10] теряют несущую способность.

Для повышения несущей способности рабочей зоны земляного полотна [11] в зарубежной и отечественной практике железнодорожного строительства традиционно устраиваются при строительстве и ремонтах защитные подбалластные слои [12,13] из дренирующих грунтов. Для этих целей чаще всего применяется щебеночно-песчано-гравийная смесь (ЩПГС), как с армированием объемной [14,15] или плоской георешеткой, так и без них.

Какие технические решения применять в тех или иных случаях, определяется после анализа прочностных и деформационных характеристик грунтов рабочей зоны земляного полотна с учетом условий эксплуатации.

Повысить прочность рабочей зоны земляного полотна в соответствии с требованиями тяжеловесного движения предлагается устройством грунтобетонного слоя [16] по технологии холодной регенерации грунтов (ресайклинга) [17]. Холодный ресайклинг – технология укрепления (стабилизации) грунтов различными вяжущими путём предварительного фрезерования и смешения на дороге местного грунта. Технология холодного ресайклинга схематично показана на рисунке 1.

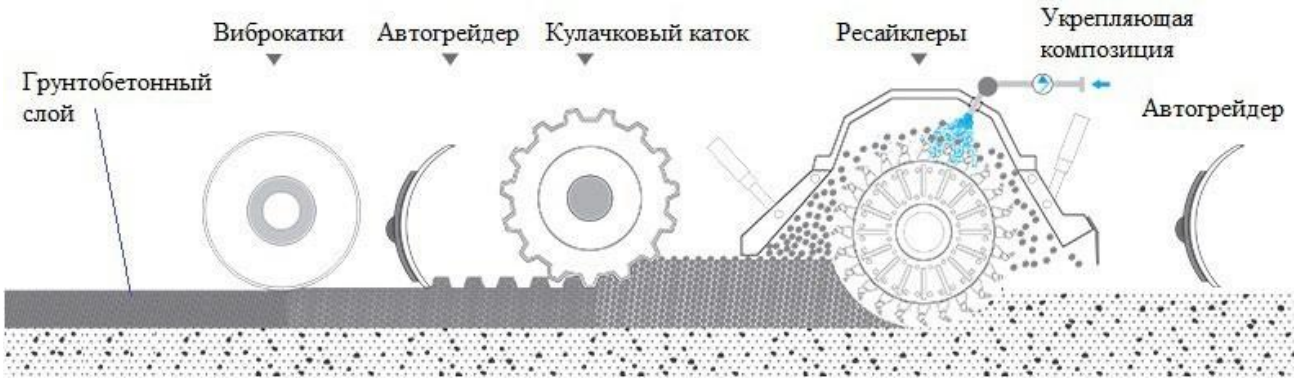


Рисунок 1. Схема устройства грунтобетонного слоя

При формировании грунтобетонного слоя применяется широкий спектр различных добавок (стабилизаторов) и вяжущих материалы от промышленных до отходов производства [18–20]. При этом обработанные укрепляющей композицией грунты приобретают высокие прочностные характеристики, гидрофобность, повышается их трещиностойкость и морозостойкость [20], снижаются или исчезают полностью пучинистые свойства [22].

Однако в настоящее время не проводились исследования по изучению технико-экономических преимуществ устройства подбалластного грунтобетонного слоя. Таким образом целью настоящей работы является определение целесообразности устройства подбалластного грунтобетонного слоя методом холодного ресайклинга в сопоставлении с типовыми

техническими решениями повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полотна при ремонтах железнодорожного пути.

С этой целью разработаны технологические процессы производства основных работ по устройству защитного слоя из ЩПГС, армированного объемной георешеткой, замене грунта с недостаточной несущей способностью на дренирующий грунт из ЩПГС, а также по устройству защитных слоев из грунтобетона толщиной 20, 30 и 40 см. По результатам запроектированных технологических процессов выполнялся расчет исполнительных калькуляций и определение технико-экономических показателей.

Для оценки целесообразности применения грунтобетонного слоя в качестве способа повышения несущей способности грунтов основной площадки земляного полона по сравнению с типовыми решениями были приняты следующие технико-экономические критерии: трудоемкость работ, количество задействованных работников, выработка на единицу времени, производительность труда, заработная плата монтеров пути, участвующих в производстве работ, стоимость производства основных работ в соответствии с исполнительной калькуляцией.

Расчеты показали, что наименьшую продолжительность работ по устройству защитных слоев имеют варианты с подбалластным грунтобетонным слоем толщиной 20-40 см (см. рис. 2). При этом увеличение толщины устраиваемого грунтобетонного слоя на 10 см влечет за собой также увеличение продолжительности работ. При фронте работ 1 км такое увеличение будет составлять около 2 часов.

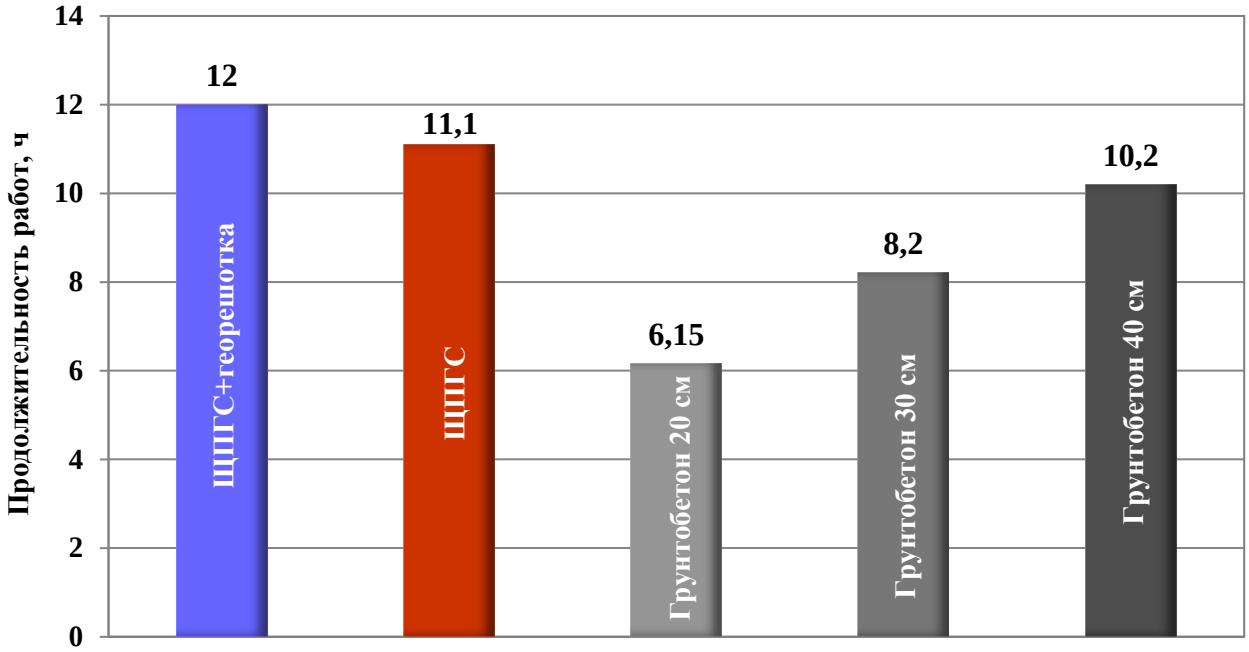


Рисунок 2. Продолжительность основных работ по устройству защитных слоев

Следующим важным показателям является выработка. Выработка определяется протяженностью ремонтируемого участка и продолжительностью работ на нем. Так как при проектировании технологических процессов устройства защитных слоев для всех вариантов принимался фронт работ

равным 1000 м, то и показатели выработки имеют схожий характер с продолжительностью работ. Наибольшая выработка достигается при устройстве грунтобетонного слоя толщиной 20 см – 162,6 м/ч (см. рис. 3) или 1950 м за 12 часовую смену. Это сопоставимо с выработкой путевых комплексов капитального ремонта пути на закрытых перегонах.

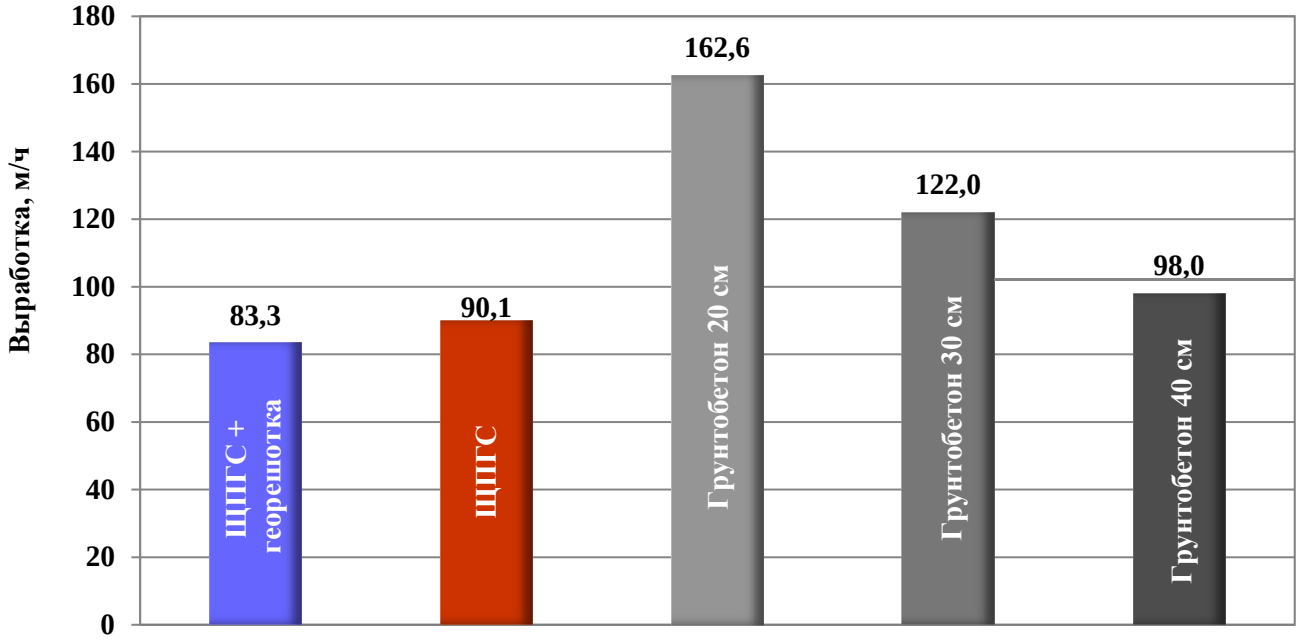


Рисунок 3. Выработка по устройству защитных слоев

Затраты труда на устройство защитного слоя из ШПГС толщиной 40 см и грунтобетонных слоев толщиной 20-40 см показали относительно одинаковые значения, 141,5 чел.-ч и 137,4 чел.-ч. соответственно (см. рис. 4). Затраты труда на устройство защитного слоя с объемной георешеткой составили 242,0 чел.-ч., что превышает затраты труда остальных вариантов более чем на 70 %. Это объясняется тем, что при устройстве защитного слоя с объемной георешеткой используется много ручного труда, работы нетехнологичны. На работах по устройству защитного слоя с применением объемной георешетки задействован 51 монтер пути, при замене грунта с недостаточной несущей способностью на ЩПГС и устройстве грунтобетонных слоев – на ЩПГС – 41 монтер пути, при устройстве грунтобетонных слоев – 39 монтеров пути.

Производительность труда в вариантах с устройством грунтобетонных слоев также выше, чем в других рассматриваемых вариантах усиления основной площадки земляного полотна (см. рис. 5).

Одним из главных критериев, безусловно, является стоимость выполнения работ. По результатам расчета исполнительных калькуляций на каждый вариант усиления основной площадки земляного полотна было установлено, что наиболее затратным техническим решением является технология замены слабого грунта на дренирующий из ЩПГС. Затраты составили 14,47 млн. р. (см. рис. 6). Стоимости работ по устройству защитного слоя из ЩПГС с армированием объемной георешеткой и грунтобетонного слоя толщиной 20 см показали относительно одинаковые значения (12,79 млн. р. и

12,78 млн. р. соответственно). Варианты с устройством грунтобетонного слоя толщиной 30-40 см имеют немного выше стоимость по сравнению с грунтобетонным слоем толщиной 20 см за счет необходимости использования большего объема цемента и стабилизатора грунта. Увеличение толщины грунтобетонного слоя на 10 см в пределах 20-40 см приводит к увеличению стоимости работ на 220-230 тыс. р./км.

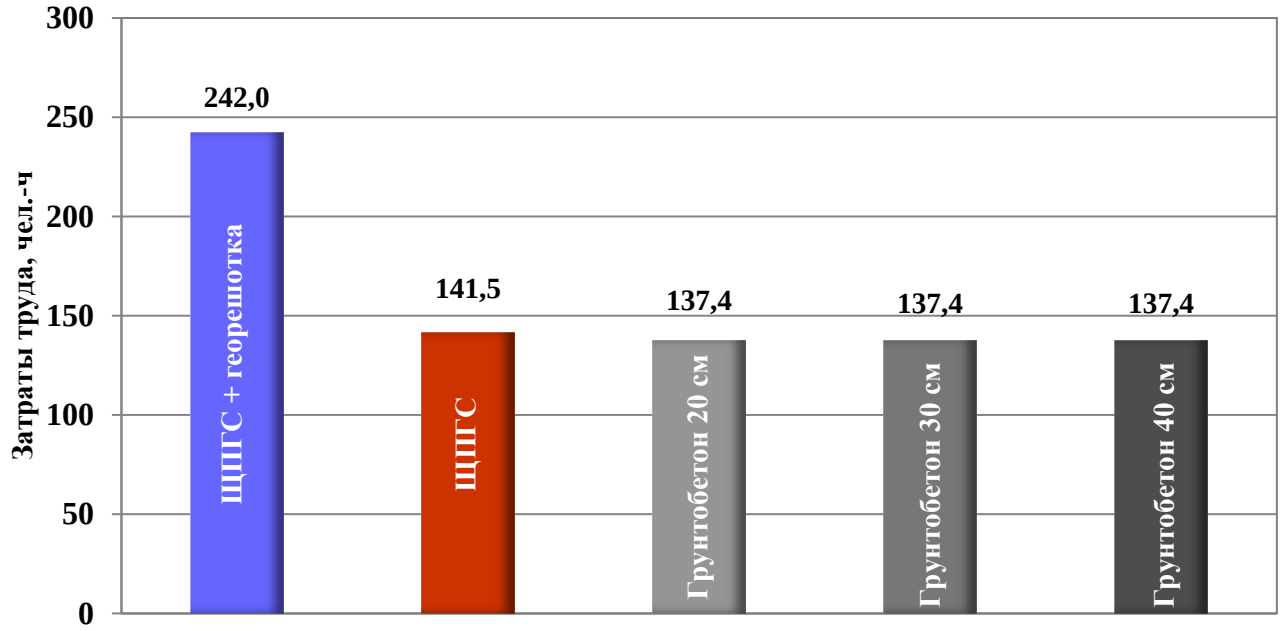


Рисунок 4. Затраты труда по устройству защитных слоев

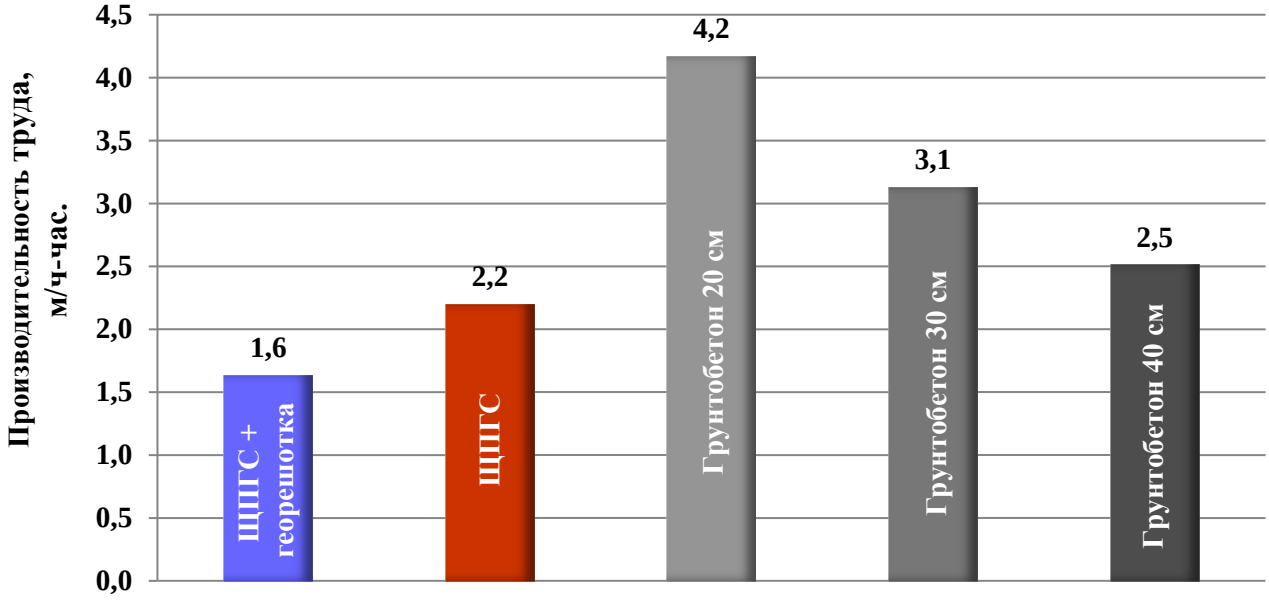


Рисунок 5. Производительность работ по устройству защитных слоев

Таким образом, использование грунтобетона в качестве защитного слоя является наиболее технико-экономически целесообразным вариантом усиления основной площадки земляного полотна для участков обращения тяжеловесных поездов с повышенными осевыми нагрузками.

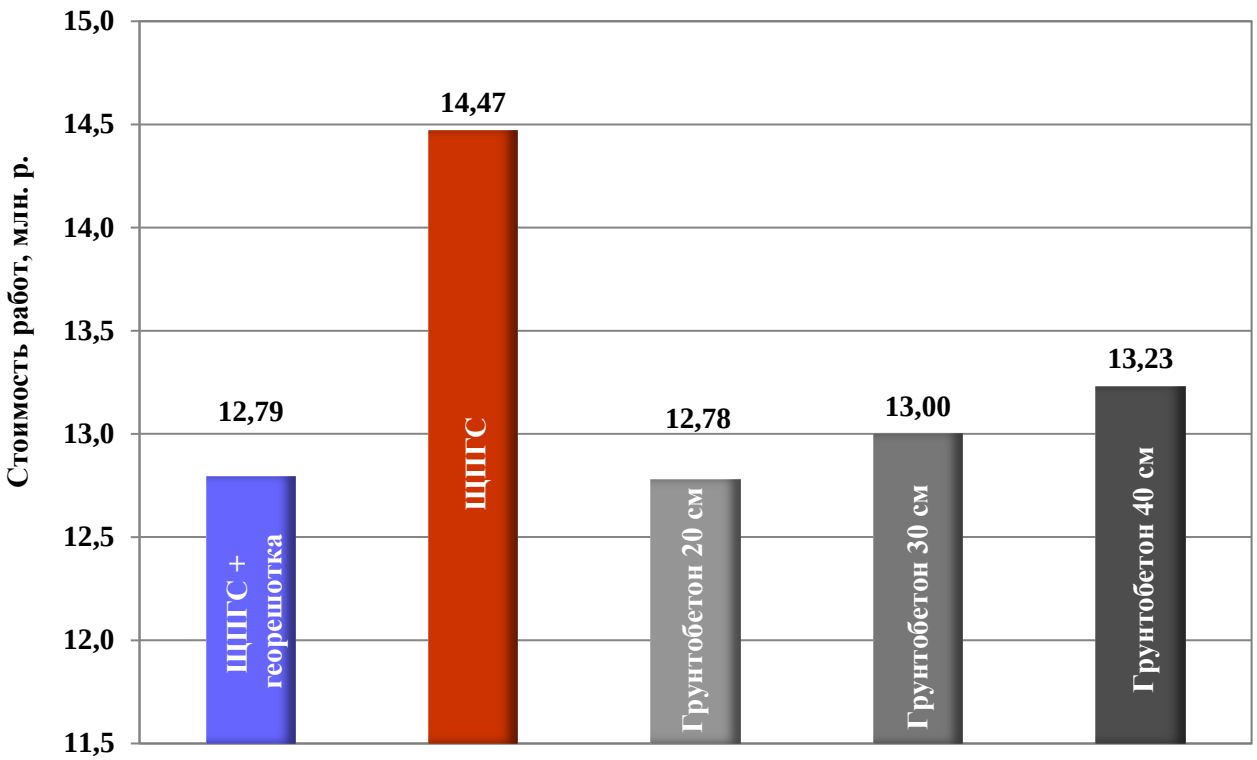


Рисунок 6. Стоимость работ по устройству защитных слоев

Улучшение эксплуатационных характеристик железнодорожного пути при повышении стабильности основной площадки земляного полотна позволит существенно снизить затраты на текущее содержание пути, продлить срок службы верхнего строения пути и межремонтные периоды.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке ОАО «Российские железные дороги» грантового проекта № 3704995 от 10.12.2019 г. «Противодеформационное укрепление основной площадки железнодорожного земляного полотна методом холодной регенерации (ресайклинг) на участках обращения тяжеловесных поездов».

Библиографический список

1. Косенко С.А., Исмагулова С.О., Суслова Т.М. Новая структура ведения путевого хозяйства на железных дорогах Казахстана // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2012. № 6. С. 39–41.

2. Косенко С.А. Совершенствование системы ведения рельсового хозяйства на магистральных железных дорогах Республики Казахстан: диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. Алматы, КазАТК, 2007. – 288 с.

3. Косенко С.А., Богданович С.В., Акимов С.С. Проектирвоание путевого развития станций и выбор конструкций верхнего строения пути для тяжеловесного движения поездов // Вестник Сибирского государственного унивесритета путей сообщения. 2018. № 4 (47). С. 21-29.

4. Эксплуатационные измерения напряжений в рельсе при

воздействии подвижного состава / С.А. Косенко, М.Я. Квашнин, И.С. Бондарь, С.С. Акимов // Известия Транссиба. – 2017. – № 2 (30). – С. 133-145.

5. Kosenko S. Akimov S.: Design of track structure for corridors of heavy-train traffic. MATEC Web of Conferences, 239, 27 November (2018), 05005, doi:10.1051/matecconf/201823905005.

6. Nie, R., Leng, W., Yang, Q., Chen, Y. F., & Xu, F. Comparison and evaluation of railway subgrade quality detection methods // Journal of Rail and Rapid Transit. 2016. № 232 (2). pp. 356–368. doi:10.1177/0954409716671551.

7. Lazorenko G., Kasprzhitskii A., Khakiev Z., Yavna V.: Dynamic behavior and stability of soil foundation in heavy haul railway tracks: A review, 205, 30 April (2019), pp. 111-136, doi:10.1016/j.conbuildmat.2019.01.184.

8. Квашнин М.Я., Косенко С.А., Бондарь И.С. Вибродиагностика подходной насыпи железнодорожного моста / Вестник СГУПС. 2017. № 2 (41). С. 34 – 39.

9. Cai Y., Xu L., Liu W., Shang Y., Su N., Feng D.: Field Test Study on the dynamic response of the cement-improved expansive soil subgrade of a heavy-haul railway. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 128, January (2020), 105878, doi:10.1016/j.soildyn.

10. Le T.H.M., Lee S.-H., Park D.-W.: Evaluation on full-scale testbed performance of cement asphalt mortar for ballasted track stabilization. Construction and Building Materials, 254, 10 September (2020), 119249, doi:10.1016/j.conbuildmat.2020.119249.

11. Щепотин Г.К., Крутасов Б.В. Повышение несущей способности дорожных конструкций в условиях Сибири // Труды НГАСУ Сибстрин. – 2018. – № 1 (67). – С. 127-137.

12. Котова И.А. Чижов А.В., Юдин О.Г. Технология создания подбалластных защитных слоев при ремонтах железнодорожного пути // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы». Новосибирк Изд-во СГУПСа, 2016. С. 96–98.

13. Котова И.А. Чижов А.В., Юдин О.Г. Сравнительный анализ технологических вариантов создания подбалластных защитных слоев при ремонтах железнодорожного пути // Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири и на Дальнем Востоке. IX Международная научно-техническая конференция «Политранспортные системы» / Сборник статей. Новосибирк Изд-во СГУПСа, 2017. С. 150–153.

14. Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г., Вобликов А.А. Оптимизация технологии устройства защитных слоёв с применением объемной георешётки при модернизации железнодорожного пути // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2015, № 2. С. 32–38.

15. Котова И.А., Чижов А.В., Юдин О.Г. Технико-экономическое сравнение технологических вариантов устройства подбалластных защитных слоев с использованием объемной георешетки // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2017, № 1. С. 36–45.

16. Akimov S., Kosenko S., Bogdanovich S. Stability of the supporting

subgrade on the tracks with heavy train movement // Adv. Intell. Syst. Comput. VIII Int. Sci. Sib. Transp. Forum TransSiberia 2019, Vol. 2. Vol. 1116, January (2020), pp. 228-236, doi10.1007/978-3-030-37919-3_22.

17. Акимов С.С., Косенко С.А. Ресайклинг как альтернативный способ повышения прочности подбалластного основания железнодорожного пути // Наука, образование, кадры материалы нац. конф. в рам- ках IX Междунар. Сиб. трансп. форума (Новосибирск, 22–25 мая 2019 г.). Новосибирск Изд-во СГУПСа, 2019. С. 204–212.

18. Rimal S., Poudel R. K., Gautam D. Experimental study on properties of natura soils treated with cement kiln dust. Case Studies in Construction Materials, 10, (2019), e00223, doi:10.1016/j.cscm.2019.e00223.

19. Ahmed A.: Recycled bassanite for enhancing the stability of poor subgrades clay soil in road construction projects. Construction and Building Materials, 48, November (2013), pp. 151–159, doi:10.1016/j.conbuildmat.2013.05.089.

20. Saygili A., Dayan M.: Freeze-thaw behavior of lime stabilized clay reinforced with silica fume and synthetic fibers. Cold Regions Science and Technology, 161, May (2019), pp. 107-114, doi:10.1016/j.coldregions.2019.03.010.

21. Celauroa B., Bevilacqua A., Lo Boscob D., Celauro C.: Design Procedures for Soil-Lime Stabilization for Road and Railway Embankments. Part 1 - Review of Design Methods. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 53, 3 October (2012), pp. 754-763, doi:10.1.

22. Behnood A.: Soil and clay stabilization with calcium-and non-calcium-based additives: A state-of-the-art review of challenges, approaches and techniques. Transportation Geotechnics, 17, Part A, 1 December (2018), pp.14-32, doi:10.1016/j.trgeo.2018.08.002.

УДК 625.7/.8

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОЛОШЛАКОВ НОВОСИБИРСКОЙ ТЭЦ-3 НА ПРЕДМЕТ ПРИМЕНЕНИЯ В КАЧЕСТВЕ МАТЕРИАЛА В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Д. А. Разуваев[1], М. Г. Чахлов[1]

1. Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: В статье рассмотрены результаты полевого обследования законсервированной секции золошлакоотвала Новосибирской ТЭЦ-3, сформированной продуктами сжигания Канско-Ачинских бурых углей. Представлены результаты лабораторных испытаний исследуемых золошлаковых смесей (ЗШС). В ходе проведенных исследований определены прочностные характеристики ЗШС в зависимости от степени уплотнения и влажности, физические характеристики, а также определены показатели необходимых для дорожного строительства свойств. Оценена пригодность исследуемых золошлаков в качестве грунтового материала для возведения насыпей земляного полотна автомобильных дорог и разработаны рекомендуемые поперечные профили земляного полотна из золошлаковых смесей Новосибирской ТЭЦ-3.

Ключевые слова: дорожное строительство, автомобильная дорога, рабочий слой, земляное полотно, золошлаковые смеси

RESEARCH FINDINGS OF ASH FROM NOVOSIBIRSK TPP-3 FOR APPLICATION IN HIGHWAY CONSTRUCTION AS A MATERIAL

D. A. Razuvaev[1], M.G. Chakhlov[1]

1. Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: The article considers the results of a field survey of the preserved section of the ash and slag dump of the Novosibirsk TPP-3 formed by the products of burning Kansk-Achinsk brown coals. The results of laboratory tests of the studied ash and slag mixtures are presented. In the course of the research, the strength characteristics of ash and slag mixtures depending on the degree of compaction and humidity, physical characteristics, and specific properties for road construction were determined. The suitability of the studied ash and slag as a ground material for the construction of embankments of the roadbed was evaluated and recommended cross profiles of the roadbed from ash and slag mixtures of Novosibirsk TPP-3 were developed.

Key words: highway construction, highway, working layer, subgrade, ash-slag mixture

На сегодняшний день подавляющее большинство тепловых электростанций (ТЭС) в Новосибирской области используют угольную генерацию. При этом, на ряде станций в качестве топлива используется бурый уголь, добываемый в Канско-Ачинском бассейне (Красноярский край).

В результате сжигания бурого угля образуется от 10 до 15% золошлаковых отходов (ЗШО), которые в последствии складируются в золоотвалах в непосредственной близости от тепловых электростанций.

С течением времени проектные объемы золоотвалов переполняются, что требует их реконструкции или нового строительства (расширения). Складирование большого количества золошлаковых отходов влечет за собой ряд негативных факторов, которые требуют рационального подхода к использованию и утилизации ЗШО.

Анализ отечественного и зарубежного опыта показывает, что одной из наиболее перспективных сфер утилизации ЗШО является дорожное строительство. Однако, проблема заключается в малоизученности характеристик и свойств буроугольных золошлаковых смесей (ЗШС), необходимых для проектирования нового строительства, реконструкции и ремонта автомобильных дорог.

Поэтому целью представленного исследования являлось определение физико-механических характеристик золошлаковых материалов Новосибирской ТЭЦ-3 для дальнейшей разработки технической документации по их применению в дорожном строительстве.

Исследования золошлаков Новосибирской ТЭЦ-3 на предмет применения в качестве материала в дорожном строительстве выполнены на базе лабораторий Научно-инженерного дорожного центра Сибирского государственного университета путей сообщения.

Объект исследований представляет собой законсервированную секцию золошлакоотвала, сформированную продуктами сжигания Канско-Ачинских бурых углей по совместной (по золе и шлаку) системе гидрозолоудаления.

В рамках полевого обследования золошлакоотвала выполнено колонковое бурение скважин глубиной по 10 м (до минерального дна) с отбором монолитов и образцов материала через 1 метр (см. рис. 1) Разведанный объем золошлакоотвала составляет порядка 2 млн. куб. метров материала.

Рисунок. 1 – Колонковое бурение скважины на золошлакоотвале ТЭЦ-3

По отобранным пробам исследуемого материала в лабораторных условиях определены основные физические характеристики материала, максимальная плотность и оптимальная влажность, прочностные и деформационные характеристики, а также такие специфические характеристики, как содержание горючих веществ, относительное морозное пучение и коэффициент фильтрации.

По результатам лабораторных исследований золошлаковый материал Новосибирской ТЭЦ-3 разделен на 4 типа. По ОДН 218.2.031-2013 [1] материал классифицирован как зола-уноса (Тип-1), а также мелкозернистая, среднезернистая и крупнозернистая золошлаковые смеси, соответственно Тип-2, 3, и 4. По ГОСТ 25100-2011 [2] материал классифицируется как суглинок

(Тип-1 и Тип-2), супесь песчанистая (Тип-3), и песок крупный (Тип-4), то есть грунты, широко используемые в дорожном строительстве для сооружения земляного полотна.

При смешении золошлаков 2, 3 и 4 типов возможно сформировать материал Тип-С, классифицируемый как среднезернистая золошлаковая смесь (ОДН 218.2.031-2013) или супесь песчанистая (ГОСТ 25100-2011).

Физические характеристики исследуемых золошлаковых смесей секции №1 золошлакоотвала Новосибирской ТЭЦ-3 в естественном залегании (в золошлакоотвале) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физические характеристики золошлаков

Тип	Плотность частиц материала, г/см^3	Физические свойства ЗШМ в естественном состоянии				Влажность на границе		Число пластичности	Показатель текучести	Потери при прокаливании, %
		Плотность, г/см^3	Плотность скелета, г/см^3	Влажность, д.е.	Коэффициент водонасыщения	Текучести, д.е.	Раскатывания, д.е.			
	r_s	r	r_d	W	Sr	W_L	W_P	I_P	I_L	-
Тип-1	2,43	1,25	0,36	2,50	1,00	0,90	0,79	11	> 1	7,4
Тип-2	2,37	1,32	0,55	1,41	1,00	0,79	0,70	9	> 1	5,4
Тип-3	2,43	1,40	0,68	1,06	1,00	0,61	0,55	6	> 1	4,1
Тип-4	2,56	1,69	1,12	0,51	1,00	-	-	-	-	2,6

Из особенностей полученных результатов определения физических характеристик исследуемых золошлаков необходимо отметить высокую абсолютную влажность материала, требующую дальнейшую подготовку материала для отсыпки в земляное полотно, относительно низкую плотность в естественном залегании, а также высокое и среднее содержание горючих по некоторым типам материала.

Кроме того, материал в плане и по глубине золошлакоотвала достаточно неоднороден и обладает свойствами пылимости при работе с ним в сухом состоянии.

В ходе лабораторных исследований для золошлаковых материалов (ЗШМ) Новосибирской ТЭЦ-3 определены специфические для дорожного строительства свойства, представленные в таблице 2.

Таблица 2 – Свойства золошлаков для дорожного строительства

Характеристика		Тип-1	Тип-2	Тип-3	Тип-4	Тип-С
Средняя оптимальная влажность, %		74	71	46	21	54
Средняя максимальная плотность, г/см^3		0,69	0,78	1,13	1,80	1,05
Угол внутреннего трения, φ, град	0,85	28,7	29,8	30,8	34,8	31,0
	0,95	28,0	29,1	30,2	34,2	30,5
Удельное сцепление, C, кПа	0,85	29	28	36	44	37
	0,95	28	27	35	43	36
Модуль упругости, E_y, МПа		34	46	62	77	61
Коэффициент фильтрации, м/сут		0,025	0,044	0,056	0,103	0,062

Степень пучинистости по закрытой схеме, %	3,93	5,06	3,91	3,56	4,43

Результаты лабораторных испытаний показали, что исследуемый материал характеризуется относительно высокой оптимальной влажностью и низкой максимальной плотностью по некоторым типам. Кроме того, по всем типам ЗШМ Новосибирской ТЭЦ-3 материал среднепучинистый и обладает относительно низким коэффициентом фильтрации. Данные факты несколько ограничивают область применения материала в дорожном строительстве.

При этом, материал обладает приемлемыми для возведения земляного полотна значениями показателей прочности (С, φ) и модуля упругости (E).

На основании результатов работ А.А. Лунева, Е.В. Иванова, В.В. Сиротюка, Grunchot, Pal, Prabakar, Mohanty, Huang, Padam, Kim и пр., Martin и пр., Lamb и пр. [3-15] были получены значения характеристик прочности при различных комбинациях влажности и плотности ЗШС. Данные параметры представлены в стандарте организации СТО 73116035-001-2019 «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности Новосибирской ТЭЦ-3, для дорожного строительства».

На основании полученных данных разработана область применения золошлаков Новосибирской ТЭЦ-3 (см. табл. 3) в дорожном строительстве.

Таблица 3 – Область применения золошлаков Новосибирской ТЭЦ-3

<table>
<tr><th rowspan="3">Элемент</th><th rowspan="3">Высота насыпи, м</th><th rowspan="3">Тип местности</th><th colspan="6">Область применения золошлаков Новосибирской ТЭЦ-3</th></tr>
<tr><th colspan="3">Тип материала для I-II технической категории</th><th colspan="3">Тип материала для III –V технической категории</th></tr>
<tr><th>Тип-С</th><th>Тип-3</th><th>Тип-4</th><th>Тип-С</th><th>Тип-3</th><th>Тип-4</th></tr>
<tr><td rowspan="6">Тело насыпи</td><td rowspan="3">до 3</td><td>I</td><td colspan="3" rowspan="2">Применяются без ограничений</td><td colspan="3">Применяются без ограничений</td></tr>
<tr><td>II</td><td colspan="3">Применяются без ограничений</td></tr>
<tr><td>III</td><td colspan="6">Не применяются</td></tr>
<tr><td rowspan="3">от 3 до 6 и от 6 до 12</td><td>I</td><td colspan="3" rowspan="2">Применяются без ограничений</td><td colspan="3" rowspan="2">Применяются без ограничений</td></tr>
<tr><td>II</td></tr>
<tr><td>III</td><td colspan="3">С защитой от переувлажнения и размывов</td><td colspan="3">С защитой от переувлажнения и размывов</td></tr>
<tr><td rowspan="9">Рабочий слой</td><td rowspan="3">до 3</td><td>I</td><td colspan="3" rowspan="9">Не применяются</td><td colspan="3">С ограничением*</td></tr>
<tr><td>II</td><td colspan="3">С ограничением**</td></tr>
<tr><td>III</td><td colspan="3">Не применяются</td></tr>
<tr><td rowspan="3">от 3 до 6</td><td>I</td><td colspan="3" rowspan="2">С ограничением*</td></tr>
<tr><td>II</td></tr>
<tr><td>III</td><td colspan="3">С ограничением***</td></tr>
<tr><td rowspan="3">от 6 до 12</td><td>I</td><td colspan="3" rowspan="2">С ограничением*</td></tr>
<tr><td>II</td></tr>
<tr><td>III</td><td colspan="3">С ограничением***</td></tr>
</table>

* - при обеспечении деформации морозного пучения ниже 0,035, в том числе обеспечение I схемы увлажнения рабочего слоя земляного полотна.
** - с обеспечением устойчивости рабочего слоя земляного полотна (гидроизоляция или укрепление)
*** - с обеспечением устойчивости рабочего слоя земляного полотна (см. выше) и защитой земляного полотна от переувлажнения и размывов

Для тела земляного полотна материал пригоден без ограничений для 1 и 2 типов местности по условиям увлажнения для всех категорий дорог.

В случае 3 типа местности, материал не пригоден для насыпей высотой до 3 метров, и пригоден с защитой от переувлажнения и размывов для насыпей свыше 3 метров.

В качестве рабочего слоя материал не рекомендуется применять для дорог 1 и 2 категории, а также для остальных категорий при насыпи до 3 метров при 3 типе местности по условиям увлажнения.

В остальных случаях ЗШМ Новосибирской ТЭЦ-3 возможно применять с ограничениями, главным образом связанными с необходимостью снижения деформации морозного пучения.

Материал при фактических показателях (без преобразования) не пригоден для устройства дополнительного слоя основания дорожных одежд.

Опираясь на все полученные результаты исследования разработаны рекомендуемые поперечные профили земляного полотна из золошлаковых смесей Новосибирской ТЭЦ-3. Конструкции поперечных профилей разрабатывались для наиболее распространенных условий Новосибирской области.

Пример рекомендуемого поперечного профиля земляного полотна автомобильных дорог III-V технической категории с высотой насыпи до 3 метров на II типе местности по условиям увлажнения представлен на рисунке 2.

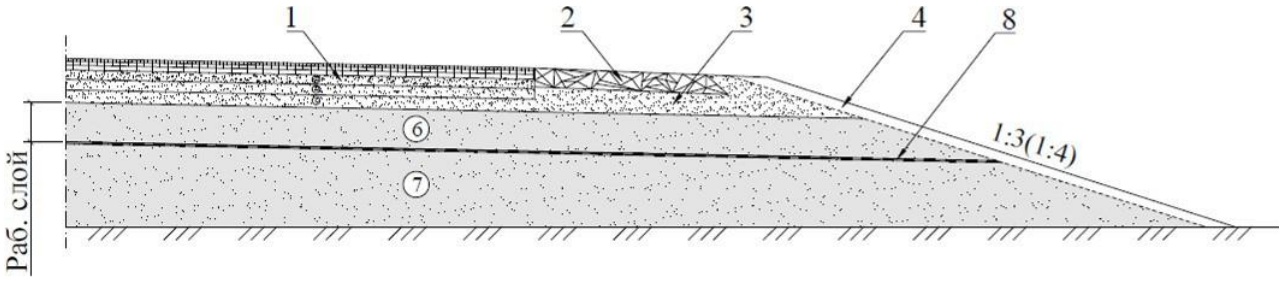


Рисунок 2 – Рекомендуемый поперечный профиль земляного полотна из золошлаковых смесей Новосибирской ТЭЦ-3 для автомобильных дорог III-V технической категории с высотой насыпи до 3 метров на II типе местности по условиям увлажнения 1 – дорожная одежда; 2 – укрепленная обочина; 3 – дренирующий слой из песка средней крупности; 4 – укрепление откосной части насыпи слоем растительного грунта и засевом многолетних трав; 6 – рабочий слой земляного полотна из золошлаковой смеси с обязательным осуществлением мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна; 7 – земляное полотно из золошлаковой смеси; 8 – гидроизоляция;

Полный перечень рекомендуемых поперечных профилей представлен в разработанном стандарте организации СТО 73116035-001-2019 «Материал золошлаковый, получаемый в результате деятельности Новосибирской ТЭЦ-3, для дорожного строительства».

На основании проведенных исследований, можно сделать следующие выводы:

1. Для сооружения рабочего слоя земляного полотна пригодны

золошлаковые смеси Тип-3, Тип-4, Тип-С с величиной потерь при прокаливании, соответствующей низкому и среднему содержанию горючих, а также удовлетворяющих требованиям ГОСТ 30108-94 по удельной эффективной активности ЕРН ($А_{эфф}$) природных радионуклидов.

2. Применение перечисленных типов золошлаковых смесей в рабочем слое земляного полотна должно быть обосновано специальными технико-экономическими расчетами и допускается с обязательным осуществлением мероприятий по обеспечению устойчивости рабочего слоя земляного полотна. Мероприятия необходимо назначать на основе технико-экономических расчетов в зависимости от типа местности по характеру и степени увлажнения.

3. Для сооружения земляного полотна ниже границы рабочего слоя также пригодны золошлаковые смеси Тип-3, Тип-4, Тип-С с величиной потерь при прокаливании, соответствующей низкому и среднему содержанию горючих, а также удовлетворяющих требованиям ГОСТ 30108-94 по удельной эффективной активности ЕРН ($А_{эфф}$) природных радионуклидов.

4. В некоторых случаях, применение перечисленных типов золошлаковых смесей в земляном полотне ниже границы рабочего слоя так же допускается только с обязательным осуществлением мероприятий по обеспечению устойчивости земляного полотна.

Проведенный анализ свойств, исследуемых золошлаков, показал, что ни один тип исследуемого материала не соответствует требованиям для возведения дополнительных слоев дорожных одежд. Однако, золошлаковые смеси, не удовлетворяющие требованиям по коэффициенту фильтрации и деформациям пучения, могут применяться для устройства морозозащитного и теплоизолирующего (но не дренирующего) слоя дорожных одежд с осуществлением мероприятий по уменьшению относительной деформации морозного пучения до величины, не превышающей 0,035 (укрепление вяжущим, гидроизоляция слоя и т.п.). В таком случае только ЗШС, относящаяся к Тип-4 (при уменьшении величины относительной деформации морозного пучения путем укрепления или гидроизоляции) может применяться в качестве морозозащитного или теплоизолирующего слоя оснований дорожных одежд.

Таким образом, базируясь на результатах текущих исследований, можно утверждать, что исследуемые буроугольные золошлаковые смеси в большей мере пригодны для сооружения земляного полотна автомобильных дорог, в том числе высоких насыпях на подходах к мостам и путепроводам [16], а их применение в дополнительных слоях дорожных одежд требует дополнительных исследований.

Библиографический список

1. ОДМ 218.2.031-2013 Методические рекомендации по применению золы-уноса и золошлаковых смесей от сжигания угля на тепловых электростанциях в дорожном строительстве. – М.: ФГУП "ИНФОРМАВТОДОР", 2014. – 59 с.

2. ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. – М.: Стандартинформ,

2013. – 20 с.

3. Иванов Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом водно-теплового режима: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.11 / Е.В. Иванов; СибАДИ. – Омск, 2015. – 165 с.

4. Сиротюк В.В. Особенности свойств зол уноса Экибастузских углей в связи с их применением в дорожном строительстве / В.В. Сиротюк // Межвузовский сб. Строительство и эксплуатация дорог. – Новосибирск, 1976. – С. 26-31.

5. Gruchot A. Impact of a test method on the undrained shear strength of a chosen fly ash / A. Gruchot, T. Zydroń // Journal of Ecological Engineering. – Vol. 17. – Issue 4. – Pp. 41–49 DOI: 10.12911/22998993/63955

6. Pal S. K. Shear strength behavior of Indian flu ashes / S. K. Pal, A. Ghosh // Indian Geotechnical Conference Geotechnics in Infrastructure Development (GEOTIDE). – 2009. – Vol. 1. – Pp. 18-22.

7. Prabakar J. Influence of fly ash on strength behavior of typical soil / J. Prabakar, N. Dendorkar, R.K. Morchhale // Construction and Building Materials. – 2004. – No. 18. – Pp. 263-267

8. Mohanty S. Geotechnical characterization of Panki and Panipat pond ash in India / S. Mohanty, N. R. Patra // Geo-Engineering. – 2015. – Vol. 6:13. – Pp. 1-18. DOI 10.1186/s40703-015-0013-4

9. Huang H. W. The use of bottom ash in highway embankments, subgrade, and subbases. Joint Highway Research Project, Final Report, FHWA/IN/JHRP-90/4. West Lafayette: Indiana Department of Transportation and Purdue University, 1990. 315 p.

10. Padam Raj. Thesis on compaction characteristics and shear parameters of pond ash. National Institute of Technology, Rourkela, 2010. 58 p.

11. Kim B. Geotechnical Properties of Fly and Bottom Ash Mixtures for Use in Highway Embankments / B. Kim, M. Prezzi, R. Salgaro // Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering. – Vol. 131. – Issue 7. – Pp. 914-924.

12. Martin J. P. Properties and use of fly ashes for embankments / J.P. Martin, R.A., B.J. Collins, FJ Biehl // Energy. – Vol. 116(2). – Pp. 71–86.

13. Lamb D. W. Ash disposal in dams, mounds, structural fills and retaining walls // Proceedings of the Third International Ash Utilization Symposium, U.S. Bureau of Mines, Information Circular. No. 8640. Pp. 170-179.

14. Sirotyuk V.V., Lunev A.A. Strength and deformation characteristics of ash and slag mixture / V.V. Sirotyuk, A.A. Lunev // Magazine of Civil Engineering. – 2017. – No. 6. – Pp. 3–16. doi: 10.18720/MCE.74.1.

15. Лунёв А.А. экспериментальные исследования прочностных характеристик золошлаковой смеси / А.А. Лунёв, В.В. Сиротюк, Н.И. Барац // Вестник СибАДИ. – 2016. – №6 (51). – С.61-66.

16. Ланис, А.Л. Сопряжение подходных насыпей с мостами и путепроводами / А.Л. Ланис, Д.А. Разуваев, П.О. Ломов // Вестник СибАДИ. – 2016. – №2 (48). – С.110-120.

УДК 625.172

СОСТОЯНИЕ ГЕОМЕТРИИ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В СЛОЖНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

А.А. Севостьянов, Д.В. Величко

Сибирский государственный университет путей сообщения, ул. Дуси Ковальчук, 191, г. Новосибирск, 630049, Россия

Аннотация: в данной работе приведены результаты исследований в части состояния геометрии рельсовой колеи железнодорожного пути в сложных климатических и эксплуатационных условиях Сибири. В ходе анализа были выявлены основные виды отступлений наиболее характерных для участков в зависимости от типа скреплений и плана линии. Методом наименьших квадратов выявлена зависимость отступлений по ширине колеи (уширению) от пропущенного тоннажа с учетом типа скрепления. Также представлены результаты натурных осмотров промежуточных рельсовых скреплений на участке исследования и описаны основные причины развития отступлении вследствие отказа элементов скреплений.

Ключевые слова: железнодорожный путь, текущее содержание пути, геометрия рельсовой колеи, рельсовое скрепление, уширение, просадка, перекос.

RAIL TRACK GEOMETRY IN DIFFICULT MAINTENANCE CONDITIONS

A.A. Sevostyanov, D.V. Velichko

Siberian transport university, 191 Dusi Kovalchuk str., Novosibirsk, 630049, Russia

Abstract: this paper presents the results of research on the railway track geometry in difficult climatic and maintenance conditions in Siberia. The analysis revealed the main types of track degradation, depending on the type of fasteners and curve radius. The least-squares method revealed the dependence of deviations in track width (widening) on the tonnage, taking into account the type of fasteners. The results of track inspection of rail fasteners are also presented and the main reasons for the track degradation due to the failure of the fastening elements are described.

Key words: railway track, track maintenance, track geometry, rail fasteners, widening, depression of track, track twist.

Для реализации Стратегии развития железнодорожного транспорта до 2030 года [1] перед холдингом «РЖД» стоит внушительный ряд задач, решение которых должно способствовать развитию железнодорожной инфраструктуры и повышению объемов грузоперевозок. Одной из задач является увеличение межремонтного ресурса железнодорожного пути, выраженного в пропущенном тоннаже до 1,5 млрд. т – 2,5 млрд. т, что частично решено благодаря таким ремонтам как сплошная смена рельсов в объеме среднего или подъемочного ремонта пути (РС и РП соответственно). В свою очередь промежуточные ремонты, в частности планово-предупредительная выправка железнодорожного пути (ППВ) должна быть направленна на поддержание состояния геометрии рельсовой колеи (ГРК) в условии, обеспечивающий безопасный и бесперебойный пропуск поездов с максимально допустимыми скоростями.

Соответственно, применение рациональных схем назначения и оптимальной технологии проведения ППВ является одной из необходимых условий продления межремонтного срока железнодорожного пути. Также не стоит забывать, что полигон железных дорог России распростерт в нескольких климатических зонах, что влечет за собой особые сложности в эксплуатации железнодорожного пути.

Состояние ГРК напрямую зависит от ряда факторов, основными из них являются:

– грузонапряженность (при высокой грузонапряженности скорость нарастания отступлений значительно выше вследствие повышенной скорости наработки тоннажа) [2];

– состояние балластной призмы (толщина балластного слоя, ширина плеча балластной призмы, процент загрязненности балласта);

– климатические условия (в условиях высоких перепадов температуры воздуха могут появляться пучины, зависимость вида работ от сезона года, влияние температуры плетей бессыкового пути на содержание и обслуживание пути);

– план линии (наличие кривых участков пути способствует расстройству геометрии рельсовой колеи) [3];

– состояние элементов верхнего строения пути (наиболее частый элемент, оказывающий влияние – промежуточное рельсовое скрепление (ПРС)) [4, 5, 6].

Провести оценку влияния состояния балластной призмы методом математического анализа практически невозможно. Причиной тому является отсутствие достоверных и структурированных данных в части толщины слоя балласта и фактической ширины плеча балластной призмы. Выявить фактическую толщину балластного слоя без полевых исследований невозможно, а ширину плеча балластной призмы возможно только путем периодического осмотра. Аналогичная ситуация и с загрязненностью балласта. Данных о проценте загрязненности балласта на пикете недостаточно, а влияние точечных мест с загрязненным балластом (выплеск) следует оценивать экспериментальными методами (с применением высокоточной тензометрической системы или прогибомеров) [7, 8].

Исследования в области состояния ГРК как российских ученых [9,10], так и зарубежных коллег [11,12,13] показывают, что для поддержания ГРК в надлежащем состоянии на протяжении всего межремонтного срока, необходимо совершенствование организационно-технологических процессов как проведения ППВ, так и текущего содержания железнодорожного пути в процессе эксплуатации. Для разработки подобных мероприятий необходим комплексный подход, который должен включать и анализ зависимости состояния ГРК от различных факторов влияния.

В данной работе приведены результаты исследований состояния ГРК в умеренном климатическом поясе Сибири. Анализ состояния ГРК проводился в

зависимости от грузонапряженности, плана линии и типа ПРС. В таблице приведены основные эксплуатационные характеристики исследуемых участков.

В данном случае участки были разделены с учетом наличия кривых, в зависимости от радиуса (при среднем радиусе 800-1000 м и 400-450 м).

Таблица – Основные эксплуатационных характеристики участков

Название параметра	Характеристика участков							
	путь I				путь II			
	КБ	АРС	ЖБР	ЖБР-Ш	КБ	ЖБР	ЖБР	ЖБР-Ш
Номер участка	1	2	3	4	5	6	7	8
Класс и код группы пути	1О (Особогрузонапряженная)							
Пропущенный тоннаж, млн. т	612	536	515	465	1190	1045	1038	1038
Год укладки	2008	2010	2009	2012	2006	2007	2007	2007
Скорость поездов пассажирских/грузовых, км/ч	100/80	90/80	80/80	90/80	110/80	80/80	80/80	90/80
Длина участков, км	44	6	10	30	57	16	9	9
Доля кривых, %	58,3	66,7	96,3	84,2	57,4	68,8	89,9	91,8
Средний радиус, м	1039	1038	443	426	1048	825	447	419
Минимальный радиус кривой, м	530	539	409	373	532	615	400	400

Подразумевается, что количество отступлений по ширине колеи (уширение и сужение) железнодорожного пути напрямую зависят от состояния элементов рельсовых скреплений, причем независимо от времени года. Содержание рельсовой колеи в профиле (просадка, уровень, перекос) в свою очередь зависит от состояния балласта и его загрязненности, наличия дефектов в основной площадке. Устраняются данные отступления двумя способами: либо путевым машинным комплексом за счет сплошной выправки пути или механизированным инструментом в летний период, либо работой со скреплениями, за счет укладки регулировочных карточек в течение всего года. Отступление в плане (рихтовка) характерно тем, что на появление данного отступления влияет как состояние балласта, так и состояние элементов скрепления. В летний период данные отступления устраняются за счет выправочных работ с балластом, в зимний период исключительно за счет работы со скреплением. Таким образом, отчетливо прослеживается взаимосвязь между эффективным содержанием железнодорожного пути в части геометрии рельсовой колеи и промежуточным рельсовым скреплением.

Для статистического анализа состояния ГРК использовались данные по отступлениям 2 степени (которые устраняются в плановом порядке) за период с мая 2010 по декабрь 2019 года. Для всех участков характерен рост отступлений в весенние и летние месяца, что обуславливается климатическими особенностями данного района. После оттаивания балласта в апреле еще на протяжении нескольким месяцев приходится бороться с неравномерной осадкой пути.

На рисунке 1 представлено процентное соотношение отступлений на исследуемых участках.

Из соотношений отступлений видно, что основная доля отступлений на всех участках приходится на уширение (30 – 62 %), также стоит отметить просадки и перекосы. Из сравнения участков видно, что в данных условиях использование скрепления КБ эффективней, чем АРС. В случае участков с кривыми радиусом менее 500 м (средний радиус – 400 м) на скрепление ЖБР-Ш пришлось на 54 % меньше отступлений, чем на ЖБР.

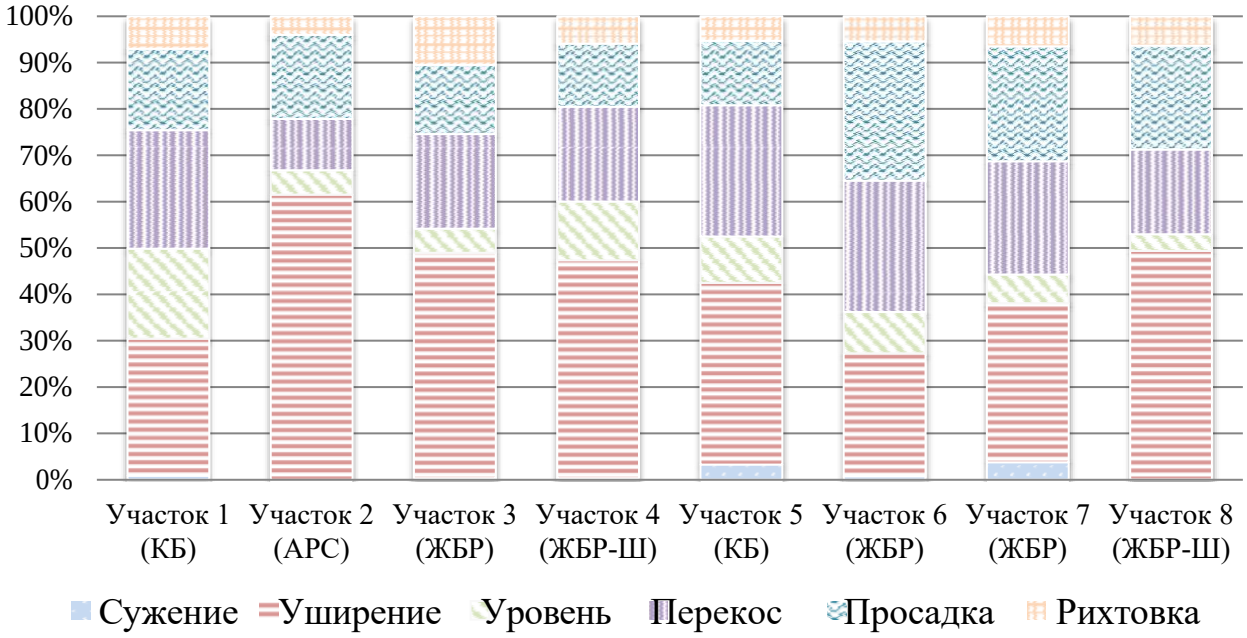


Рисунок 1 – Доля отступлений на исследуемых участках по видам

Наибольший интерес представляет собой участки 5 – 8, так как на данных участках промежуточные рельсовые скрепления осуществили пропуск свыше 1 млрд. т брутто. На данных участках заметна аналогичная картина, резки рост отступлений в апреле и их устойчиво количество до конца лета, причем в некоторых случаях снижение среднего количества отступлений происходит только к зиме. Сравнение отступлений на участках 5 и 6 (см. рис. 1) показало, что на скреплении ЖБР выявлено на 13 % меньше отступлений по ширине колеи, но общее количество отступлений выше, чем у КБ на 15 %.

На участках 7 и 8 схожая картина, скрепление ЖБР-Ш обеспечило меньшее количество отступлений (на 7 %), чем ЖБР, но на уширение пришлось 49 % от всех отступлений, против 34 % у ЖБР.

Для оценки влияния грузонапряженности (фактически наработка тоннажа), справедливо сравнивать участки 3 и 7 (тип ПРС – ЖБР), а также 4 и 8 (тип ПРС – ЖБР-Ш). На данных участках практически идентичный средний радиус (разница 0,9 – 1,6 %) а разница в пропущенном тоннаже – 50 и 55 % соответственно. Характер отступлений на данных участках схожий (см. рис. 1). Если рассматривать участки со скреплением ЖБР, то при двукратной разнице в наработке тоннажа разница в среднем количестве отступлений составляет 35,9 %, тогда как на участках со скреплением ЖБР-Ш - 56,3 %.

На всех участках наиболее распространенными отступлениями являются просадка, перекос и уширение. В случае отступлений в профиле, оценку состояния балластного слоя без выявления фактического процента загрязнения невозможно. В случае отступлений по ширине колеи, данные по количеству отступлений по уширению, могут помочь в оценке состояния элементов скреплений. Логично, что в большинстве случаев уширение ширины колеи появляется вследствие износа или отказа элементов скреплений.

На рисунках 2 и 3 представлены гистограммы распределения отступлений с учетом влияния ширины колеи для участков 7 и 8.

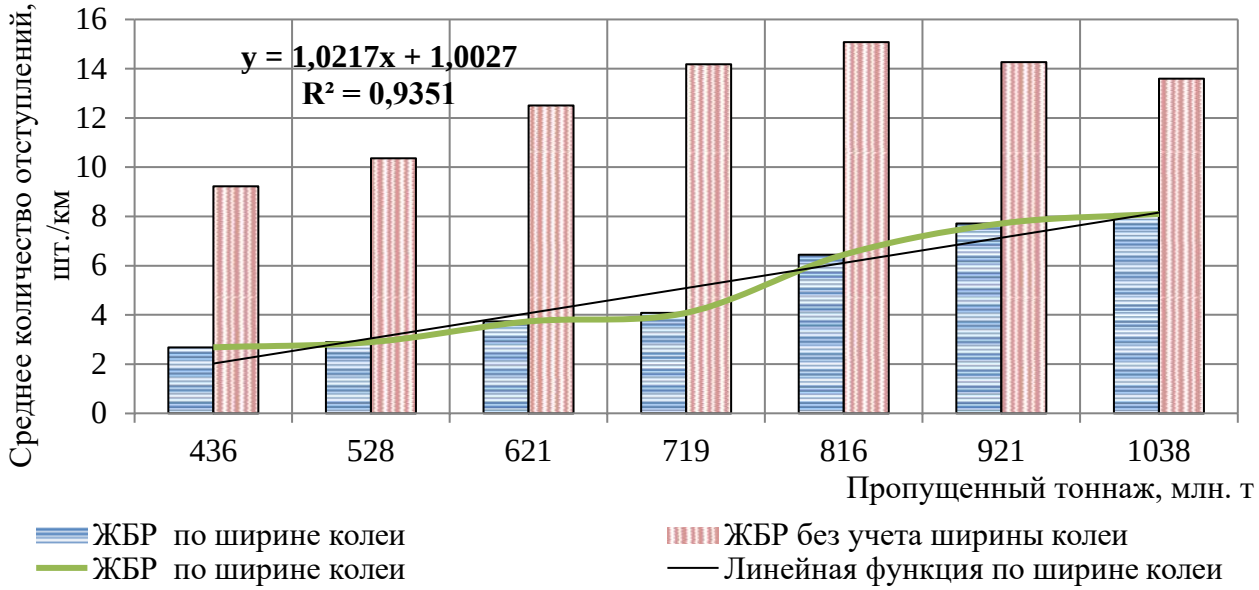


Рисунок 2 - Распределение отступлений с учетом влияния ширины колеи для участка 7

Из построенных гистограмм видна зависимость отступлений по ширине колеи от пропущенного тоннажа, соответственно и от состояния элементов ПРС. Методом наименьших квадратов эта зависимость описана линейными функциями (рис. 2; рис. 3).

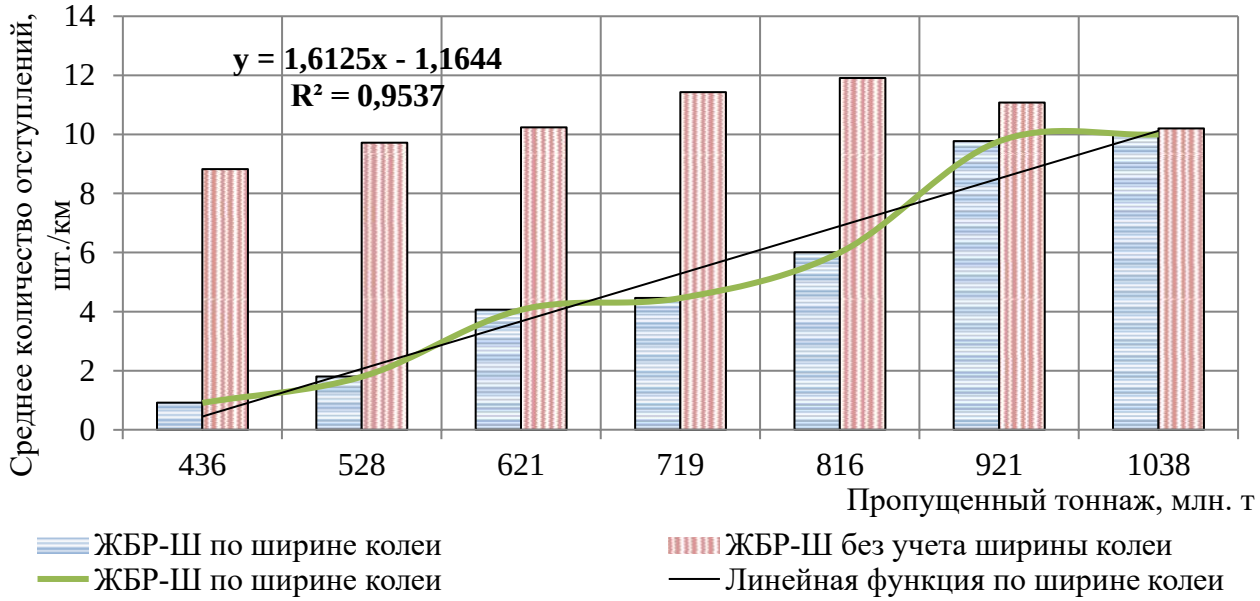


Рисунок 3 - Распределение отступлений с учетом влияния ширины колеи для участка 8

Таким образом, можно оценить, при наработке какого тоннажа необходимо применять меры по локальной смене элементов скреплений. Если сравнить рост отступлений по ширине колеи (уширения) на участках со скреплениями ЖБР и ЖБР-Ш, то видно, что до пропуска тоннажа в 816 млн. т количество отступлений было относительно равное. При пропуске свыше этого значения на участке 8 (ЖБР-Ш) количество отступлений по ширине колеи увеличилось на 39 % и с 2018 по 2019 г. составляло половину от всех отступлений. На фоне увеличения количества отступлений по ширине колеи заметно снижение отступлений в плане и профиле, что связано с проведением ремонта (РС) на данном участке. Причина в таком стремительном росте отступлений по ширине колеи заключается в повышенном отказе элементов скреплений после пропуска тоннажа 800 млн. т.

В результате натурного осмотра скреплений на данном участке было выявлено, что существует две основные проблемы, которые усложняют эксплуатацию скрепления ЖБР-Ш. Первая заключается в отсутствии подкладки, что увеличивает вероятность выскальзывания регулировочных прокладок из под подошвы рельса, что частично компенсируется прижатием шурпа, который исключает возможность ослабевания узла скрепления. Вторая проблем заключается в изломе шурупа (см. рис. 4) на участках, где проводились работы по регулировки ширины колеи или исправлению рихтовок в зимнее время, выявлены изломы шурупов, а также дефекты в дюбеле, что приводит к полной негодности узла скрепления. Наиболее распространенной причиной появления уширения является износ или излом регулировочных прокладок.

Рисунок 4 – Результаты натурных осмотров состояния промежуточных рельсовых скреплений ЖБР-65Ш:

1 – излом шурупа; 2 – дефект дюбеля; 3 – излом регулировочной прокладки

Между состоянием элементов ПРС и состоянием ГРК прослеживается взаимосвязь, с увеличением пропущенного тоннажа происходит повышенный износ элементов скрепления, вследствие чего происходит развитие отступлений, в большинстве случаев это отступления по ширине колеи, но также наблюдаются отступления в профиле и плане.

Увеличение статистических данных для актуальных типов скреплений (ЖБР-ПШ, ЖБР-ПШМ, ЖБР-ПШР) позволит выявлять зависимость отступлений по ширине колеи от пропущенного тоннажа для каждого типа скреплений. Помимо этого, следует учитывать конкретные условия эксплуатации (радиус кривых, климатические условия, осевые нагрузки), что в дальнейшем поможет планировать своевременную замену элементов скреплений.

С учетом того, что в настоящий момент нет конкретных значений по сроку службы элементов скреплений, а введение таких ремонтов как РС и РП подразумевает замену только дефектных узлов скреплений (следовательно, большая доля скреплений будет пропускать свыше 1 млрд. т брутто), вопрос о своевременной замене элементов скреплений является актуальным. Особенно в условиях пропуска сверхнормативного тоннажа и в кривых радиусом менее 500-600 метров. Также стоит учитывать период «зимних» условий работ, когда устранение неисправностей в профиле и плане осуществляется исключительно за счет устройства регулировочных прокладок (работа со скреплением). Своевременное проведение работ по замене дефектных (изношенных) элементов приведет к сокращению отступлений по ширине колеи, следовательно, и к повышению безопасности движения поездов на протяжении всего межремонтного срока железнодорожного пути.

Библиографический список

1. Стратегия научно-технического развития холдинга "Российские железные дороги" на период до 2025 года и на перспективу до 2030 года (Белая книга). Утверждено приказом ОАО "Российские железные дороги" №769/п. 2018. Москва. С. 128.

2. Akimov, S. Stability of the Supporting Subgrade on the Tracks with Heavy Train Movement / S. Akimov, S. Kosenko, S. Bogdanovich // Advances in Intelligent Systems and Computing, VIII International Scientific Siberian Transport Forum TransSiberia. Volume 2 Volume 1116 (2020) DOI: 10.1007/978-3-030-37919-3. – 2020, – Pp. 228-236.

3. Kosenko, S.A. Design of track structure for corridors of heavy-train traffic/ S.A. Kosenko, A.A. Akimov // MATEC Web of Conferences. – 2018. – N 239. – Pp. 1–12.

4. Севостьянов А.А. Выявление зависимости эксплуатационной работы промежуточных рельсовых скреплений от плана линии / А.А. Севостьянов, Д.В. Величко // Сборник научных трудов «Актуальные проблемы и перспективы развития транспорта, промышленности и экономики России (ТРАНСПРОМЭК-2019). 2019. Ростов-на-Дону. С. 246-250.

5. Величко Д.В. Оценка эксплуатационных показателей работы железнодорожного пути в зависимости от конструкции промежуточных рельсовых скреплений / Д.В. Величко, А.А. Севостьянов, В.В. Рошка // Вестник СГУПС. 2019. №3. Новосибирск. С. 23-30.

6. Косенко С.А. Оценка влияния промежуточных скреплений на интенсивность износа рельсов в кривых / С.А. Косенко, А.А. Акимов // Инновационные факторы развития транспорта. Теория и практика: материалы междунар. науч.-практ. конф.: в 3 ч. Ч. 1. – Новосибирск: изд-во СГУПС, 2018. – С. 32-40.

7. Коссов В.А. Влияние «сухих» выплесков на взаимодействие подвижного состава и пути / В.С. Коссов, О.Г. Краснов, М.Г. Акашев // Путь и путевое хозяйство. №5. 2019. С. 6-8.

8. Коссов В.А. Влияние влажных выплесков на силовое взаимодействие подвижного состава и пути / В.С. Коссов, О.Г. Краснов, М.Г. Акашев // Путь и путевое хозяйство. №2. 2020. С. 29-32.

9. Ермаков В.М. Оптимизация затрат на техническое обслуживание железнодорожного пути / В.М. Ермаков, А.Н. Акашов // Железнодорожный транспорт. №12. 2009. С. 32-35.

10. Третьяков А.А. Обоснование оптимальной толщины балласта при планово-предупредительном ремонте на базе цифровой модели местности / А.А. Третьяков // Известия ПГУПС. №4. 2014. С.73-80.

11. Khajehei H., Ahmadi A., Soleimanmeigouni I., Nissen A.: Allocation of effective maintenance limit for railway track geometry. Structure and Infrastructure Engineering. Volume 15. No. 12, pp. 1597-1612. (2019).

12. Chiachio J., Chiachio M., Prescott D., Andrews J.: A knowledge-based prognostics framework for railway track geometry degradation. Reliability Engineering and System Safety. Volume 181, pp. 127-141. (2019).

13. Jens CO Nielsen, Eric G Berggren, Hammar A.: Degradation of railway track geometry – Correlation between track stiffness gradient and differential settlement. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail and Rapid Transit. Volume 234. Issue 1, pp. 108-119. (2020).