

**ПРОБЛЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО
РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ СБОРНИК
НАУЧНЫХ ТРУДОВ**

МИНИСТЕРСТВО ТРАНСПОРТА И КОММУНИКАЦИЙ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УЧРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТРАНСПОРТА»

ПРОБЛЕМЫ
ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ

Международный сборник научных трудов

Под общей редакцией доктора технических наук А. К. ГОЛОВНИЧА

Гомель 2019

В сборник включены научные статьи ученых транспортных вузов по различным теоретическим и прикладным аспектам актуальных проблем развития железнодорожных станций и узлов.

Для магистрантов, аспирантов и научных работников, занимающихся проблемами развития железнодорожных станций и узлов.

Редакционный совет:

Головнич А. К. (главный редактор), доктор технических наук, доцент
(Гомель, БелГУТ);

Вакуленко С. П. (зам. главного редактора), кандидат технических наук,
профессор (Москва, РУТ – МИИТ);

Власюк Т. А. (отв. секретарь), кандидат технических наук, доцент
(Гомель, БелГУТ);

Негрей В. Я., доктор технических наук, профессор (Гомель, БелГУТ)

Еловой И. А., кандидат технических наук, доктор экономических наук,
профессор (Гомель, БелГУТ);

Бессоненко С. А., доктор технических наук, доцент
(Новосибирск, СГУПС);

Пазойский Ю. О., доктор технических наук, профессор
(Москва, РУТ – МИИТ);

Числов О. Н., доктор технических наук, доцент
(Ростов-на-Дону, РГУПС)

Р е ц е н з е н т ы:

профессор кафедры «Железнодорожные станции и узлы»
Сибирского государственного университета путей сообщения,

доктор технических наук **А. В. Дмитренко;**

профессор Дальневосточного государственного
университета путей сообщения,

доктор технических наук **А. С. Балалаев**

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
<i>Власюк Т. А.</i> Применение бифуркационного анализа пассажиропотоков при оценке взаимодействия различных видов транспорта в агломерации	5
<i>Головнич А. К.</i> Функционально-прототипирующая 3D-модель железнодорожной станции на основе физики процессов.....	15
<i>Вакуленко С. П., Голубев П. В., Телятинская М. Ю.</i> Выполнение реконструктивных мер по развитию станций и узлов с применением геоинформационных систем	40
<i>Дзюба И. С.</i> Определение расчетного габарита длинномерных грузов	46
<i>Дралова И. П.</i> Особенности проведения инженерно-геодезических изысканий на железнодорожных станциях.....	51
<i>Зубков В. Н., Чеботарева Е. А.</i> Развитие информационных технологий логистического управления грузопотоками в адрес портов Азово-Черноморского бассейна.....	55
<i>Каширцева Т. И.</i> Оптимизация параметров технико-технологической структуры пассажирских технических станций	61
<i>Корищенко К. И., Бессоненко С. А.</i> Имитационная модель движения отцепы в сортировочном парке с учетом движения назад после остановки	67
<i>Лебедев А. С.</i> Использование понятия экономического потенциала при определении этапности реконструкции нескольких железнодорожных объектов	77
<i>Пазойский Ю. О., Сидраков А. А., Савельев М. Ю.</i> Принципы расчета числа путей промежуточных станций высокоскоростных магистралей (на примере станции Владимир ВСМ).....	82
<i>Пазойский Ю. О., Савельев М. Ю., Сидраков А. А.</i> Специфика применения зонного параллельного графика движения пригородных поездов.....	86
<i>Покровская О. Д., Заблоцкая К. А.</i> Эволюционно-функциональное развитие транспортных узлов	92
<i>Покровская О. Д.</i> О логистической классности железнодорожных станций.....	100
<i>Потылкин Е. Н., Осипенко Л. В.</i> Анализ основных параметров железнодорожных путей необщего пользования в Республике Беларусь	107
<i>Рустамов А. Ф. о.</i> Повышение уровня сервиса железнодорожных пассажирских перевозок на основе цифровых технологий	113
<i>Ручкин И. В.</i> Вариант обоснования ниток графика передаточного движения на станциях предприятий промышленного железнодорожного транспорта.....	120
<i>Числов О. Н., Ильин А. М., Веревкина О. И.</i> Расчет норм закрепления составов поездов на станционных приемоотправочных путях в условиях переменных параметров подвижного состава и продольного профиля	128
<i>Числов О. Н., Кравец А. С.</i> Актуальные вопросы повышения эффективности функционирования транспортно-технологических систем зерновых грузов	135
<i>Шкандыбин Д. Н.</i> Современное состояние и перспективы развития грузового высокоскоростного движения	146
<i>Шульгина Д. Э.</i> Современные аспекты организации южнороссийских железнодорожных угольных перевозок	151
Правила оформления научных статей	157

ВВЕДЕНИЕ

Железнодорожные станции являются важным инфраструктурным элементом обеспечения эффективного перевозочного процесса. Благодаря рациональной структуре путевого развития и технического оснащения раздельных пунктов формируются высокопроизводительные транспортные системы, осуществляющие пропуск и переработку вагонопотоков различных категорий с минимальными задержками на маршрутах пересечения и незначительными пробегами подвижного состава при производстве маневровых операций. В условиях возрастающих скоростей движения поездов, увеличивающегося парка вагонов по грузоподъемности и длине базы, необходимости более тесного взаимодействия с другими видами транспорта требуется настоятельная необходимость проведения целого комплекса исследований по адаптации существующего и сооружения нового путевого развития железнодорожных станций и узлов, а также активного внедрения клиентоориентированных технологий, учитывающих соответствующую «подстройку» путевого развития и технического оснащения железнодорожных станций магистральной и промышленной сети.

В данном сборнике представлены научные статьи, посвященные этой тематике, объединенные общей направленностью идей и связанные с анализом современного состояния инфраструктуры станций, поиском эффективных проектных решений, способствующих более качественной организации перевозочного процесса. Большое внимание уделяется применению информационных технологий в теории и практике реконструкции инфраструктуры железнодорожных станций. Современный уровень развития компьютерного моделирования позволяет решать задачи технического прогнозирования развития станций в пространстве сложных моделей, в т. ч. реалистичных трехмерных конструкций. Воспроизведение натурной технологии работы станций в соответствующих продуктивных моделях обладает значительными резервами для проверки проектных решений на прототипирующих реконструкциях, выявляя недостатки вариантных предложений и рассчитывая значения достигаемых контрольных параметров. Ряд научных статей сборника акцентирует внимание на данных направлениях, определяя их важность и значимость для повышения эффективности работы инфраструктуры станций.

УДК 51-7: 656.2

Т. А. ВЛАСЮК

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)
vlasiuk.ta@gmail.com

ПРИМЕНЕНИЕ БИФУРКАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПАССАЖИРОПОТОКОВ ПРИ ОЦЕНКЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА В АГЛОМЕРАЦИИ

Рассматриваются особенности использования бифуркационного анализа применительно к анализу пассажиропотоков в узлах взаимодействия крупных городов. Учитываются возможные влияния целого ряда факторов различной природы. С возникновением бифуркации обращается внимание на непредсказуемость транспортных процессов.

Основы теории бифуркации заложены А. Пуанкаре и А. Ляпуновым и в середине XX в. развиты А. Андроновым [13]. Анализ результатов исследований различных ученых показывает, что бифуркация может быть рассмотрена как процесс, при котором устойчивое состояние объекта в какой-то момент времени становится неустойчивым, вследствие чего развитие процессов может продолжаться не по данной расчетной траектории, а по некоторым новым, которые определяются ветвлением решений нелинейных дифференциальных уравнений [1–3].

Механизм трансформации данного процесса применительно к анализу пассажиропотока основан на миграции населения и связан с разветвлением транспортных процессов обслуживания различными видами транспорта, определяемым наличием конкуренции аттракторов, включающих различную стоимость поездки пассажира, ее продолжительности и др. (рисунок 1).

Функция выбора пассажиром вида транспорта от указанных параметров может быть представлена как $f(C, T)$, где C – стоимость, T – продолжительность поездки. Введем эмпирические коэффициенты α и β , при этом $f(\alpha)$ и $f(\beta)$ – соответственно количество пассажиров, выбирающих проезд на железнодорожном и автомобильном видах транспорта.

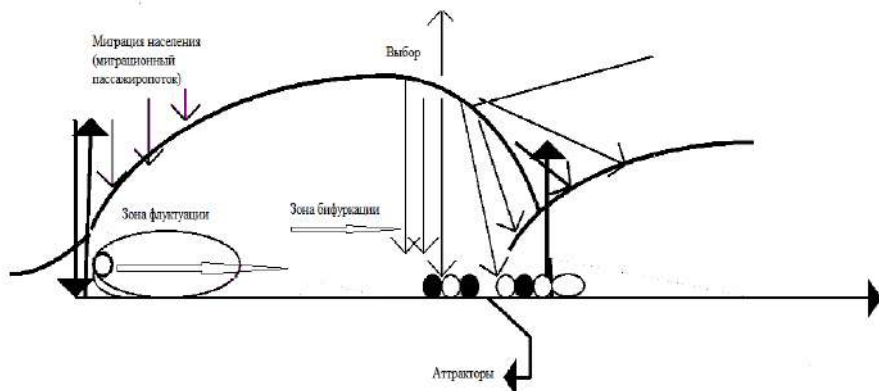


Рисунок 1 – Механизм бифуркации с учетом миграции населения

Исходя из предлагаемых эмпирических коэффициентов могут быть рассмотрены различные виды зависимости параметров выбора (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – Краткая характеристика видов зависимости

Вид зависимости	Параметрическая модель
Линейная	$F(C, t) = \alpha C + \beta T$
Логарифмическая	$F(C, t) = \alpha \ln C + \beta \ln T$
Тригонометрическая	$F(C, t) = \alpha \sin C + \beta \cos T$
	$F(C, t) = \alpha \cos C + \beta \sin T$
	$F(C, t) = \alpha \sin C + \beta \cos T$
	$F(C, t) = \alpha \sin C + \beta \sin T$

Рассмотрим важные для бифуркации предпочтения пассажира относительно выбора автомобильного или железнодорожного транспорта в зависимости от различной стоимости поездки и ее продолжительности (таблица 2).

При выборе вида транспорта возможны различные варианты в интервале времени от данной бифуркации до следующей, когда пассажиропоток возвращается в исходное или близкое к нему состояние. Только на этом этапе возможно достаточно точное прогнозирование направления дальнейшего выбора вида транспорта. Особо следует выделить путь развития, при котором бифуркация под действием какого-либо даже незначительного события «скачком» переводит пассажиропоток в совершенно новое, заранее непредсказуемое, качественное состояние, часто характеризующееся как катастрофическое (например, использование пассажирами новых видов транспорта). В точке бифуркации, в качестве которой может выступать центр зарождения или погашения пассажиропотока, например, вокзал (железнодорожный, речной, пункт пересадки и т. п.), появляется новый путь развития, именуемый как «аттрактор», отличающийся от других относительной устойчивостью.

Т а б л и ц а 2 – Краткая характеристика бифуркационного процесса с учетом выбора пассажиром вида транспорта

Форма представления бифуркационного пассажиропотока		Вариант предпочтений пассажира
формализованная	параметрическая	
$\Pi \rightarrow \begin{cases} A(C, T) \\ Ж(C, T) \end{cases}$ <p>где Π – пассажиропоток</p>	<p>Автомобильный транспорт</p> $A(C, T) \rightarrow \begin{cases} T > T_d \\ C > C_d \\ T < T_d \\ C > C_d \end{cases}$ <p>где C_d, T_d – приемлемые для пассажира стоимость и продолжительность поездки ($T_d = 1$)</p>	<p>Значительная продолжительность поездки и ее высокая стоимость или высокая стоимость при непродолжительной поездке</p>
	<p>Железнодорожный транспорт</p> $Ж(C, T) \rightarrow \begin{cases} T > T_d \\ C > C_d \\ T < T_d \\ C > C_d \end{cases}$ <p>где $C_d = (0, C), T_d = (0, T)$</p>	<p>Продолжительная поездка и ее высокая стоимость или недорогая стоимость при непродолжительной поездке</p>
	<p>Автомобильный транспорт</p> $A(C, T) \rightarrow \begin{cases} T > T_d \\ C > C_d \\ T < T_d \\ C < C_d \end{cases}$	<p>Непродолжительная поездка при низкой стоимости</p>
	<p>Железнодорожный транспорт</p> $Ж(C, T) \rightarrow \begin{cases} T > T_d \\ C > C_d \\ T < T_d \\ C > C_d \end{cases}$	<p>Высокая стоимость скоростной поездки и значительная продолжительность при высокой ее стоимости</p>

Если рассматривать пример, приведенный в таблице 2 с учетом скорости доставки пассажиров, то возможны другие варианты, представленные в таблице 3.

Например, если выбор пассажира приходится на вид транспорта, соответствующий его требованиям относительно скорости и продолжительности поездки, то можно сказать, что он находится в области аттрактора и далее будет наблюдаться эффект притяжения к нему.

Таким образом, в данном случае аттрактор – это относительно устойчивое состояние пассажиропотока, являющееся основой для развития множества направлений, возможных после точки бифуркации [1–3, 9, 12].

Т а б л и ц а 3 – Краткая характеристика бифуркационного процесса выбора пассажира в зависимости от скорости передвижения транспорта

Формализованный бифуркационный пассажиропоток	Условия	Краткая характеристика
$\Pi \rightarrow \begin{cases} \text{А} \rightarrow \begin{cases} v > v_d \\ v < v_d \\ s > s_d \end{cases} \\ \text{Ж} \rightarrow \begin{cases} v > v_d \\ v < v_d \\ s < s_d \end{cases} \end{cases}$	$0 < v < v_d$, где v_d – предельно допустимая скорость поездки; s_d – предельно допустимая стоимость поездки	Скорость и стоимость поездки высокие
		Скорость поездки выше при низкой стоимости

Возвращение пассажиропотока в область устойчивого состояния происходит в результате сочетания управляющих параметров (преднамеренных и необходимых, например, достаточного количества свободных мест в региональных поездах) и случайных событий, таких как рост миграции населения, что приводит к усложнению структуры пассажиропотока, увеличению его объема (появлению новых свойств). Поэтому для ситуации, при которой требуется повысить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, аттракторами могут выступать различные типы структур, имеющих симметричную, правильную форму (расписание движения поездов, тип подвижного состава и др.). При этом необходимо учитывать, что аттракторы в традиционном понимании обладают способностью возвращаться в первоначальное состояние через некоторое время, что определяется как их асимптотическая устойчивость (рисунок 2) [5, 6].

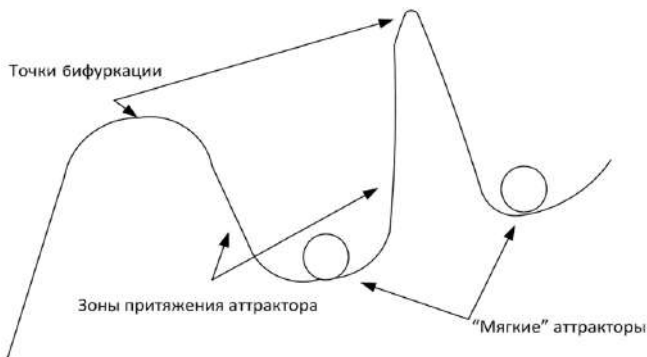


Рисунок 2 – Траектории развития аттракторов

Определим стационарные точки (аттракторы) через систему уравнений, которые являются алгебраическими решениями:

$$\begin{cases} r_1, \mathcal{J} \left(1 - \frac{\mathcal{J}}{n_1} \right) = 0 \\ r_2, A \left(1 - \frac{A}{n_2 + a_{21}\mathcal{J}} \right), \end{cases} \quad (1)$$

Аттракторы в данном примере являются стационарными точками равновесия и могут быть определены из условия

$$\frac{d\mathcal{J}}{dt} = \frac{dA}{dt} = 0. \quad (2)$$

Тогда система уравнений (1) имеет четыре пары корней:

$$\begin{aligned} \mathcal{J}^{(1)} = 0, \quad A^{(1)} = 0, \quad \mathcal{J}^{(2)} = 0, \quad A^{(2)} = n_2, \quad \mathcal{J}^{(3)} = n_1, \quad A^{(3)} = 0, \\ \mathcal{J}^{(4)} = n_1, \quad A^{(4)} = n_2 + a_{21}n_1. \end{aligned} \quad (3)$$

Если аттракторы устойчивы, то характеристики \mathcal{J} и A будут стремиться к ним, и наоборот, если не устойчивы – удаляться от них.

Таким образом, изучение бифуркационных нелинейных явлений имеет большое прикладное значение, так как позволяет изучать кризисные события в моделируемых системах. Важным свойством нелинейных систем является то, что в простых и в сложных системах возникают бифуркации одного и того же типа. Это дает возможность свести задачи исследования бифуркаций исходной системы к изучению более простой (модельной) системы. Из сказанного следует, что выбор конкретного пути развития в точке бифуркации может осуществиться под влиянием малого управляющего воздействия либо может быть вообще случайным. Следовательно, чтобы начался процесс формирования новой сложной структуры, отдача энтропии (внутренней энергии) должна превысить некоторое критическое значение, что приведет систему в неравновесное состояние, содержащее в себе неопределенность, вероятность и случайность (рисунок 3) [3].

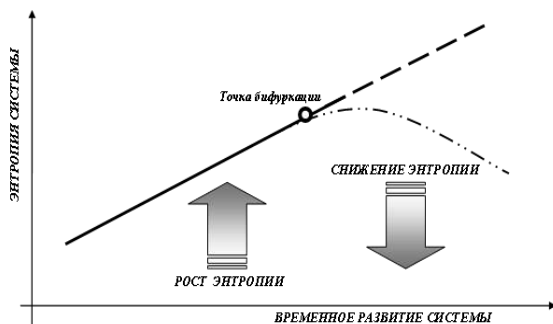


Рисунок 3 – Схема бифуркации с учетом энтропии

Энтропия системы определена В. И. Швецовым как состояние с наибольшим статистическим весом, доставляющее максимум некоторой функции в пространстве состояний. Тогда применительно к бифуркации пассажиропотока его энтропия может быть определена как

$$\Pi^B(f) = \sum_{ij} f_{ij} \ln \left(\frac{f_{ij}}{v_{ij}} \right), \quad f = \{f_{ij} | i, j \in R\}, \quad (4)$$

где f_{ij} – количество аттракторов, находящихся в состояниях (i, j) ; v_{ij} – приоритетные, наиболее вероятные значения f_{ij} .

Случайное событие вызывает неустойчивость, которая служит толчком для возникновения новых конфигураций. Так, при изменении управляющих параметров в пассажиропотоке могут наблюдаться разнообразные переходные явления. Вблизи точки равновесия стационарное состояние асимптотически устойчиво, поэтому в силу непрерывности эта динамика простирается до критической области. При достижении критического значения процесс может стать неустойчивым, так что любое, даже небольшое изменение переводит систему в новое устойчивое состояние, которое может быть упорядоченным.

Можно выделить следующие свойства точки бифуркации:

- 1) наличие нескольких аттракторов, определяемых как устойчивые режимы работы транспорта, один из которых будет выбран пассажирами;
- 2) кратковременное существование с разделением различных зон эволюционного или революционного развития.

Зоны развития флуктуации и бифуркации приводят к значительным изменениям значений параметров в различные периоды времени. При этом, например, остановочный пункт или вокзал может быть представлен в виде специальной точки, являющейся полюсом – центром тяготения пассажиропотока. Тогда входные полюса для рассматриваемого примера пассажиропотока $\Pi_{\text{пр}}^v$ с железнодорожного транспорта, следующего до вокзала или остановочного пункта, можно представить в виде

$$\Pi_{\text{ж}}^v = \left\{ \Pi_{\text{ж}_1}^v, \dots, \Pi_{\text{ж}_j}^v, \dots, \Pi_{\text{ж}_n}^v \right\} \quad (5)$$

Для выхода имеем множество выходных полюсов (пассажиропоток городского общественного транспорта ($\Pi_{\text{гор}}^v$)):

$$\Pi_{\text{гор}}^v = \left\{ \Pi_{\text{гор}_1}^v, \dots, \Pi_{\text{гор}_j}^v, \dots, \Pi_{\text{гор}_r}^v \right\} \quad (6)$$

Пересечение множества полюсов элементов рассматривается как связь

$$C_v^B = \left[\bigcup_{i=1}^{m_v} \Pi_{\text{ж}_i}^v \right] \cap \left[\bigcup_{j=1}^{n_v} \Pi_{\text{гор}_j}^v \right] \quad (7)$$

При установлении зависимости одних параметров, например, входов (в рассматриваемом примере пассажиропоток железнодорожного транспорта) от других выходов (пассажиропоток городского общественного транспорта) можно получить модель с обратной связью (рисунок 4).



Рисунок 4 – Модель обратной связи

Если оценка результата меньше оценки входа, то за счет регулирования можно увеличить его интенсивность, и наоборот, в случае если больше оценка входа, то проводится его снижение. Следовательно, обратная связь положительна, если возрастающие результаты увеличивают интенсивность входа, и отрицательна, если возрастающие результаты уменьшают его интенсивность [7].

Проведенное исследование показало, что наличие точки разделения, которой является вокзал или остановочный пункт, позволяет рассмотреть ее как бифуркацию, вызывающую изменения в транспортной системе. Это приводит к значительным корректировкам значений характеристических параметров в течение коротких отрезков времени и невозможность их прогнозирования в силу почти стохастического характера направления этих изменений (так называемый эффект выбора пути).

Следует отметить, что стохастические системы относятся к классу нелинейных динамических систем и могут быть представлены уравнением

$$S^T(t) = G[\lambda, \Pi_{\text{пр}}^v(t), \Pi_{\text{гор}}^v(t)] | t_0 \leq \tau \leq t, \quad (7)$$

где $\Pi_{\text{пр}}^v(t)$ – входной случайный процесс (пригородный или региональный пассажиропоток, следующий до вокзала или остановочного пункта); $\Pi_{\text{гор}}^v(t)$ – выходной случайный процесс (пассажиропоток с городского общественного транспорта); λ – случайность нелинейного преобразования, представляемого функционалом G .

Следовательно, в сложных системах, к которым относится пассажирская транспортная система, можно выделить несколько последовательно и

параллельно связанных между собой контуров обратной связи, что подтверждается исследованиями [4, 8]. Например, в середине XX века железнодорожный транспорт занимал доминирующее положение при перевозке пригородных пассажиров. Однако в результате интенсивного роста уровня автомобилизации в начале XXI века значение параметра входа применительно к железнодорожному транспорту изменилось, и новые его значения служат индикатором возрастающей диспропорции в транспортной системе. При этом необходимо учесть, что факторы, влияющие на данные параметры системы, начинают действовать задолго до того, как эволюционная стадия сменится революционной. Какое-то время транспортная система сохраняет устойчивость, несмотря на то, что ряд характеризующих её параметров претерпевает необратимые изменения и сохраняется за счёт других значений, которые продолжают задавать ее прежние базовые свойства. Но в определённый момент времени данных параметров, сохраняющих прежние значения, оказывается недостаточно, и транспортная система изменяет свое состояние, оказываясь в точке бифуркации. Но вследствие изменений не успевает сформироваться совокупность новых значений параметров, задающих комплект её базовых свойств, которые могли бы обеспечить стабильное функционирование системы. Поэтому характеристические параметры получают набор некоторых временных значений, обеспечивающих кратковременную псевдоустойчивость системы, которая переводится в новое состояние.

Таким образом, предложенный анализ позволит осуществить научно обоснованный выбор того или иного вида транспорта для качественного формирования или развития конкретной пассажирской транспортной системы и эффективно реализовать научно-технические решения по ее дальнейшему развитию.

Следует отметить, что приведенный анализ особенно важен для железнодорожного пригородно-городского сообщения, где учет потребностей основных сегментов пассажиропотока в удобное время отправления и прибытия региональных (пригородных) поездов по начальным и конечным станциям, в рабочие, выходные и праздничные дни должен производиться при прокладке ниток графика движения поездов. Это обеспечивает адресность назначаемых поездов и их заполняемость при прочих равных условиях эксплуатации. Неучет целей поездки, режима работы и других побудительных факторов в значимых сегментах ведет к невостребованности проложенных ниток графика движения поездов, неоправданному ожиданию отправления поездов переходу части пассажиров на автомобильный транспорт. Однако эти факторы могут быть антагонистически связаны, например, для пассажиров более комфортной является поездка при минимальном населенности вагона, а для железной дороги – наоборот [5–7].

Таким образом, после коротких периодов псевдоустойчивости пассажиропоток под воздействием указанных факторов может возвращаться в бифуркационные отрезки повышенной неустойчивости с эффектом выбора пути и повышенной чувствительностью к малым, точечным воздействиям, значения параметров которых могут несколько раз меняться. Тогда периоды псевдоустойчивости связаны как

$$B_M^X \Rightarrow B_M^Y \Rightarrow B_M^Z. \quad (8)$$

При этом наиболее эффективными оказываются те воздействия, которые приближают пассажиропоток к его будущему устойчивому состоянию, т. е. меняют значения характеристических параметров $B_M^{X(Y,Z)}$ на такие, которые обеспечат новый комплект базовых свойств устойчивого пассажиропотока в будущем B_M^N .

$$B_M \Rightarrow B_M^X \Rightarrow B_M^Y \Rightarrow B_M^Z \Rightarrow B_M^N. \quad (9)$$

Этот процесс происходит до тех пор, пока необходимый набор значений не будет присвоен некоему критическому набору параметров $B_1^N, B_2^N, \dots, B_N^N$, который зафиксировывает возможность стабилизации пассажиропотока вокруг заданных им свойств. Бифуркационный процесс заканчивается, когда заканчиваются попытки ввода пассажиропотока в неустойчивое состояние [5–7].

Таким образом, на краткосрочном выборе каждого пассажира основывается равновесие транспортных предпочтений, недостаточно изученных в современных условиях и в которых приоритет отдается автомобильному транспорту, что приводит к возникновению множества социальных и экологических издержек, не компенсируемых автомобилистами (например, к росту числа автостоянок и, как следствие, отчуждению земель с территориальным «расползанием» городов при снижении численности в них). Следовательно, развитие представленного направления закладывает единые методологические основы организации транспортного обслуживания на различных видах транспорта, обеспечивая при этом приемлемую конкуренцию между ними, создает стимулы для поиска новых технологий, повышения качества обслуживания пассажиров, использования принципов синергетики в организации пассажирских перевозок.

Таким образом, пассажиропотоки на различных видах транспорта как сложные системы, отличающиеся разнообразием состояний, требуют нового подхода к их анализу и управлению. Следует подчеркнуть, что высокая степень потенциальных возможностей транспорта и низкая степень их

реализации в случае неэффективной организации транспортной схемы обслуживания будет формировать опасные тенденции его развития с приоритетом одного вида по отношению к другому.

Подводя итог, можно отметить следующие ключевые положения эффективного взаимодействия видов транспорта:

1) источником неустойчивости пассажиропотока является имманентно воспроизводящееся противоречие между возможностями транспортных средств, имеющих различные ограничения, например, по скорости передвижения, комфорту поездки и т. п., что не всегда соответствует потребностям пассажиров;

2) содержание и направленность диссипативных процессов, происходящих в пассажиропотоках, сводится к прогрессирующему процессу творчества социума, выражающегося как в познании естественных законов природы, так и в создании всё более совершенных искусственных систем, эволюция развития которых направляется специфическим аттрактором, представляющим собой набор определенных целей, к которым они тяготеют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теория бифуркаций / В. И. Арнольд [и др.]. – М. : Наука, 1990. – 128 с.
- 2 Теория бифуркаций динамических систем на плоскости / А. А. Андронов [и др.]. – М. : Наука, 1967. – 485 с.
- 3 *Афраймович, В. С.* Размерность и энтропия в многомерных системах. Нелинейные волны. Динамика и эволюция / В. С. Афраймович, А. М. Рейман; под ред. А. В. Гапонова-Грехова, М. И. Рабиновича. – М., 1989. – 400 с.
- 4 *Ваксман, С. А.* Транспортные системы городов: наука и практика первого десятилетия XXI века / С. А. Ваксман // Социально-экономические проблемы развития транспортных систем городов и зон их влияния : материалы X Международной НПК. – Екатеринбург, 2004. – С. 12–18.
- 5 *Власюк, Т. А.* Особенности моделирования транспортных систем // Проблемы безопасности на транспорте : тезисы докладов Междунар. науч.-практ. конф. / Т. А. Власюк; под общ. ред. проф. В. И. Сенько. – Гомель : БелГУТ, 2012. – С. 67–68.
- 6 *Власюк, Т. А.* Особенности маркетинга пассажирских перевозок с учетом бифуркационных процессов в транспортных системах крупных городов, Т. А. Власюк // Маркетинг и логистика в системе менеджмента пассажирских перевозок на железнодорожном транспорте : тезисы докладов III Международной науч.-практ. конференции. – Киев, 2012. – С. 22–25.
- 7 *Власюк, Т. А.* Моделирование взаимодействия железнодорожного и автомобильного транспорта по обслуживанию пассажиропотоков в крупных городах / Т. А. Власюк // Железнодорожный транспорт. – М : ВИНТИ. – 2013. – № 7. – С. 54–60.
- 8 Введение в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособие / А. В. Гасников [и др.]; под ред. А. В. Гасникова – М. : МФТИ, 2010. – 362 с.
- 9 *Ильяшенко, Ю. С.* Аттракторы и их фрактальная размерность / Ю. С. Ильяшенко. – М. : МЦНМО, 2005. – 16 с.

10 Йосс, Ж. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций / Ж. Йосс, Д. Джозеф. – М. : Мир, 1983. – 301 с.

11 Кузнецов, А. П. Динамические системы и бифуркации / А. П. Кузнецов. – Саратов : Наука, 2015. – 168 с.

12 Kuznetsov, Yu. A. Elements of applied bifurcation theory / Yu. A. Kuznetsov. –New York : Springer-Verlag, 1998. – 591 p.

13 Ляпунов, А. М. Общая задача об устойчивости движения / А. М. Ляпунов. – М.–Л. : Гостехиздат, 1950. – 471 с.

14 Паташинский, А. З. Флуктуационная теория фазовых переходов / А. З. Паташинский, В. Л. Покровский. – М. : Наука. 1982. – 381 с.

15 Постнов, Д. Э. Бифуркации регулярных аттракторов : учеб. пособие / Д. Э. Постнов. – Саратов : Колледж, 1996. – 102 с.

17 Марсден, Д. Бифуркация рождения цикла и ее приложения : пер. с англ. / Д. Марсден, М. Мак-Кракен. – М., 1980. – 180 с.

T. A. VLASIUK

APPLICATION OF BIFURCATION ANALYSIS OF PASSENGER FLOWS IN THE ASSESSMENT OF THE INTERACTION OF DIFFERENT TRANSPORT MODES IN AN AGGLOMERATION

Characteristics of the bifurcation analysis application in relation to the analysis of passenger flows in the interaction junctions of large cities are considered. Possible effects of a variety of factors of different nature are taken into account. With the onset of The author draws attention to the unpredictability of the transport processes when bifurcation takes place.

Получено 16.10.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.21:004.414.23

А. К. ГОЛОВНИЧ

*Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)
golovnich_alex@mail.ru*

ФУНКЦИОНАЛЬНО-ПРОТОТИПИРУЮЩАЯ 3D-МОДЕЛЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ ФИЗИКИ ПРОЦЕССОВ

Исследуется возможность воспроизведения технологических процессов железнодорожной станции в динамической трехмерной модели в соответствии с физическими законами движения, соударения и трения объектов пути, подвижного состава и груза. Определяются критерии качества модельной реконструкции про-

цессов, обеспечивающих верифицируемое прототипирование операций обслуживания поездо-, вагоно-, пассажиро- и грузопотоков на станциях.

Технологические операции, выполняемые на железнодорожной станции с поездо- и вагонопотоками, основываются на физических процессах взаимодействия объектов подвижного состава и пути (движение с установленной скоростью, разгон, торможение в составе поезда, столкновение вагонов в подгорочном парке при роспуске с горки и др.). Повторяемость технологических операций позволяет рассматривать железнодорожные станции как эффективную площадку для результативного моделирования процессов замкнутого цикла. Полноценная имитация технологии работы станции может быть получена при воспроизведении исходных силовых воздействий, вынуждающих вагон скатываться с горки, груз отсыпаться в конусообразный профиль или перемещаться в подвижном составе при резком торможении поезда и т. д. Значения многих характерных параметров технологических операций (скорость скатывания отцепов с определенным количеством вагонов и весовыми параметрами, продолжительность разгрузки платформы со щебнем на повышенном пути, время торможения до полной остановки маневрового состава, движущегося с определенной скоростью) могут быть определены при решении стандартных физических задач с учетом особенностей транспортных процессов. В результате можно определять величины характеристик координатного положения объектов или внутреннего их состояния, что позволит по вычисляемым результатам через заданные промежутки времени реконструировать динамические процессы передвижения вагонов на станции, а также рассчитывать возникающие напряжения в рельсах и шпалах и др. Трехмерная инсталляция, как способ представления результатов расчета, обладает высокой эффективностью натурализации процессов, выражающаяся в реалистичности и наглядности образных форм станционных объектов, вовлеченных в технологические операции. Восприятие 3D-образов как псевдореальности обеспечивает в практической работе оперативному работнику психологический комфорт, способствующий уверенному управлению технологическими процессами и принятию правильных решений как адекватных реакций на возникающие ситуации, отождествляя модельные реконструкции с реальными прототипами.

Современные информационные технологии предоставляют достаточно совершенные программные среды, имитирующие действие различных физических законов. Игровая компьютерная индустрия реализует сложные алгоритмы, позволяющие визуально воспроизвести взаимодействия тел, их притяжение, столкновение и др. На программном уровне рассчитываются следствия соударения упругих тел, течения жидкостей, газов [1]. Конструирование физических явлений в информационных средах, подобных Unity,

осуществляется одновременно для большого числа объектов, что создает иллюзию массового притяжения тел в результате потери равновесия или внешнего воздействия, взаимодействий объектов при ударе, движения совокупности объектов по различной поверхности, соответствующей рельефу местности и др. [2]. При этом реалистичность внешнего вида и динамики модельных объектов оказывается настолько высокой, что возникает ощущение просмотра записанного на видеокамеру реального процесса.

Принципиальным является вопрос о внутреннем содержании симуляций действия физических сил тяготения, инерции, трения. Сложность и определенная неизвестность природы этих сил приводит к тому, что реконструкции наблюдаемых технологических эффектов требуют оценки достоверности их реализуемости. Для моделирования процессов на железнодорожной станции основным критерием качества визуального воспроизведения физических явлений должно быть определенное некоторой количественной мерой соответствие модельных и наблюдаемых в реальности следствий действия различных сил на протяжении некоторого времени реконструкции. Рассчитанные и действительные состояния виртуальных тел и их прототипов при одинаковых исходных позициях зависимых параметров должны совпадать с достаточной точностью (точка остановки модельного вагона на железнодорожном пути после погашения кинетической энергии сопротивлением движению должна быть такой же как в реальной ситуации; падение насыпного груза с конвейера в вагон через загрузочное устройство должно приводить к формированию конуса штабеля с углом естественного откоса, одинакового для модели и прототипа; скатывание подвижного состава по скоростному уклону горки без тормозящего действия замедлителей должно приводить в конкретной точке профиля к расчетной скорости модельного отцепа, равной скорости такого же отцепа для реальной горки и др.). Совпадение с заданной точностью сравниваемых состояний указывает на достаточную верифицируемость вычислительного эксперимента.

Оценочный критерий достоверности моделирования следует применять на некоторой временной последовательности состояний виртуальных объектов. В этом случае более длинные сравниваемые ряды будут компенсировать влияние случайных факторов фиксированных событий. Поэтому функционирование модельной станции можно ориентировать на действие систематических факторов, устойчиво проявляющихся на данном временном отрезке моделирования [3].

Интервал времени, охватывающий связную последовательность станционных операций, границы которого подлежат оценке качества моделирования по критерию согласования с прототипными процессами, целесообразно определить как технологический лаг модели станции (ТЛМС).

Величина ТЛМС выбирается таким образом, чтобы учитывалось влияние систематических факторов, а действие случайных составляющих взаимно компенсировалось и погашалось. ТЛМС не остается постоянным на протяжении всего периода моделирования работы станции. По-видимому, существуют некоторые условия, при которых возникают устойчивые ритмы ТЛМС, повторяющиеся от цикла к циклу функционирования станции и находящиеся в строгом соответствии с определенными реальными станционными событиями.

Разработка имитирующего алгоритма реконструкции физических процессов на железнодорожной станции подразумевает построение некоторого механизма взаимодействия модельных тел, приводящих к адекватному действительности изменению их состояний, определяемых соответствующими признаками объектов. Например, модельный аналог вагона наделяется атрибутивным свойством массы, обеспечивающим его воздействие на верхнее строение пути и земляное полотно. Модельный груз благодаря этому атрибуту устремляется вниз при потере точки опоры (при открытии люка платформы или хоппера, поворота ковша грейфера при погрузке груза в полувагон, отрыве отцепа от надвигаемого на сортировочную горку состава). Таким образом, реконструкция физических процессов обеспечивает выполнение операций с поездами, вагонами и грузами на станциях. Определенная технологическая операция, выполняемая на железнодорожной станции, рассматривается как интегральная конструкция соответствующей последовательности физических процессов, в которые вовлечены станционные объекты. Результат физических эффектов действия различных внешних сил определяет достигаемое технологическое состояние станционных объектов (таблица 1).

Операции расформирования составов, указанные в таблице 1, складываются из ряда определенных физических процессов. Такие моделируемые технологические операции называются *трансфокусными*. Моделирование других операций основывается на процессах, не вызывающих изменений состояния пути или подвижного состава. Такие операции называются *контрафокусными* (например, операция раскредитования документов в товарной конторе). Трансфокусные операции могут быть *чистыми* (со слагаемыми их элементарными конструкциями только физического характера) и *смешанными* (некоторые их элементы могут относиться к контрафокусным). С другой стороны, контрафокусные операции также разделяются на *чистые* и *смешанные*.

Смешанные трансфокусные операции характеризуются преимущественным (75 % и более) содержанием процессных позиций, основанных на физике событий, в то время как смешанные контрафокусные операции охватывают 75 % и более технологических конструкций нефизического

плана. Общая классификация станционных процессов по признаку их физического содержания приведена на рисунке 1.

Т а б л и ц а 1 – Последовательность взаимосвязанных физических процессов и технологических операций при обслуживании вагонопотоков, поступающих в переработку

Технологические операции	Физические операции
1 Прием поезда на станцию	1.1 Перевод остялков стрелочных переводов по сигналу с пульта поста дежурного по станции в положение, разрешенное для маршрута приема поезда с перегона
	1.2 Изменение показания входного сигнала на разрешенное для приема поезда
	1.3 Движение поезда по пути приема благодаря тяге локомотива
	1.4 Торможение поезда с прижатием тормозных колодок к колесам вагонов
	1.5 Погашение кинетической энергии движения поезда до полной остановки
2 Отцепка и уборка поездного локомотива от прибывшего состава	2.1 Закрепление состава тормозными башмаками
	2.2 Разъединение сцепного оборудования и тормозных шлангов
	2.3 Перемещение локомотива от состава в ЛХ или на другой путь
3 Подача и прицепка маневрового локомотива	Перемещение маневрового локомотива на станции по маршруту подачи к составу
4 Надвиг состава на горку	Движение состава со скоростью надвига на противоклоне с преодолением сопротивления движению и накоплением потенциальной энергии поднимающегося до отметки горба горки состава
5 Расформирование состава	5.1 Преобразование накопленной потенциальной энергии в кинетическую энергию движения отцепов с потерей энергии на преодоление сопротивлений движению при роспуске состава с горки
	5.2 Торможение отцепов расформировываемого состава на вагонных замедлителях
	5.3 Соударение вагонов на путях сортировочного парка
	5.4 Остановка отцепа в сортировочном парке
6 Осаживание вагонов в сортировочном парке	6.1 Движение одиночного локомотива по маршруту осаживания
	6.2 Сцепка с вагонами и исключение «окна» при перемещении вагонов в парке локомотивом

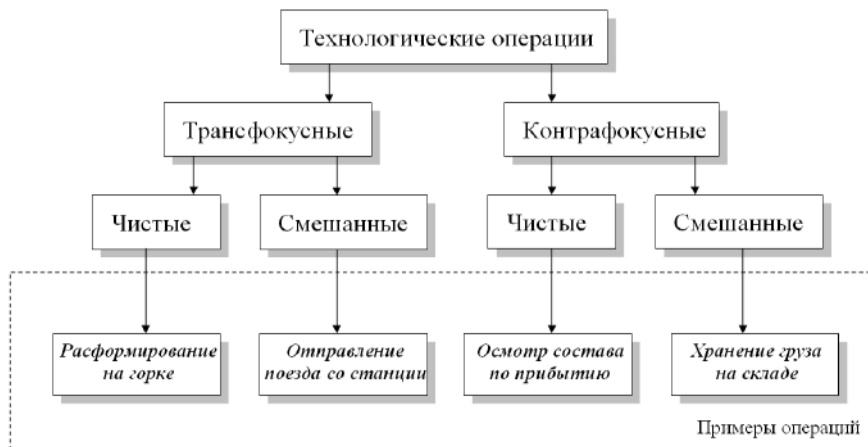


Рисунок 1 – Классификация технологических операций, моделируемых как результат действия физических и других процессов

Как уже отмечалось, при моделировании станционных процессов невозможно рассчитывать на результаты реконструкции движения вагонов, полностью совпадающие с реальными событиями. Использование аналитики расчетов позволит вычислять систематическую составляющую всех процессов, происходящих на станции и вносящих существенную долю в формирование цикличной динамики работы 3D-станции (возможно, до 70–75 % от всех воспроизводимых модельных реконструкций). Непосредственному моделированию подлежат не все возможные изменения состояния объектов, а только те, которые принимают участие в значимых для функционирования модели технологических станционных и существенных с точки зрения безопасности движения процессах (например, операции 1.3, 2.3, 3, 4, 5.1–5.4, 6.1 таблицы 1). При этом должен быть установлен порог детализации виртуального прототипирования, когда наряду с адекватным действительности развитием физических процессов на каких-то этапах происходит своеобразный «прыжок» через несколько состояний, которые не подлежат расчету (например, передача тягового усилия от энергетической установки локомотива через автосцепки вагонов и хребтовую балку на тележки, преодолевающие трения покоя или качения с контактирующим железнодорожным путем).

Однако воздействие подвижного состава на рельсошпальной решётку и земляное полотно порождает аналогичное по силе противодействие рельсов и шпал на колёса вагонов и локомотивов, приводящее к истиранию поверхности катания, появлению наплывов металла, ползунов, ударному влиянию на груз, его крепление и др. В модели предлагается принять условие актив-

ного влияния подвижного состава на путь, которое сопряжено с целью прототипирования работы железнодорожной станции, связанной с восстановлением содержательных образов инфраструктурных объектов, функционирующих в пространстве действия физических сил.

В принципе возможен модельный расчёт влияния, оказываемого железнодорожным путём на подвижной состав. По результатам расчета процессов движения подвижного состава по станционному пути могут определяться неупругие деформации, которые могут привести к увеличению вероятности выхода из строя определённого элемента конструкции или к опасному состоянию, несовместимому с дальнейшей эксплуатацией вагона без ремонта. Однако такой подход к моделированию процессов требует точных сведений о наличии повреждений на всех конструктивных опорных элементах кузова вагона, сцепных и тормозных устройств, текущем состоянии всех поверхностей трения подвижного состава. Поэтому в дальнейшем исследуются только процессы, связанные с воздействием исправного подвижного состава, не имеющего повреждений, на железнодорожный путь, способный к упругой деформации.

На первоначальных этапах разработки эксплуатационной модели станции можно реконструировать динамику только тех состояний, которые определяют реалистичность визуальных эффектов (например, перемещения вагонов). На следующих этапах модельному восстановлению подлежат некоторые внутренние состояния, например, расчет напряжений в рельсах и шпалах. Эти позиции рассматриваются как сложные и требующие использования особых подходов для достоверных реализаций состояний.

Проведенные исследования показывают, что можно выделить три основные группы физических процессов взаимодействия объектов, обеспечивающих выполнение станционных технологических операций.

1 Взаимодействия тягового подвижного состава и вагонов, результатами которых являются перемещения поездов, передач, подач и отдельных вагонов на главных, приемоотправочных, сортировочных, ходовых, соединительных, выставочных и погрузо-выгрузочных путях, а также самого тягового устройства.

2 Взаимодействия пути и подвижного состава, следствием которых являются множественные силовые воздействия на конструкции пути и земляного полотна.

3 Взаимодействия погрузо-выгрузочных устройств и груза, приводящие к перемещению груза из вагона в склад, из склада в вагон, из вагона в автомобиль, из автомобиля в вагон и оказывающие давление на пол вагона, покрытие склада и др. Особым случаем данной группы взаимодействий является модельная реконструкция процессов посадки и высадки пассажиров

при моделировании процессов с пассажирскими вагонами, дизель-поездами и мотор-вагонным подвижным составом.

Таким образом, указанные три группы физических процессов определяют взаимодействие модельных структур некоторых множеств **A** и **B**. Объекты множества **A** всегда активны и приводят к изменению положения или состояния объектов множества **B**. Объекты множеств **A** и **B** рассматриваются как сложные, состоящие из подмножеств (например, A_1 – вагоны и A_2 – грузы). Если активным физическим объектом взаимодействия множества **A** является вагон, то железнодорожный путь, как пассивный объект множества **B**, испытывает нагрузку от подвижного состава и изменяет свое состояние (смещается относительно первоначального положения в некотором направлении). Грузы как объекты подмножества B_2 вследствие процессов перегрузки изменяют свое положение (в вагоне, складе, автомобиле) или свойства (разрушаясь при ударах, действии процессов слеживаемости, повышении температуры и др.). Таким образом, воспроизведение в модели целого ряда операций оказывается связанным с взаимодействием активных или пассивных объектов множеств **A** и **B**. Отсутствие движения объектов на станции указывает на то, что модельные конструкции объектов взаимодействующих множеств **A** и **B** находятся в равновесном состоянии (вагон на приемоотправочном пути), либо контакт объектов **A** и **B** отсутствует (выгрузочный путь не занят вагоном).

Пусть на пути сортировочного парка находится группа из двух груженых вагонов, которые необходимо подать на пункт местной работы и выгрузить из них груз в склад. Исходная позиция интерпретируется как равновесное состояние между двумя объектами множества: **A** (вагоны) и **B** (участок пути). Два вагона как объекты множества **A** – сложные, включающие вагоны и груз, находящийся в них. В совокупности они образуют активную составляющую, физически влияющую на путь и изменяющую состояние рельсошпальной решетки и верхнего строения пути на деформированное. С прицепкой маневрового локомотива и началом движения группы вагонов модельная псевдофизическая структура взаимодействующих объектов изменяется. Появляется новый активный объект **A** – локомотив, способный перемещать вагоны по железнодорожному пути. Вагоны перестают быть безусловно активными, продолжая оказывать действие на преодолеваемые участки станционных путей благодаря собственной массе и массе груза. Поэтому в процессе движения по пути вагоны следует рассматривать как двойственную активно-пассивную конструкцию $A \leftrightarrow B$. Дуальная структура вагонов не изменяется до момента их выгрузки на грузовом пункте. После установки локомотивом этих вагонов на грузовых фронтах действие локомотива как активного объекта прекращается и снова возникает модельная

схема с активным вагоном и пассивным выгрузочным путём. Выгрузка вагонов порождает физическую среду с новым активным объектом погрузо-выгрузочным механизмом, взаимодействующим с грузом и определяемым как пассивный объект. Пассивно-активная сфера совместного влияния вагона и груза в период выгрузки нестабильна и уменьшает свое воздействие на путь по мере сокращения массы груза в вагоне в процессе грузовой операции (рисунок 2).

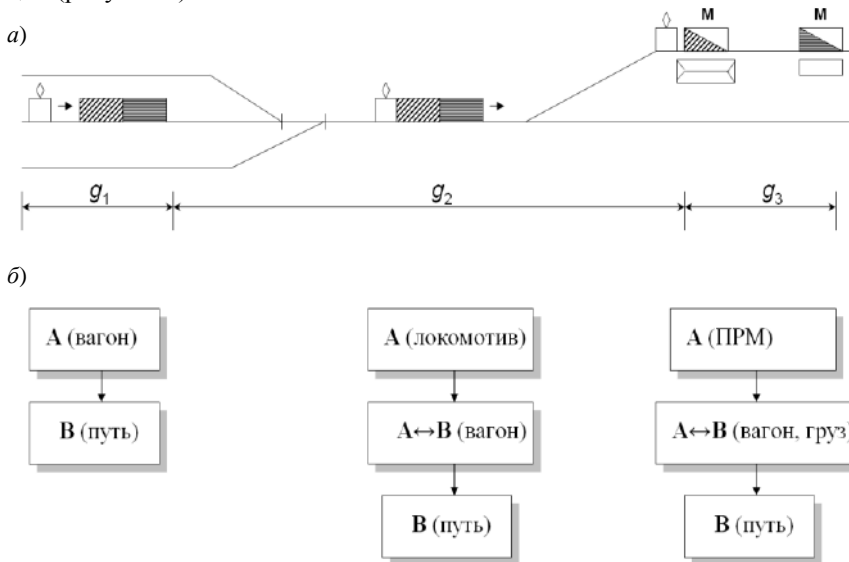


Рисунок 2 – Моделирование операции выгрузки двух вагонов:
 а – схема перемещения; б – взаимодействие активных и пассивных объектов

Зоны действия (g_i) определяют координатные положения (g_1, g_2) и статусные состояния (g_3) позиции модельных станционных объектов. Процесс выгрузки каждого из двух вагонов, установленных по конкретному фронту, характеризуется определенным статусным состоянием (g_{3i}), указывающим на длительность операции, место перемещение груза, номер вагона выгрузки, получателя груза и др. Атрибутивные характеристики (g_i) для зоны координатных перемещений и (g_{ij}) для зоны состояний формируют динамическую среду изменения различных параметров вагонов и грузов. Поэтому данный интегральный параметр g следует рассматривать как базовую характеристику для моделирования динамики пространственно-временных изменений станционных объектов.

Второй пример модельного образа описания физических процессов связан с расформированием поезда на горке. Надвиг состава маневровым локомотивом определяет схему взаимодействия активного объекта (локо-

мотива), активно-пассивного объекта (вагона) и активно-пассивного объекта (пути, противуклон надвигной части которого способствует увеличению потенциальной энергии состава, поднимаемого на вершину горки с помощью локомотива). Дополнительное сопротивление движению компенсируется увеличением силы, передаваемой локомотивом, надвигающим состав на горку. На вершине горки активное действие локомотива завершается, и путь роспуска, располагаемый на уклоне, переходит в категорию активных объектов, выступая аналогом некоторого тягового устройства. На длине пути роспуска развиваются физические процессы, в которых железнодорожный путь выступает в качестве компонента двойного назначения. С одной стороны, путь роспуска рассматривается как активный физический элемент действия на отцепы, обеспечивая их движение. С другой стороны, путь испытывает влияние от подвижного состава из-за массы вагонов при их перемещении, ударов по стыкам и боковым воздействиям в кривых. Активный и пассивный механизмы физического влияния действуют одновременно. Благодаря запасу потенциальной энергии и наличию ненулевого уклона спускной части сортировочной горки отцепы движутся без локомотива. Поэтому подвижной состав, скатывающийся по пути роспуска, обладая запасом потенциальной энергии, имеет собственный внутренний тяговый эквивалент, позволяющий квалифицировать вагоны как частично активный элемент взаимодействия с путем (рисунок 3).

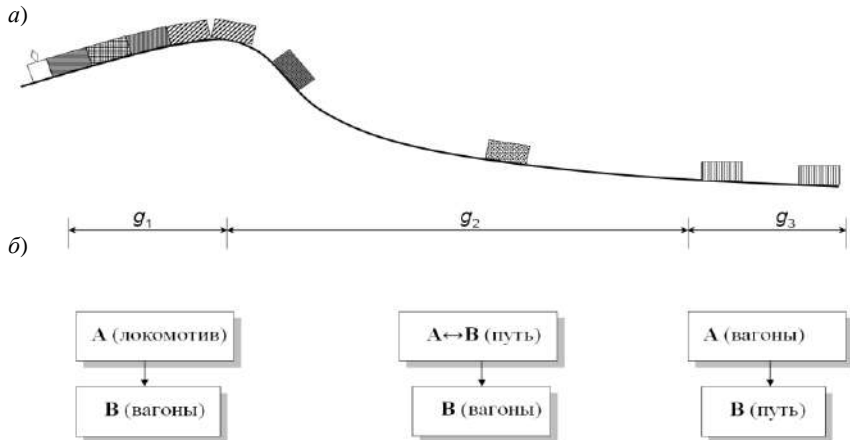


Рисунок 3 – Моделирование операции расформирования:

a – схема перемещения; *б* – взаимодействие активных и пассивных объектов

Таким образом, вагоны, локомотивы и железнодорожный путь тесно связаны физическим взаимодействием, в котором контактирующие объекты меняются активной и пассивной ролями в процессе выполнения последова-

тельности процессов, формирующих некоторую технологическую операцию. Приоритетная позиция некоторого объекта определяется действием внешних факторов, образующих общий сценарий развития событий на железнодорожной станции. Существующая норма исполнения технологии, регламент проведения операций устанавливают правила функционирования отдельных объектов, наделяют их соответствующими свойствами, проявляющимися в конкретный и достаточно фиксированный интервал времени. Эти свойства определяют в модели уровень активности или пассивности объекта при взаимодействии с окружением.

На основе конкретных примеров, приведенных на рисунках 2 и 3, предлагается общая модельная схема конструирования технологических операций как набор связанных физических процессов (таблица 2).

Выражения

$$(A_i^S + A_{2j}^S) \rightarrow B_{1k}^S, A_3^S \rightarrow B_{1m}^S$$

указывают на то, что i -й статичный (индекс S) груженный вагон находится на k -м участке B_1^S пути, а локомотив A_3^S воздействует на m -й участок пути. Рассматривается последовательность операций взаимодействия вагонов и локомотива, приводящих к перемещению вагона на железнодорожном пути (рисунок 4, а).



Рисунок 4 – Положение вагонов и локомотива:

а – обособленное; б – в движении локомотива к вагонам; в – соединенное

Движение локомотива к двум груженым вагонам, определяется формальной записью $A_3^D \rightarrow B_{ij}^D$. Локомотив не взаимодействует с вагонами, а только перемещается от исходного положения на V_i -м пути до j -й точки. Покоящийся локомотив со сцепленным составом подачи определяется как группа

$$(A_1^S + A_2^S + A_3^S) \rightarrow B_{1k}^S.$$

Таким образом, все модельные операции переводятся в соответствующие процедурные записи, в основе которых лежат модельные правила, адекватные реальным станционным.

Операнд «+» указывает на сцепленное состояние вагонов и локомотива в одном составе, а также на нахождение груза в вагоне. Операнд « \rightarrow » определяет воздействие, которое оказывает активный объект на пассивный в состоянии покоя B_{ij}^S или в движении B_{ij}^D . При стоянке вагона статичное действие на путь осуществляется только в координатно позиционированных точках контакта колеса с рельсом.

Т а б л и ц а 2 – Формализация технологических операций на станции

Объекты множеств			Элементарная операция и визуальная реконструкция	Физические процессы	Формальные выражения процессов
А	А↔В	В			
Вагоны, груз		Путь	Два вагона на пути 	Давление вагонов и массы груза на рельсошпальную решетку и верхнее строение пути	$(A_1^S + A_2^S) \rightarrow B_{1i}^S$
Локомотив		Путь	Локомотив движется по пути 	Давление от локомотива на рельсошпальную решетку и верхнее строение пути	$A_3^D \rightarrow B_{1j}^D$
Вагоны, локомотив, груз		Путь	Сцепление локомотива с грузными вагонами 	Давление грузных вагонов и локомотива на рельсошпальную решетку и верхнее строение пути	$(A_1^S + A_2^S + A_3^S) \rightarrow B_{1k}^S$
Локомотив	Вагоны, груз	Путь	Движение локомотива с грузными вагонами 	Динамическое давление от грузных вагонов и локомотива на путь	$(A_1^D + A_2^D + A_3^D) \rightarrow B_{1k}^D$
Локомотив	Вагоны, груз	Путь	Установка вагонов на фронтах выгрузки 	Давление грузных вагонов и локомотива на различные участки пути	$(A_{11}^S + A_{21}^S)_i \rightarrow B_{1n}^S$ $(A_{12}^S + A_{22}^S)_i \rightarrow B_{1p}^S$
ПРМ	Вагоны	Груз, путь	Выгрузка грузов из вагонов ПРМ 	Уменьшающееся давление на путь по мере выгрузки вагонов	$A_3^S \rightarrow B_{1z}^S$ $A_{41}^D \rightarrow B_{21}^D$ $A_{42}^D \rightarrow B_{22}^D$ $A_{11}^S \rightarrow B_{1n}^S$ $A_{12}^S \rightarrow B_{1c}^S$

Модельная реконструкция данного физического процесса связывается с расчётом усилий, передаваемых вагоном через тележки на 8 опорных точек пути (для четырехосного вагона). В результате моделирующих расчётов можно сформировать объемное поле напряжений участка пути, проникающее через рельсошпальную решетку в земляное полотно. При значительном давлении возникают и нарастают деформационные процессы, имеющие обратимый или необратимый характер. Пятна контакта колес одного вагона с рельсами позволяют зафиксировать его координатное положение на станционном пути в состоянии покоя подвижного состава или перемещения вагонов. В каждый конкретный момент времени, кратный кванту расчётных процедур, воздействие на участок пути определяется в пространственно-временном поле положений и состояния взаимодействующих объектов пути и подвижного состава. Это значит, что по результатам расчетов на некоторый момент времени развертывания модели формируется блок данных координат положения вагонов и локомотивов, величин давления на рельсошпальную решётку и верхнее строение пути, а также возникающих упругих деформаций, которые полностью гасятся после снятия нагрузки либо приводят к различным изъянам области взаимодействия (сколы и трещины рельсов и шпал, просадки балластной призмы и верхнего строения пути).

Операции а и в (см. рисунок 4) рассматриваются как основные (технологические). Выполнение промежуточной операции б формирует состав, способный перемещаться по станционному пути, но данная операция не приводит к изменению характеристик объектов (локомотива, вагонов и грузов в них). Модельное воспроизведение трехмерного образа операции б достаточно сложное и требует значительных вычислительных средств. В процессе выполнения этой операции происходит сцепление автосцепок первого вагона и локомотива, погашение остаточной энергии движения массой инерции прицепляемого состава с возможным откатом всей динамической системы до полного торможения локомотивом. Ее реконструкция в данной модели станции не производится, так как поставленная задача связана с прототипированием только технологических, эксплуатационных аспектов работы станции, продуцирующих реалистичную, но не глубоко детализированную схему происходящих физических процессов. Таких «физически-нетехнологических» операций оказывается некоторое множество, которое включается в перечень трансфокусных, полностью определяемых механическими и электромагнитными взаимодействиями элементов конструкций подвижного состава и пути (разъединение и соединение тормозной магистрали, управление стрелочными переводами и сигналами в ЭЦ, работа замедлителей на горке, опробывание автотормозов, торможение вагонов, нарастание скорости движения за счет силы тяги

локомотива и др.). Данные операции будем называть компрессивными, указывая тем самым на сжатый вид их в последующей визуальной 3D-реконструкции. В технологической модели станции они реализуются в одномоментном исполнении, в течение одного кванта времени расчетных процессов (разъединение тормозной магистрали состава, перевод стрелок, сцепление локомотива с вагоном) или за некоторый достаточно упрощенно рассчитываемый период развития процесса (торможение, разгон). Первая категория относится к жестким компрессивным, вторая – к мягким компрессивным процессам. Реализация мягких компрессивных операций требует разработки особых алгоритмов учета взаимодействия объектов в условиях возникающих деформаций, влияния остаточных напряжений, взаимокорреляции гармоник воздействия волновых фронтов в твердых и газообразных телах и др.

Жесткие компрессивные операции в модельном исполнении рассматриваются как фоновые преобразования 3D-инсталляции станции, выполняемые одновременно с текущим физическим процессом, который формирует некоторую технологическую операцию. Например, сцепление локомотива с составом в модели производится при соприкосновении зон нахождения локомотива и вагона. Каждая из этих зон ограничивается плоскостями, проходящими через оси автосцепок соответственно локомотива и вагона. Если плоскости границ зон локомотива и вагона на расчетный момент времени отстоят друг от друга менее, чем на некоторое ϵ_{\min} , то программно идентифицируется сцепление автосцепок.

Многие компрессивные операции характеризуются более продолжительными итерациями сложных физических процессов. Примером такой операции является разгон поезда при отправлении со станции в течение некоторого времени $n\tau_{\text{кв}}$, где n – количество расчетных квантов состояния объектов модели при отправлении поезда, $\tau_{\text{кв}}$ – продолжительность модельного состояния. Полагаем, что модельная станция функционирует только в границах пространства раздельного пункта. Поэтому отправляемый на перегон поезд некоторым образом исчезает из 3D-реконструкции после пересечения знака «Граница станции». После ухода со станции модельный поезд становится элементом информационной базы отправленных поездов. Аналогично прибывающий на станцию поезд появляется как станционный объект, замедляющий скорость своего движения в течение аналогичного промежутка времени $m\tau_{\text{кв}}$. Следует отметить, что в общем случае $n \neq m$, так как продолжительности разгона и замедления зависят от длины маршрута движения поезда по станции, скорости, с которой поезд проходит границу пространства станции, характера движения (поездным или маневровым порядком, вагонами или локомотивами вперед и др.).

Рассматривается возможность *полной мягкой компрессионной операции*, реализуемой наряду с частичной формой, рассмотренной выше. В этом случае разгон и замедление составов реконструируются без программного усе­чения, которые оказываются актуальными для маневровых передвижений (перестановка вагонов из парка в другой парк станции, перемещение локо­мотивов по станции). Полные мягкие компрессионные операции могут обеспечиваться сложными модельными алгоритмами разгона и торможения вагонов, связанными с жёсткими компрессионными операциями (сцепления движущегося локомотива с вагонами, снижение скорости локомотива при преодолении инерционного сопротивления стоящих вагонов и последующее нарастание скорости движения всего состава).

Если в аналитической записи формальной операции отсутствует элемент $\rightarrow T_j^D$, то координатное положение вагона и воздействие на путь подвижного состава не определяются, что позволяет реализовать визуальную V -модель станции, которая может использоваться в презентационных целях, наглядно отражая все процессы, происходящие на станции без расчета воздействий модельных тел (вагонов, локомотивов, грузов) на информационные образы же­лезнодорожного пути. При определении влияния подвижного состава на путь формируется расчетно-визуальная RV -модель, которая представляет собой структурную реконструкцию функционирующей железнодорожной станции, позволяющую отслеживать определенные ситуации, наступающие в конкрет­ных взаимодействиях станционных объектов. Результаты регистрации вели­чин параметров могут использоваться для коррекции дальнейшего развития модельных процессов, что обеспечит практику работы важным статистиче­ским материалом, который поможет диагностировать наступление критиче­ских ситуаций и упреждать их благодаря своевременным оперативным и тех­ническим мерам.

При необходимости реализации какой-либо модели станции следует использовать такой алгоритм ее создания, который позволил бы в зависимости от требуемой задачи (воспроизведение простых эффектов движения или глубокого анализа динамики происходящих процессов на станции) репро­дуцировать V - или RV -модель.

Математическое описание технологических процессов железнодорож­ной станции связывается с аналитическим представлением перемещения ва­гонов по станционным путям, а также грузов в вагонах, объектах хранения и транспортирования. Моделируемый станционный объект наделяется ат­рибутами, которые могут изменяться по величине при взаимодействии с другими объектами. Выделяются три множества моделируемых объектов, способных изменять свое состояние:

1 Подвижной состав (P).

1.1 Вагоны различного типа, обеспечивающие перевозку грузов или пассажиров (P_1).

1.2 Локомотивы, перемещающие вагоны по станции (P_2).

1.3 Погрузо-разгрузочные машины, обеспечивающие передачу груза из вагона в склад, из склада в вагон, из вагона на автомобиль, из склада на автомобиль, из автомобиля в вагон (P_3).

2 Станционные пути (T).

3 Груз (G).

Каждое множество этих объектов характеризуется определенным набором константных и переменных характеристик.

$$P_1^{\text{const}} \subset (\text{type}, \text{os}, M_T, L, Gr),$$

где type – тип вагона; os – осьность вагона; M_T – масса тары; L – длина вагона по осям автосцепки, м; Gr – грузоподъемность вагона.

$$P_1^{\text{var}} \subset (M_g, v),$$

где M_g – масса груза в вагоне; v – скорость движения вагона.

$$P_2^{\text{const}} \subset (\text{type}, \text{Numb}),$$

где type – тип локомотива, Numb – номер локомотива.

$$P_2^{\text{var}} \subset (v, \text{Char}_R),$$

где v – скорость движения; Char_R – характер работы (поездная, маневровая).

$$P_3^{\text{const}} \subset (\text{type_Mashine}, \text{Gruz_Mashine}),$$

где Type_Mashine – тип погрузо-разгрузочной машины; Gruz_Mashine – грузоподъемность ПРМ.

$$P_3^{\text{var}} \subset (x_i, y_i, z_i),$$

где x_i, y_i, z_i – координаты контрольных точек текущего положения ПРМ,

$$T^{\text{const}} \subset (\text{type}_r, \text{type}_b),$$

где type_r – тип рельса; type_b – тип балластной призмы.

$$T^{\text{var}} \subset (N, x_i, y_i, z_i, R_{i(\text{пл})}, R_{i(\text{пр})}, I_i, F_i, B),$$

где N – число координатно позиционированных поименованных контрольных точек; x_i, y_i, z_i – координаты точек; $R_{i(\text{пл})}$ – радиусы кривых в плане i -й точки; $R_{i(\text{пр})}$ – радиусы кривых в профиле i -й точки; I_i – уклон i -й точки; F_i – внутреннее напряжение в i -й точке; B – балльность пути.

$$G^{\text{const}} \subset (N_M),$$

где N_M – наименование груза; Gab – габарит погрузки груза

$$G^{\text{var}} \subset (M_T, S_T, Gab),$$

где M_T – масса груза; S_T – состояние груза.

На конкретном примере рассмотрим модельную интерпретацию технологического процесса обслуживания грузового поезда, поступающего на станцию в переработку. Пусть в парк приема участковой станции прибывает состав из 50 вагонов в расформирование. Прием данного поезда на приемо-отправочный путь определяется формальной записью

$$\left(\sum_{i=1}^{50} P_{1i}^D + P_2^D \right) \rightarrow T_j^D.$$

При этом следует обратить внимание на то, что используется литерация описания состояний активных и пассивных объектов с заменой символики на конкретные атрибутивные конструкции (вместо общих **A** и **B** применяются соответствующие *P* и *T*). Индекс «*D*» сохраняется как указатель на динамику процесса приема поезда и перемещение его по главному и приемо-отправочному путям.

Согласно установленной технологии работы станции сортировочный листок определяет разбиение состава на отцепы, которое производится посредством расцепки вагонов и разъединения тормозной магистрали в парке приема с проведением соответствующих операций работниками ПТО и ПКО.

$$\sum_{j=1 \vee 2 \vee 3 \dots}^k P_{ij}^S = \sum_{i=1}^{50} P_{1i}^S.$$

Данная процедура в модельном исполнении представляется жесткой компрессивной операцией, выполняемой сразу после отцепки поездного локомотива от состава. Для большей реалистичности в модель может быть введена соответствующая задержка времени, имитирующая подготовку и выполнение расцепки поезда согласно назначениям вагонов. Подобные задержки в развитии модели называются *лонгирующими*.

Подача и прицепка маневрового локомотива осуществляется при наличии условий свободности маневрового локомотива, выполняющего расформирование составов, а также отсутствия враждебности по маршруту подачи локомотива от места его нахождения на путь расположения состава с последующим движением вагонами вперед по пути роспуска. Поэтому в модель функционирования станции между основными технологическими операциями вставляются *контраструктивные* фрагменты интервалов времени, интерпретируемые в реальных условиях как ожидания выполнения операций. Их длительность рассчитывается по результатам взаимодействия с другими станционными объектами.

Роспуск состава осуществляется через горку (модельная реконструкция *G*) или на вытяжном пути (модельная реконструкция *W*). В обоих случаях требуется определенная модельная «накачка энергией» спускаемого состава посредством либо надвига на горку с обеспечением вагонам необходимого

запаса потенциальной энергии, превращаемого в кинетическую энергию скатывания с горки, либо разгона состава локомотивом, прямо передающего вагонам энергию движения, которая после резкого торможения локомотива способствует отрыву отцепов от состава. Модельные реконструкции G и W приводят к одному результату, заключающемуся в том, что после завершения расформирования все вагоны состава размещаются на соответствующих путях сортировочного парка.

Перемещение вагонов по путям станции оказывает давление и ударное воздействие на верхнее строение пути. Динамика этих процессов для разрабатываемой модели существенна только для оценки деформируемых состояний пути, имеющих неупругий характер. Изменение координатного положения самой колеи из-за продольных и поперечных сдвигов, разрушения металлических и железобетонных частей решётки фиксируется по контрольным точкам и хранится в информационной базе модели. Таким образом, энергия, сообщаемая расформировываемому составу при надвиге на горку $E_{над}$ соотносится с энергией ускоренного движения локомотива с составом на вытяжном пути $E_{выт}$. В количественном отношении $E_{над}$ и $E_{выт}$ могут различаться, так как в модельной реконструкции G потребуется меньше энергии для докатывания отцепов до расчетных точек сортировочных путей, чем в модельной реконструкции W (без учета затрат энергии на осаживание в модельной реконструкции G). Соответствующие воздействия на путь обоих способов расформирования также могут различаться. Мягкое движение состава по подвижной части горки с постоянной скоростью надвига обеспечивает недеформируемое влияние подвижного состава на план и профиль соответствующего участка пути. В то же время резко ускоряемое и замедляемое движения состава при расформировании поезда на вытяжном пути создает условия для множественных негативных воздействий на рельсошпальную решётку. Постоянные разнонаправленные силы способствуют образованию различных дефектов пути, существенных с точки зрения безопасности движения.

В модельной реконструкции станции все расчётные процедуры разделяются на координатные (оценка месторасположения объекта в процессе выполнения операции) и статусные (оценка состояния объекта в процессе взаимодействия с другими станционными объектами) (см. рисунок 3). Если вагоны располагаются на данном пути и перемещаются в его пределах (исключение – окна в сортировочном парке, сборка в подачу после завершения грузовых операций), то регистрируется изменения положения его координат с передачей нагрузки на другой участок пути $T_{лк}$. Фиксация координатного положения вагона позволяет указать точки приложения силы его воздействия на станционный путь. Поэтому распределение нагрузки на путь рассматривается как линейная структура пятен контакта колеса с рельсом вдоль полотна дороги.

Координатное положение вагона на пути можно определить как проекцию точки центра его тяжести на ось пути. Такая схема называется *точечной*. При смещенном относительно продольной или поперечной осей вагона положении груза точечная привязка укажет на реперную отметку вне оси пути, что влечет за собой расчёт неравномерной нагрузки на рельсовые нити колеи пути. *Пространственная привязка* определяет матрицу координат контрольных точек по всей конструкции вагона или локомотива. Расчёт нагрузки на путь от подвижного состава требует использования только пространственной привязки с определением позиций пятен контакта колеса с рельсом.

Ключевыми элементами, указывающими на изменение координатного положения объектов, являются:

- одиночный локомотив в движении P_2^D ;
- локомотив с вагонами в движении $P_2^D + P_1^D$;
- погрузо-разгрузочный механизм, перемещающий груз P_3^D .

Композиционные конструктивы взаимодействия модельных объектов позволяют реконструировать соответствующие технологические операции. Например, разъединение вагонов в составе можно представить как

$$P_2^D \wedge \sum_{i=1}^m P_{li}^D - P_{1k}^D - P_{1(k+1)}^D.$$

Данная запись указывает на отцепку отдельно k -го и $(k+1)$ -го вагонов.

Следует отметить, что формализованная операция

$$P_2^D \wedge \sum_{i=1}^m P_{li}^D - (P_{1k}^D + P_{1(k+1)}^D)$$

определяет другой результат, при котором k -й и $(k+1)$ -й вагоны сцеплены друг с другом. Поэтому данная операция не дистрибутивна.

Объединение в состав всех n вагонов из состава расформированного поезда ($n < m$) на данном сортировочном пути определяет модельная операция осаживания

$$(P_2^D + \sum_{i=1}^n P_{li}^D) \rightarrow T_{1j}^D.$$

Операция сцепления (в модельном представлении – суммирования) может быть выполнена только в движении, поэтому использование индекса « D » излишне и представленная выше операция может быть записана как

$$(P_2 + \sum_{i=1}^n P_{li}) \rightarrow T_{1j}.$$

Различие операндов «+» и «^» заключается в том, что первый указывает на соединение (сцепление) объектов, а второй – на выполнение операции в текущем состоянии (сцепленном или разъединенном виде).

Роспуск с горки в модельном исполнении рассматривается как повторяющаяся операция скатывания отцепов на пути сортировочного парка при непрерывном надвиге сокращающегося по величине состава.

$$(P_2 \rightarrow T_{1k} \wedge \underset{\substack{x \\ k \\ i=1, \\ j=1}}{\text{Rep}}((P_{1i} \rightarrow T_{1j}) - P_{1i}).$$

Особенностью данной операции является различие участков путей, занимаемых локомотивом (T_{1k}), и отцепами вагонов (T_{1j}).

Если расформирование производится на вытяжном пути, то при изолированных толчках для данной модельной реконструкции

$$(\underset{\substack{x \\ k \\ i=1, \\ j=1}}{\text{Rep}}[(P_2 \rightarrow T_{1i})_j \wedge (P_{1i} \rightarrow T_{1j}) - P_{1i}].$$

T_{1k} -й участок пути в формальной реконструкции рассматривается как совокупный маршрут движения от начальной до конечной точки. В качестве граничных позиций маршрута могут быть:

- перегон с M -го направления ($Per M$);
- i -й путь парка ($T_i^{ПО}, T_i^{СП}, T_i^{ПП}, \dots$);
- i -й погрузо-выгрузочный путь терминала или конкретного подъездного пути ($T_i^{\text{терм}}, T_i^{\text{комбинат}}, \dots$);
- точка, отстоящая на определенном расстоянии от начальной на i -м вытяжном, сортировочном или другом пути

$$(T_i^{ПО} + 250, T_i^{\text{ВЫП1}} + 75, T_i^{\text{ПП2}} - 60, \dots).$$

Конкретная точка граничной позиции пути определяется по возможному месту установок вагона в начале данного пути. Запись

$$P_2 \wedge \sum_{i=1}^{20} P_{1i} \rightarrow (T_2^{\text{ПП}}, T_{10}^{\text{СП}} + 260)$$

указывает на операцию перемещения 20 вагонов со второго пути парка приема на путь 10 сортировочного парка с движением по данному пути на расстояние 260 м.

Если, например, требуется из состава поезда 50 вагонов, находящихся в парке приема, подать под выгрузку вагон с номером 26473826 на путь 6 грузового станционного терминала с перемещением по нему на 75 м, то соответствующая система модельных операций представляется в виде

$$\begin{cases} P_2 + \sum_{i=1}^{50} P_{1i} - P_1^{26473826}; \\ P_2 \wedge P_1^{26473826} \rightarrow (T_2^{\text{пп}}, T_6^{\text{терм}} + 75). \end{cases}$$

Если данный вагон подается после сборки остальных вагонов, то система операций выглядит как

$$\begin{cases} P_2 \wedge \sum_{i=1}^{50} P_{1i} - P_1^{26473826}; \\ P_2 + P_1^{26473826} \rightarrow (T_2^{\text{пп}}, T_6^{\text{терм}} + 75). \end{cases}$$

Необходимо обратить внимание на то, что

$$P_2 \wedge \sum_{i=1}^{50} P_{1i} - P_1^{26473826}$$

является интегральной операцией, так как требуемый вагон может находиться не последним в составе (например, 25-м), и в таком случае возникнет необходимость выполнения дополнительных маневровых операций на пути 2 парка приема с занятием другого пути.

$$\begin{cases} P_2 \wedge \sum_{i=1}^{50} P_{1i} - \sum_{j=1}^{25} P_{1j} (T_2^{\text{пп}}, T_3^{\text{пп}}); \\ P_2 \wedge \sum_{i=1}^{25} P_{1i} - P_1^{26473826}; \\ P_2 \wedge \sum_{j=1}^{24} P_{1j} \rightarrow (T_3^{\text{пп}}, T_2^{\text{пп}}); \\ P_2 - \sum_{j=1}^{24} P_{1j} \rightarrow T_2^{\text{пп}}; \\ P_2 \rightarrow (T_2^{\text{пп}}, T_3^{\text{пп}} + 24 \cdot 15) + P_1^{26473826}. \end{cases}$$

Первое выражение системы определяет операцию отцепки 25 вагонов и перестановки их на путь 3 парка приема. Второе уравнение идентифицирует операцию отцепки на пути 3 ПП от группы из 25 вагонов требуемого вагона с номером 26473826. Третье уравнение указывает на перестановку 24 вагонов с пути 3 на путь 2 ПП. Четвертое уравнение определяет перемещение одиночного локомотива с пути 2 на путь 3 ПП. Расстояние 24×15 м проходит локомотив по пути 3 до места нахождения требуемого вагона с его прицепкой.

Таким образом, появляющиеся промежуточные трансфинитные модельные операции реконструируют целый ряд маневровых передвижений, сопутствующих выполнению основной операцией. Подобные трансфинитные операции могут производиться на нескольких уровнях детализации

технологических процессов. Например, указанная выше система трансфинитных операций может быть детализирована описанием передвижений в горловинах с занятием маршрутов соответствующих стрелочных переводов (вторая гармоника трансфинитных операций). При этом элементы операции второй гармоники «вплетаются» в отдельные позиции первой, так как выполнение каждого маневрового передвижения по перестановке вагонов на путях парка приема связано с занятием горловины. Для воспроизведения трансфинитных операций второй гармоники, приведенных в рассматриваемой выше системе, требуется формализовать топологию горловины парка приема (рисунок 5).

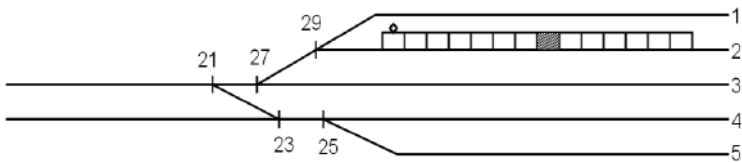


Рисунок 5 – Схема горловины парка приема и начального положения состава расформировываемого поезда

Выполнение группы из пяти трансфинитных операций связано с реализацией полурейсов вытягивания группы из 25 вагонов с пути 2 через стрелки 29, 27 и осаживания через стрелку 27 после ее перевода на маршрут пути 3.

$$PR1^+ : P_2 \wedge \sum_{i=1}^{25} P_{1i} \rightarrow (STR(29,27));$$

$$PR2^- : P_2 \wedge \sum_{i=1}^{25} P_{1i} \rightarrow (STR(27)).$$

Указанные операции предваряют префиксные коды $PR1^+$ и $PR2^-$, определяющие номер полурейса и движение локомотивом вперед (+) или вагонами вперед (-). Префиксный код рассматривается как метка, указывающая на повторяющуюся в дальнейшем операцию, которую можно не воспроизводить полностью, а лишь обозначать ее соответствующим образом. Поэтому все операции в модели должны быть поименованы.

В модели станции могут использоваться префиксные коды, указывающие на характер выполняемых операций: ускоряющие (*accel*), замедляющие (*decel*), статические (*static*) и устойчиво динамические (*const dynamic*). В данном случае префиксный код указывает на характер физического процесса, выраженный как формальная операция, следующая за позицией префиксного кода. Префикс ускорения *accel* продуцирует динамику операций, выполняемых на участке разгона подвижного состава. Например, перестановка вагонов на путях станции производится от точки *A* до точки *B* с возрастающей скоростью, изменение которой зависит от длины полурейса и количества переставляемых вагонов (рисунок 6).

Префикс замедления *decel* определяет характер производства операции на станции от точки *C* до точки *D* с уменьшением скорости. Время в пути состава с постоянной скоростью от точки *B* до точки *C* фиксируется префиксом устойчиво динамического движения *const dynamic*.

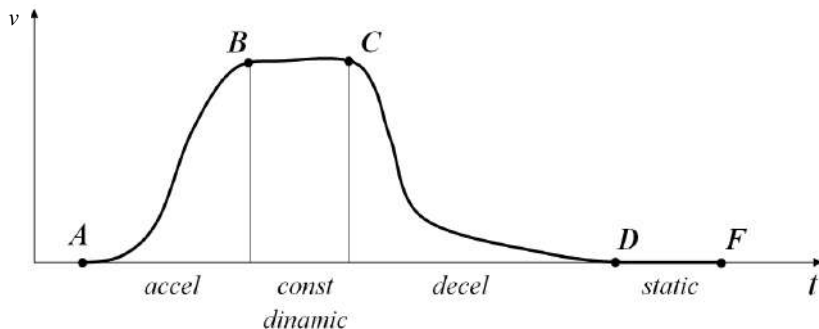


Рисунок 6 – Префиксная кривая выполнения операции на станции

Префикс покоя состава *static* определяет время стоянки от точки *D* до точки *F*.

Полная префиксная кривая характеризует процесс выполнения некоторой технологической операции (от точки *A* до точки *F*), включая все префиксные стадии. При этом последовательность

$$accel \rightarrow const \ dynamic \rightarrow decel \rightarrow static$$

называется *полной префиксной структурой*.

Процессная структура *static* может варьироваться в различной связи с другими префиксами. Например,

$$static \rightarrow accel \rightarrow const \ dynamic \rightarrow decel \rightarrow static$$

определяет позицию, когда выполнение некоторой операции сопровождается ожиданием начала движения. Подобная схема называется *расширенной префиксной структурой*.

$$accel \rightarrow const \ dynamic \rightarrow decel$$

исключает ожидания и интерпретируется как *сокращенная префиксная структура*. Возможны другие сложные варианты выполнения маневровых операций с рядом повторяющихся префиксных позиций (рисунок 7).

Выбор конкретной схемы выполнения технологической операции, сопровождающейся движением состава с переменной скоростью, осуществляется на основе анализа текущего состояния путей, занятых подвижным составом, свободы маневровых локомотивов, наличия параллельных маршрутов в горловинах и в парках и др.

Таким образом, все модельные технологические операции на шкале времени можно рассматривать как последовательность определенных инструкций, периодически повторяющихся в гармониках различных порядков (рисунок 8).

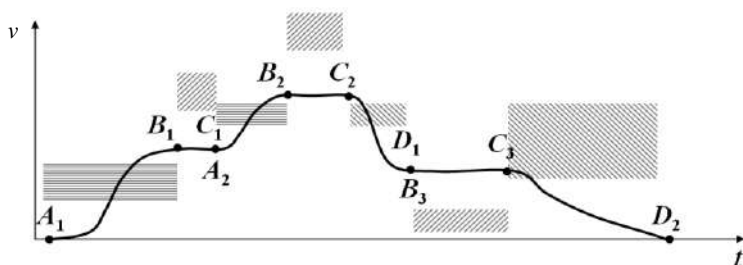


Рисунок 7 – Сложная префиксная кривая выполнения технологических операций на станции

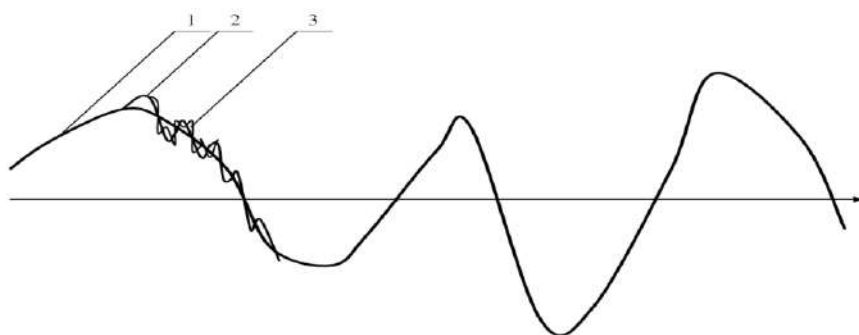


Рисунок 8 – Гармоническая структура модельного образа функционирующей железнодорожной станции с выделением:

1 – основного ряда операций; 2 – первой гармоники; 3 – второй гармоники

При этом наблюдается нестрогая периодичность с определенным нарушением длительности фаз, так как реальные технологические операции на станции повторяются с разбросом величин характерных параметров. Поэтому гармоническая структура модельного процесса имеет некоторую асимметричность.

Влияние гармоник рассматривается как действия менее значимых факторов. На периодическое влияние основного ряда операций накладываются другие объективные условия, которые можно оценивать как имеющие вероятностное происхождение. Учет причинно-следственных обстоятельств действия сложных сопутствующих позиций (особенностей путевого развития парков и горловин, плана и профиля путей) позволит точнее настраи-

вать работу модели. Многоуровневая гармоническая структура станции позволяет формировать различные модельные решения в зависимости от требуемой точности, прогнозных и других оценок.

Модельная операция – это некоторое имитирующее воздействие на станционные объекты, приводящее к изменению их состояний. Данное воздействие носит относительно завершённый характер и связывается с определенной технологической операцией или ее частью, которую можно обозначить соответствующим именем. Например, перестановка состава с пути парка приема в сортировочный определяется как

$$P_2 \wedge \sum_{i=1}^{20} P_{1i} \rightarrow (T_2^{\text{ПП}}, T_3^{\text{СП}}) = \text{MoveTrain}(m, \text{adr1}, \text{ard2}),$$

где *MoveTrain* – модельная инструкция, рассматривается как именованная операция с характеризующими параметрами; *m* – число вагонов в составе; *ard1*, *adr2* – начальная и конечная позиции состава до и после выполнения данной операции.

Следует отметить, что модельная операция *MoveTrain()* содержит определенное количество трансфинитных операций. Формирование множества именованных основных и трансфинитных операций позволит воспроизводить технологию работы станции с визуализацией корректных физических состояний объектов в 3D-представлении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. ОКП 50 3000. Технические условия [Электронный ресурс]. – М. : ИЦ ПС ФГУП «ОКБМ». – 22 с. – Режим доступа : <http://docplayer.ru/36995299-Sistema-modelirovaniya-dvizheniya-zhidkosti-i-ga-za-flowvision.html>. – Дата доступа : 10.07.2018.

2 Торн, А. Основы анимации в Unity / А. Торн. – М. : ДМК, 2016. – 176 с.

3 Головнич, А. К. Верификация динамической модели физических процессов виртуальных объектов технической системы / А. К. Головнич // Информационные технологии и системы : материалы Междунар. науч. конференции. – Минск : БГУИР, 2015. – С. 46–47.

A. K. GOLOVNICH

FUNCTIONAL-PROTOTYPING 3D MODEL OF A RAILWAY STATION ON THE BASIS OF PROCESS PHYSICS

The possibility to reproduce technological processes at the railway station in a dynamic three-dimensional model is investigated in accordance with the physical laws of motion, collision and friction of track facilities, rolling stock and cargo. The criteria for the quality of the model reconstruction of processes that provide verified prototyping for the maintenance of train, car, passenger and cargo traffic at stations are determined.

Получено 15.12.2018.

УДК 656.21.001.2:004

С. П. ВАКУЛЕНКО, П. В. ГОЛУБЕВ, М. Ю. ТЕЛЯТИНСКАЯ
Российский университет транспорта (МИИТ)
k-gdsu@mail.ru

ВЫПОЛНЕНИЕ РЕКОНСТРУКТИВНЫХ МЕР ПО РАЗВИТИЮ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

На примере реальных отдельных пунктов рассматривается возможность применения цифровых карт для разработки вариантов по реконструкции железнодорожных станций.

Цифровые модели и спутниковые снимки обеспечивают достаточную точность отображения существующего путевого развития железнодорожных станций и узлов. В процессе проработки вариантов развития железнодорожных станций цифровые данные (план путей станции, узла) как правило, отсутствуют. Часто отсутствуют и масштабные планы путевого развития станций. В таких условиях разработка решений по проведению реконструктивных мероприятий осложняется. Рассмотрим способ применения спутниковых геоинформационных ресурсов, находящихся в открытом доступе, для разработки предпроектных решений и ТЭО развития железнодорожных станций и узлов.

Разработка предпроектных вариантов развития железнодорожного узла с применением геоинформационных технологий позволяет решить следующие задачи:

- получения данных о существующих объектах на плане местности. Были выбраны базовые ресурсы для извлечения данных. Пример извлечения данных из цифровой карты приведен на рисунке 1;
- разработки метода перевода данных в AutoCAD для формирования плоскостной подложки;
- получения варианта данных о географических координатах и рельефе местности из цифровой карты (рисунок 2).

В ходе работы над проектом увеличения пропускной способности участка Ярославль-Главный – Александров за счёт обхода Ярославского железнодорожного узла и на основе существующих данных о размерах движения и техническом оснащении участков были выполнены все необходимые расчеты по определению наиболее загруженных участков и разработан вариант, предусматривающий строительство обходного пути и частичную реконструкцию станций примыкания с использованием общедоступных спут-

никовых снимков, разработаны принципиальные схемы переустройства с использованием цифровой подложки в стандартном САПР, построен близкий к масштабному план реконструкции с привязкой к местности. Определен ориентировочный объём и стоимость основных работ по реконструкции с использованием данных открытых геоинформационных источников.



Рисунок 1 – План станции и местности

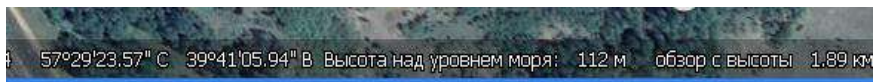


Рисунок 2 – Получение данных о географических координатах и рельефе

Таким образом, предпроектное обоснование развития железнодорожных станций и узлов с использованием САПР можно рассматривать в следующем порядке:

- расчет перспективных объёмов работы и размеров движения;
- определение загрузки отдельных элементов узла (или станции) и «узких» мест;
- выбор вариантов изменения путевого развития с учётом переустройства отдельных станций в связи с примыканием новых подходов, увеличением путевого развития или других причин переустройства узла или станции;
- разработка вариантов развития узла (станций);
- выбор варианта по экономическим критериям стоимости работ по реконструкции и эксплуатационных затрат.

На этапе разработки вариантов переустройства необходимо учитывать местные условия, для чего целесообразно использовать цифровую модель путевого развития и местности. Использование возможностей ГИС по данным спутниковых снимков при построении плана станции уменьшаются

трудозатраты, обеспечивается анализ большого количества вариантов реконструкции. Это даёт возможность включать в анализ объекты, не относящиеся к инфраструктуре железнодорожного транспорта, территории для развития станций и узла в целом, учитывать ограничивающие местные условия (гидрографию местности, наличие застройки прилегающей территории, форму рельефа, расположение дорог, искусственных сооружений и др.). Подобный комплексный анализ был проведен при разработке проекта реконструкции участка Ярославль-Главный – Александров. Вариант укладки обхода приведен на рисунке 3.

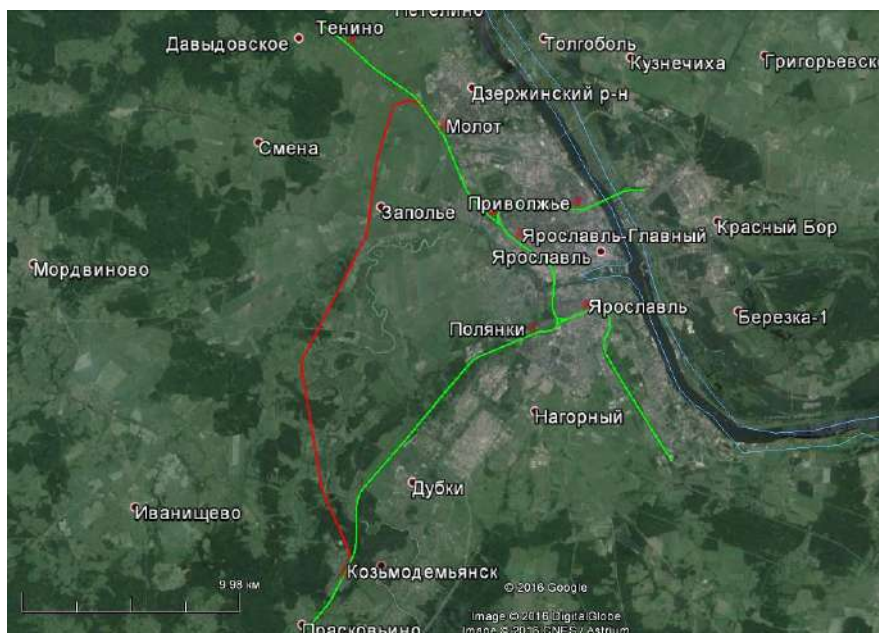


Рисунок 3 – Обход Ярославского железнодорожного узла

Красным цветом на рисунке показан планируемый обход, зелёным – существующие железнодорожные линии.

Рассмотрим вариант использования данных спутниковых снимков при развитии обхода Ярославского железнодорожного узла Северной железной дороги. Проведённые расчёты показали, что пропускная способность на отдельных участках Ярославского железнодорожного узла практически исчерпана. Для ликвидации возможных задержек при пропуске поездов через узел рассматривались варианты строительства дополнительного пути на лимитирующих перегонах и строительство обходного пути. В результате проведённого экономического сравнения вариантов был выбран вариант

со строительством обходного пути через станции Молот и Козьмодемьянск. Было проанализировано путевое развитие, местные условия расположения указанных станций, создана цифровая подложка в AutoCAD, восстановлен план существующего путевого развития станций, разработаны масштабные варианты примыкания подхода к данным станциям на цифровой подкладке и проведена экономическая оценка вариантов примыкания.

К станции Молот, масштабный план которой представлен на рисунке 4, обход примыкает к чётной горловине.

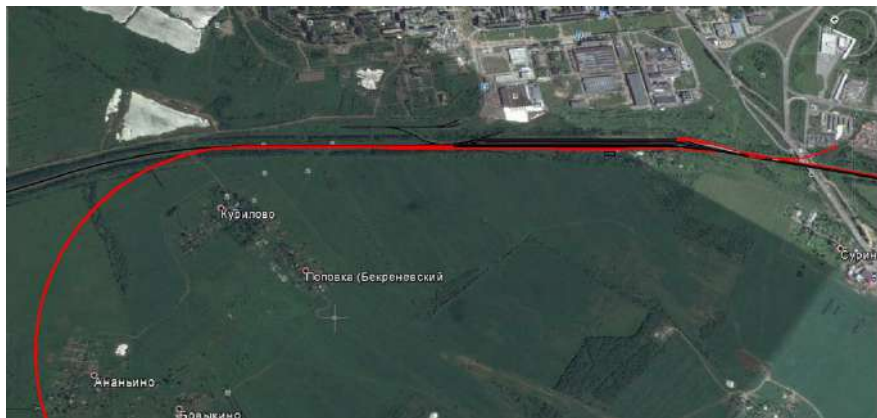


Рисунок 4 – Переустройство станции Молот на цифровой подложке

В связи с переклещением главных путей в узвязке с их расположением в нечётной горловине необходимо иметь на станции один путь для обгона со стороны обхода. Переустройство нечетной горловины станции вызвано примыканием второго главного пути двухстороннего действия в пределах 286–288 км до подключения к существующему участку главного пути перегона Молот – Ярославль-Главный. При переустройстве станции для обгона со стороны обхода требуется уложить дополнительно один приемоотправочный путь длиной 1276 м и построить одну пассажирскую платформу. Также дополнительно укладываются 3 новых съезда с марками крестовин 1/11 и типом рельсов Р65 для более удобного пропуска поездов всех направлений и сооружения нового вытяжного пути № 10 длиной 105 м. Для возможности пропуска поездов с обхода в северном направлении в сторону станции Данилов предусматривается восстановление ранее существующего соединительного пути двухстороннего действия в пределах стрелочных переводов 861 и 40 с устройством предохранительных тупиков.

При переустройстве станции предусматривается:

- возможность одновременного приема поездов со всех трёх подходов;

- взаимозаменяемость путей на станции с целью повышения надежности, смягчения неравномерности и затруднений, возникающих из-за отказа технических средств на станции и прилегающих участках.

Схема данного варианта реконструкции представлена на рисунке 5.

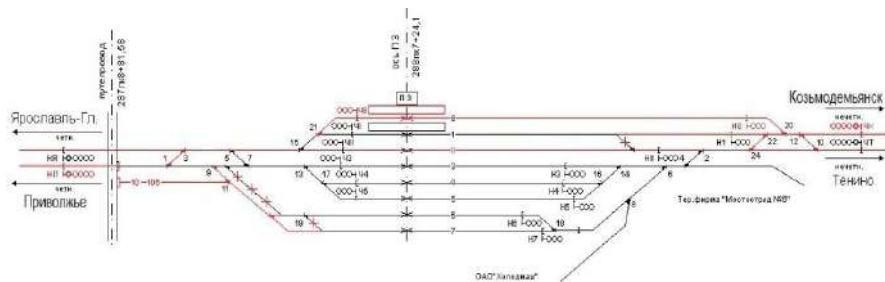


Рисунок 5 – Переустройство станции Молот в связи с примыканием обхода

Обход к станции Козьмодемьянск (масштабный план представлен на рисунке 6) примыкает к нечётной горловине и частично проходит по трассе недействующего подъездного пути.

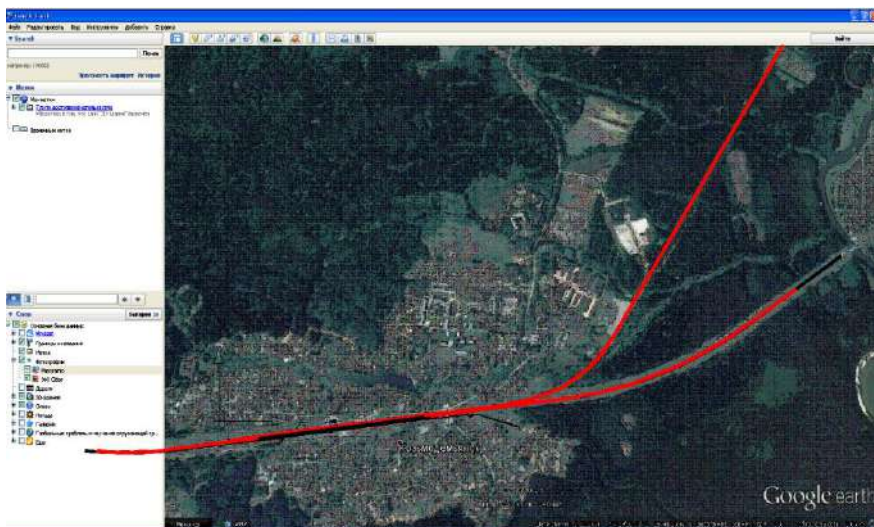


Рисунок 6 – Переустройство станции Козьмодемьянск на цифровой подложке

При переустройстве станции требуется уложить дополнительно один приемоотправочный путь для обгона со стороны обхода длиной 1210 м, построить одну пассажирскую платформу. Четная и нечетная горловины

должны полностью переукладываться в связи с переключением главных путей. По этой же причине реконструируются кривые на главных путях подхода к станции. Дополнительно укладываются 3 новых съезда с марками крестовин 1/11 и типом рельсов Р65 для более удобного пропуска поездов всех направлений.

Вариант переустройства станции Козьмодемьянск предусматривает возможность одновременного приема поездов со всех трех подходов и взаимозаменяемость путей на станции.

Немасштабная схема данного варианта представлена на рисунке 7.

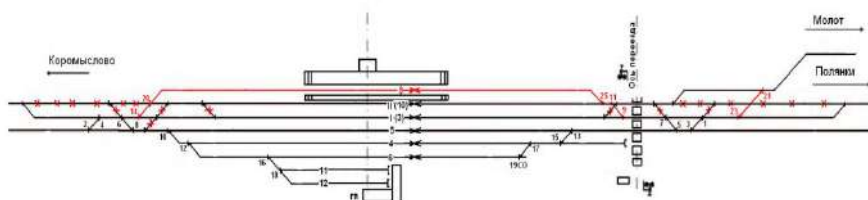


Рисунок 7 – Переустройство станции Козьмодемьянск в связи с примыканием обхода

Эффект от строительства обхода выражается в уменьшении работы основной станции Ярославского железнодорожного узла Ярославль-Главный работой с транзитными грузовыми поездами, уменьшение занятости лимитирующих перегонов и увеличение пропускной способности узла на 20 % при сравнимых затратах на движение поездов.

Эффективность указанного метода заключается в снижении трудоёмкости разработки вариантов переустройства на предпроектном этапе, увеличении качества отбора вариантов переустройства за счёт более полного учёта местных условий, получении цифровой карты, близкой к масштабному плану станции, которая используется для оценки принципиальных конструктивных решений и сравнения вариантов развития с учётом экономических критериев.

S. P. VAKULENKO, P. V. GOLUBEV, M. J. TELIATINSKAJA

IMPLEMENTATION OF RECONSTRUCTION MEASURES AIMED AT THE DEVELOPMENT OF STATIONS AND JUNCTIONS USING GEO-INFORMATION SYSTEMS

Using the example of real separate points, the possibility of using digital maps for the development of options for the reconstruction of railway stations is considered.

Получено 10.10.2018.

УДК 656.073.434

И. С. ДЗЮБА

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЁТНОГО ГАБАРИТА ДЛИННОМЕРНЫХ ГРУЗОВ

Выполнен критический анализ действующей методики и предложен более простой способ расчёта габарита груза в кривой.

Перевозка крупногабаритных и длинномерных грузов требует соблюдения повышенных мер безопасности из-за возможных поперечных смещений груза относительно железнодорожного пути в кривых участках. При этом середина груза, расположенная между опорами, смещается вовнутрь кривой, а концы, свисающие за пределами опор, выходят наружу. По максимальной величине смещения критических точек в кривых участках пути определяют расчётные габариты груза. Отметим, что длинномерный груз должен иметь только две точки опоры, расположенные по центрам шкворневых балок – при размещении на одном вагоне, или по центрам грузонесущих вагонов – при размещении опор на двух вагонах.

По действующей методике сначала рассчитывают величину смещения продольной оси груза в «опасных» точках. При этом расчёт выполняется отдельно для концевых и внутренних сечений.

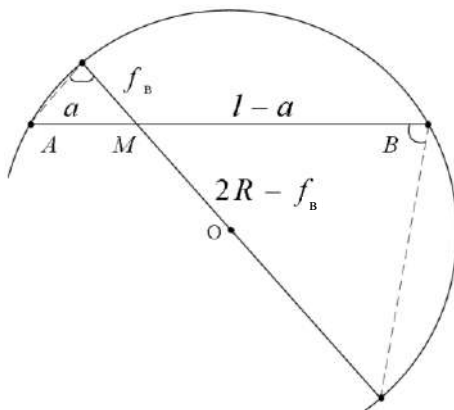


Рисунок 1 – Расчётная схема для вывода уравнения внутреннего смещения груза

Смещение продольной оси груза вовнутрь кривой f_b , мм, между опорами A и B (рисунок 1) согласно [1, 2] рекомендуется рассчитывать* по формуле

$$f_b = 500 a (l - a) / R, \quad (1)$$

где l – база груза, определяемая как расстояние между опорами груза A и B , м; a – расстояние от оси ближайшей опоры до рассматриваемого сечения M , м.

Из подобия треугольников следует, что

$$a / f_b = (2R - f_b) / (l - a),$$

откуда,

$$f_b^2 - 2R f_b + a (l - a) = 0 \quad (2)$$

или

$$f_b = R - \sqrt{R^2 - a(l - a)}. \quad (3)$$

Чтобы получить формулу (1), из уравнения (2) было исключено слагаемое f_b^2 ($f_b^2 \approx 0$). Тогда из оставшегося выражения

$$2R f_b = a (l - a)$$

следует, что

$$f_b = a (l - a) / (2R), \text{ м.}$$

Так как величина смещения обычно рассчитывается в миллиметрах, то умножив правую часть на 10^3 , получаем зависимость (1).

Если груз опирается на два вагона, то следует учитывать внутреннее смещение середины самих грузонесущих вагонов f_0 . При известной базе вагона l_b это смещение

$$f_0 = R - \sqrt{R^2 - (l_b / 2)^2}. \quad (4)$$

Опоры груза на сцепе будут перемещаться по кривой радиусом R_p , меньшим радиуса кривой R на величину f_0 , т. е. $R_p = R - f_0$. Подставляя значение f_0 и R_p в формулу (3), получим внутреннее смещение продольной оси груза, опирающегося на два вагона,

$$f_b = R - \sqrt{R^2 - (l_b / 2)^2 - a(l - a)}. \quad (5)$$

Однако в [2, с. 75]

$$f_b = 500 a (l - a) / R + 125 l_b^2 / R. \quad (6)$$

Здесь второе слагаемое получено из формулы (1) после подстановки вместо a величины $l_b/2$. В некоторых изданиях радиус кривой фиксируется ($R = 350$ м) и вводятся константы: $500 / R$ заменяется коэффициентом 1,43,

* Здесь и далее речь идёт исключительно об основной расчётной составляющей без учёта наклонов, сдвигов, зазоров безопасности и других дополнительных величин.

получаемым как результат $500 / 350 = 1,4286$, а вместо $125 / R$ устанавливается значение $0,36$ ($125 / 350 = 0,3571$). Таким образом, радиус кривой R как основной параметр исключается из расчётов.

Сравнение результатов расчёта, получаемых по формулам (1) и (3), а также (5) и (6) показывает, что упрощённые зависимости, приводимые в Инструкции для расчёта смещений продольной оси груза внутрь кривой дают заниженные значения. Погрешность расчётов увеличивается при уменьшении радиуса кривой R и увеличении базы груза l . Отклонения в расчётах можно считать допустимыми при радиусах $R > 300$ м и базе груза $l < 30$ м, поэтому рекомендуется принимать $R = 350$ м. В Инструкции [1] приведена таблица с коэффициентами, позволяющими корректировать расчёты для радиусов 300, 250 и 220 м, что усложняет методику.

Наружные выносы продольных осей концевых сечений длинномерного груза f_n рекомендуется определять по формуле

$$f_n = 500 a (l_b + a) / R, \quad (7)$$

или при размещении на сепе

$$f_n = (500 / R) (l + a) a - (125 / R) l_b^2, \quad (8)$$

где a – расстояние от ближайшей опоры груза до рассматриваемого сечения свисающей его части, м.

Как известно, квадрат касательной CM (рисунок 2) равен произведению отрезков секущей, проведенной из той же точки, т. е.

$$CM^2 = (l + a)a.$$

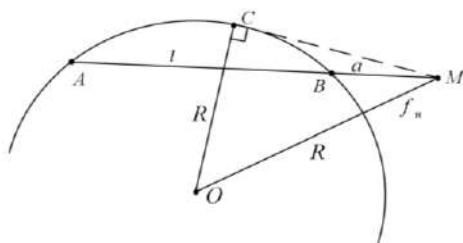


Рисунок 2 – Расчётная схема для определения наружных выносов

В то же время из прямоугольного треугольника $\triangle OCM$ следует, что

$$CM^2 = (R + f_n)^2 - R^2.$$

Приравняв правые части, имеем

$$(R + f_n)^2 = R^2 + (l + a)a, \quad (9)$$

откуда величина наружного выноса оси груза

$$f_n = \sqrt{R^2 + a(l + a)} - R. \quad (10)$$

Из уравнения (9) следует, что $2R f_n + f_n^2 = (l + a)a$. Если теперь убрать слагаемое f_n^2 , то

$$f_n = (l + a) a / (2R).$$

Умножая данное выражение на 10^3 , получим формулу (7). В результате аналогичных преобразований получается и зависимость (8). Исследования показывают, что погрешность расчётов по упрощённым формулам (7) и (8) в зависимости от исходных данных может быть достаточно большой (до 50 мм и более).

Согласно Инструкции расчётный габарит груза рекомендуется определять прибавлением к смещению продольной оси в «опасных» сечениях половину ширины груза. В результате должен быть получен расчётный вынос критической точки груза за пределы оси пути. При этом расчёты должны выполняться отдельно для концевых и внутренних сечений по различным аналитическим формулам с учётом различных коэффициентов. К тому же получаемые результаты имеют заметную системную погрешность.

Схема расчёта смещений груза (рисунок 3) имеет следующие позиции: прямая AB – продольная ось груза (точки A и B – центры опор груза); отрезок AB – база груза l (расстояние между осями опор); M – некоторая критическая точка груза, габаритность которой необходимо проверить; x , y – координаты рассматриваемой критической точки M относительно центра базы груза (точки C).

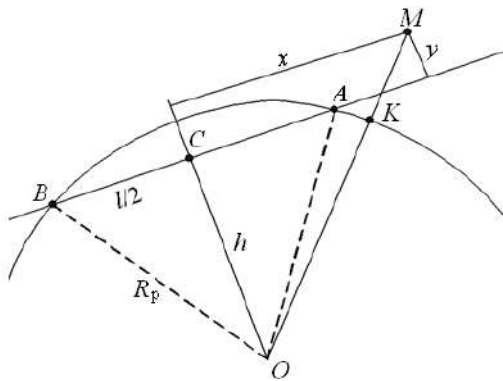


Рисунок 3 – Схема для расчёта смещений

Смещение f любой точки груза M от оси пути должно измеряться по прямой, соединяющей эту точку с центром окружности O (отрезок MK). Это расстояние равно разности отрезка MO и радиуса R_p , т. е. $f = MK = MO - R_p$.

Радиус, по которому перемещается база груза R_p , зависит от схемы погрузки. При опоре на один вагон $R_p = R$, на два вагона $R_p = R - f_0$, где R – радиус круговой кривой пути, м; f_0 – смещение продольной оси самого вагона (согласно формуле (4)).

Из прямоугольного треугольника AOC определяется величина отрезка OC (высота ΔAOC).

$$h = \sqrt{R_p^2 - (l/2)^2}.$$

Расстояние от любой точки груза M до центра круговой кривой

$$MO = \sqrt{(h \pm y)^2 + x^2}.$$

Смещение любой точки груза от оси железнодорожного пути, м, будет определяться по формуле

$$f = \sqrt{(h \pm y)^2 + x^2} - R_p$$

или

$$f = \sqrt{(R_p^2 - (l/2)^2 \pm y^2) + x^2} - R_p.$$

Если величина f положительная, то имеет место внешнее смещение, а если разность отрицательная – точка смещена внутрь кривой.

Значения величин x и y определяются по схеме погрузки и габаритным размерам груза. Направление отсчёта величины x не принципиально. Величина x всегда положительна и равна расстоянию от середины базы груза до рассматриваемого сечения.

Для всех точек, расположенных от продольной оси груза к центру кривой, величина y принимается со знаком «минус» ($-y$), а для точек, расположенных с противоположной стороны, – со знаком «плюс» ($+y$).

Таким образом, предлагаемый подход к определению расчётного габарита груза и размеров величин геометрических выносов при прохождении кривых участков пути не требует промежуточных вычислений, достаточно прост и математически корректен.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств – участников СНГ, Латвийской, Литовской, Эстонской республик / М., 2001. – 192 с.

2 Сборник правил и тарифов железнодорожного транспорта общего пользования / сост. И. Н. Каплевская. – Минск : Триолета, 2005. – 112 с.

I. S. DZUBA

DETERMINATION OF THE DESIGN DIMENSION FOR LONG ITEMS OF FREIGHT

A critical analysis of the current methodology was carried out and a simplified method for calculating the freight dimensions in the curve was proposed.

Получено 21.09.2018.

УДК 656.025.2

И. П. ДРАЛОВА

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)
petrovni@tut.by

ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОДЕЗИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЙ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЯХ

Рассмотрены различные современные измерительные средства и способы сбора геопространственных данных при съемке железнодорожных станций. Выполнен сравнительный анализ различных способов получения материалов инженерно-геодезических изысканий на объектах железнодорожной инфраструктуры и точностей методик съемочных работ. Показаны преимущества и недостатки каждого из применяемых способов.

При создании масштабных планов железнодорожных станций важным этапом являются инженерно-геодезические изыскания с использованием современных методов сбора данных, обеспечиваемых применением высокоэффективного геодезического оборудования. Полевые работы на железнодорожных станциях имеют определенную специфику. Кроме линейных объектов (главные и станционные пути) съемке подлежат различные здания и сооружения (светофоры, элементы стрелочных переводов и др.). Кроме того, необходимо учесть технологический фактор непрерывности перевозочного процесса, обуславливающий увеличение продолжительности съемки станционных объектов из-за необходимости перемещения поездов, перестановки, подачи вагонов, движения одиночных локомотивов. Всё это приводит к усложнению технологии выполнения съемки и определяет ее как достаточно трудоемкий процесс. Это приводит к определенным трудностям в получении точной исходной геодезической информации об исследуемых объектах.

В настоящее время используется несколько способов сбора геодезических данных на железнодорожных станциях, имеющих особенности своей реализации.

Съемка при помощи электронного тахеометра. Электронный тахеометр объединяет в себе возможности электронного теодолита и светодальномера, выполняющих съемку с помощью специального программного обеспечения. На сегодня полевые работы с помощью электронного тахеометра являются одним из основных методов топографической съемки.

Для целей съемки станции применяются модели тахеометров со среднеквадратической погрешностью измерения углов $m_{\beta} = 2-6''$ и относительной среднеквадратической погрешностью измерения расстояний $m_S = 3 \text{ мм} + 2 \text{ мм/км}$ (1:200000) [1]. Модели с такими характеристиками отвечают необходимым требованиям к точности создания съемочной сети и съемки ситуации.

В настоящее время расширяется сфера использования роботизированных электронных тахеометров, оборудованных сервоприводами, которые позволяют в автоматическом режиме отслеживать передвижение активной призмы. Данные приборы позволяют выполнять съемку заданного участка станции в режиме сканирования. При этом отражатель не требуется, а расстояния определяются в безотражательном режиме с автоматическим измерением горизонтальных и вертикальных углов с заданным интервалом сканирования. Такие электронные тахеометры оборудуются встроенной цифровой фотокамерой, которая позволяет вести абрис по фотоснимкам и записывать их в память прибора [2]. Данная модель прибора позволяет существенно повысить эффективность полевых работ и сократить трудозатраты.

Съемка при помощи спутниковой аппаратуры. Спутниковая геодезическая аппаратура в настоящее время находит широкое применение на объектах железнодорожного транспорта. При съемке железнодорожных перегонов и станций с применением спутниковой геодезической аппаратуры не требуется сгущение съемочной сети и оказывается достаточно одного пункта. Однако съемка железнодорожных станций с помощью спутниковой аппаратуры ограничивается видимостью небесной сферы из-за занятости путей подвижным составом, который является причиной экранирования спутниковых сигналов. Это приводит к ошибкам многолучевости, характерным для данных условий, что не позволяет производить съемку с требуемым уровнем точности [3]. Современные спутниковые радионавигационные системы при условии видимости не менее четырех спутников позволяют определять координаты с высокой точностью (8 мм в плане и 15 мм по высоте), что в определенных случаях может рассматриваться как альтернативная технология съемки.

Съемка при помощи наземного лазерного сканирования. Этот способ используется для автоматического определения пространственных координат множества точек, расположенных на поверхности объекта съемки. Принцип действия наземного сканера основан на методе полярной засечки. С помощью встроенного в сканер лазерного безотражательного дальномера в автоматическом режиме измеряются расстояния до каждой точки объекта съемки. Направление излучаемого дальномером лазерного луча изменяется в параллельных и перпендикулярных плоскостях осей вращения сканера специальной системой, которая называется системой развертки. При съемке ось вращения сканера приводится в отвесное положение по круглому уровню. По углам поворота луча и измеренному расстоянию встроенный в сканер процессор вычисляет трехмерные координаты каждой точки объекта [4].

Результатом сканерной съемки является пространственная модель объекта в виде облака точек, каждая из которых имеет пространственные позиции x , y , z , выраженные в условной системе координат сканера. Ее можно рассматривать на экране компьютера под разными углами зрения и в разных проекциях, а также выполнять на ней обмер интересующих частей объекта съемки. Ограниченное поле зрения сканера и форма объекта съемки обычно не позволяют использовать съемку только с одной стоянки прибора. Поэтому сканирование выполняют с нескольких позиций сканера. Учитывая трехмерные координаты облаков точек, для объединения и приведения координат всех точек к единой системе каждое облако должно иметь не менее трех общих точек с соседними. Общими точками служат характерные, особенно четкие точки объекта или специальные марки, располагаемые перед съемкой на объекте и автоматически распознающиеся программным обеспечением в облаке.

Необходимо отметить ряд достоинств данного вида съемки по сравнению со съемкой электронным тахеометром или спутниковой геодезической аппаратурой, связанных с автоматическим выполнением измерений в безотражательном режиме, высокой скоростью измерений (до 1 млн точек/сек), точностью результатов.

Основными недостатками сканерной съемки являются высокая цена оборудования, превышающая стоимость наиболее распространенных моделей электронных тахеометров в 10–15 раз, а также наличие мертвых зон, возникающих в процессе съемки тех или иных объектов. В настоящее время области применения наземных лазерных сканеров все более расширяются. Разрабатываются новые и совершенствуются существующие технологии наземной сканерной съемки местности и различных инженерно-технических сооружений. Лазерное сканирование применяется для исполнительных съемок памятников архитектуры, реконструкции и мониторинга мостов, топографической съемки местности, съемок инженерных сооружений различного назначения и в других областях, в том числе на объектах железнодорожного транспорта [5].

Полученные результаты лазерного сканирования обладают высокой информативностью. Цифровая модель железнодорожных станций содержит данные, которые позволяют в дальнейшем получить полную информацию о геометрических характеристиках и габаритах станционных сооружений на любом этапе эксплуатации. Такой способ съемки обладает миллиметровой точностью данных, обеспечивающих получение точечной модели железнодорожной станции. Полученную информацию можно обрабатывать во всех известных САПР и выполнять дальнейшее проектирование и реконструкцию сооружений.

Съемка при помощи мобильных навигационно-сканерных систем. В настоящее время начинает широко использоваться автоматизированный

путеизмерительный комплекс (АПК), в котором для достижения высокой точности и уменьшения трудозатрат применяются навигационно-сканерные системы. АПК представляет собой тележку, перемещаемую по железнодорожному пути при помощи специализированного привода, на которой установлено измерительное оборудование. Некоторые модели оснащены электронными тахеометрами и спутниковой аппаратурой, что позволяет работать в различных конфигурациях в зависимости от поставленной задачи. Во всех комплексах имеется оборудование, позволяющее кроме положения железнодорожного пути в плане и по высоте измерять ширину колеи, возвышение наружного рельса, стрелы изгиба и перекосы [6].

Автоматизированный путеизмерительный комплекс применяется для проектно-изыскательских работ, решает задачу автоматизированной съемки путей, позволяет получать оперативную, высокоточную информацию об их плановом и высотном положении и геометрических характеристиках. Эти данные предоставляются в виде планов и продольных профилей, а также трехмерных моделей местности. Рассматриваемая система позволяет интегрировать создаваемые цифровые модели местности (ЦММ) в различные геоинформационные системы (ГИС). При этом выходная информация будет обладать всеми преимуществами наземного лазерного сканирования [7].

В настоящее время по цене и качеству производства геодезических работ при съемке железнодорожных станций в ряде случаев целесообразно использовать тахеометр с различными модификациями. К ним относится роботизированный вариант с функцией сканирования и встроенной цифровой фотокамерой, использование которой позволяет не только выполнять лазерное сканирование станции, но и дополнительно съемку объектов, сканирование которых затруднено. Использование этого прибора позволяет работать в режиме слежения, что сокращает количество задействованных работников в съемке, а также находящихся на станционных путях, тем самым обеспечивая безопасность производства не только геодезических работ, но и перевозочного процесса в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Полетаев, А. В.* О точности измерений при съемке железнодорожного пути электронными тахеометрами / А. В. Полетаев, П. В. Бобарькин // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов : материалы Международной конференции. – СПб. : ПГУПС, 2003. – С. 64–67.

2 *Пимшина, Т. Н.* Исследование технологии электронно-блочной тахеометрии при выполнении изысканий железных дорог / Т. Н. Пимшина // Транспорт-2003 : труды научно-теоретической конференции профессорско-преподавательского состава. – Ростов н/Д : РГУПС, 2003. – С. 58–59.

3 *Полетаев, В. И.* Методика съемки железнодорожного пути с использованием спутниковых GPS-приемников / В. И. Полетаев, П. В. Бобарькин, А. С. Саяпин // Со-

временные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации транспортных объектов : материалы Международной конференции. – СПб. : ПУПС, 2003. – С. 60–61.

4 Основы наземной лазерно-сканирующей съемки : учеб. пособие / В. Н. Гусев [и др.]. – СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет), 2007. – 86 с.

5 *Канашин, Н. В.* Съемка железнодорожных станций методом лазерного сканирования / Н. В. Канашин // Путь и путевое хозяйство. – 2008. – № 7. – С. 11–13.

6 *Самратов, У. Д.* О точности определения геометрических параметров железнодорожного пути с помощью АПК / У. Д. Самратов // Геопрофи. – 2007. – № 6. – С. 28–32.

7 *Назаров, Д. Г.* Современные способы получения геопространственных данных на объектах железнодорожной инфраструктуры / Д. Г. Назаров // Инженерные изыскания. – № 9/2013. – С. 26–28.

I. P. DRALOVA

SPECIFIC CHARACTERISTICS OF THE ENGINEERING SURVEYING AT RAILWAY STATIONS

Various modern measuring tools and methods for collecting geospatial data when surveying railway stations are considered. A comparative analysis of various methods of obtaining results of engineering and geodetic survey at railway infrastructure facilities and accuracy of survey work methods has been performed. The advantages and disadvantages of each method used are shown.

Получено 23.10.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.22.22 : 656.07 + 06

В. Н. ЗУБКОВ, Е. А. ЧЕБОТАРЕВА

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

Abrosimova@ya.ru

РАЗВИТИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ЛОГИСТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГРУЗОПОТОКАМИ В АДРЕС ПОРТОВ АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКОГО БАССЕЙНА

Проанализирована динамика увеличения экспортного грузопотока в направлении портов юга России. Рассмотрены основные аспекты развития информационных технологий управления грузопотоками в адрес портов Азово-Черноморского бассейна.

Одной из насущных проблем в Южном регионе России является проблема организации подвода поездов к портам Азово-Черноморского бас-

сейна (АЧБ). В структуре общей выгрузки на Северо-Кавказской железной дороге (СКЖД) доля вагонов, выгружаемых в портах, составляет более 70 %. Динамика последнего десятилетия показывает неуклонный рост объемов грузов в направлении портов. Так, за последние 12 лет объем перевозимых грузов вырос на 66 %. По данным института экономики и развития транспорта экспортный грузопоток в направлении портов юга России будет только возрастать и увеличится к 2025 году до 131,1 млн тонн (рисунок 1).



Рисунок 1 – Динамика выгрузки на припортовых станциях СКЖД

Для освоения указанных объемов перевалки грузов в портах СКЖД реализуются мероприятия по развитию транспортной инфраструктуры и логистических технологий перевозочного процесса [1, 2]. Так, завершается строительство обхода Краснодара, предусматривающего комплексную реконструкцию участка Максим Горький – Котельниково – Тихорецкая – Крымская, а также строительство на Таманском полуострове вторых путей, удлинение станционных путей, развитие узлов и обновление устройств электроснабжения.

В настоящее время логистическое обеспечение перевозок в границах СКЖД осуществляет логистический центр Северо-Кавказской дирекции управления движением в г. Ростов-на-Дону (далее – ДЛЦ), созданный в 2003 году. Планирование подвода поездов к припортовым станциям на первом этапе осуществлялось диспетчерским аппаратом в ручном режиме на основе выходных данных из различных действующих информационных систем. Основной проблемой, с которой столкнулась дорога, стало отсутствие информационного взаимодействия с крупными портами. Поэтому основным направлением дальнейшего развития логистического управления

грузопотоками является автоматизация всего процесса планирования подвода грузов в порты. Это позволит обеспечить равномерную загрузку терминалов и увеличить выгрузку в портах.

Еще в 2016 году была разработана и успешно применяется согласованная с портами технология планирования погрузки внешнеторговых грузов с учетом особенности работы морских терминалов. Реализован ряд новых транспортно-логистических продуктов, таких как движение грузовых поездов с согласованным временем отправления и прибытия, оказание услуг по временному размещению подвижного состава на инфраструктуре перевозчика и др. Однако следует отметить, что из-за высокой неравномерности поступления вагонов под выгрузку, форс-мажорных обстоятельств и других причин имеет место временный отстой составов с невостребованными грузами в адрес портов АЧБ.

Для эффективного управления грузопотоками на базе логистических методов управления на дороге выполняется ряд проектов, направленных на развитие информационных технологий. Во-первых, это пилотный проект по организации единого информационного поля ОАО «РЖД» с Новороссийским морским торговым портом (ПАО «НМТП»). На сегодня уже согласованы договор об электронном обмене данными, концепция развития информационного взаимодействия и подробный план реализации проекта с переходом к опытной эксплуатации, который был осуществлен в период 2017–2018 гг. Данная схема взаимодействия разрабатывается как типовая для ОАО «РЖД».

Алгоритм работы формализован и выглядит следующим образом. На основании данных, полученных от порта по принципу «АСУ порт-АСУ «РЖД» о потребности грузов с учетом ассортиментных позиций, экспортных контрактов и лотов, автоматически формируется план и прогноз завоза грузов на припортовую станцию (рисунок 2).

Необходимо отметить, что сегодня железная дорога и порт ориентируются на различные цели: железнодорожная отрасль управляет продвижением поездов в порт, а порт «требует» груз определенной номенклатуры, который делится на марки, ассортимент или контракт. В результате сложившаяся методика управления подводом грузов в порты до недавнего времени не отвечала требованиям порта. В связи с этим предложен переход от сложившейся годами практики управления поездами, следующих в адрес порта, к управлению грузопотоками с учетом марок грузов.

В рамках проекта совместно с НМТП был сформирован справочник ассортиментных позиций по перерабатываемым грузам, установлен временный порядок заполнения поля «Подробное описание груза» в электронных накладных системы ЭТРАН в части указания информации о марке груза и идентификаторе внешнеторгового контракта.



Рисунок 2 – Организация единого информационного пространства для ОАО «РЖД» и ПАО «НМТП»

Обеспечена визуализация и мониторинг наличия свободных емкостей в порту и продвижения грузопотоков. Также разработан целый ряд двухсторонних документов (рисунок 3).



Рисунок 3 – Реализация новой концепции организации информационного взаимодействия ОАО «РЖД» и ПАО «НМТП»

Создано совместное с портом информационное пространство и единая нормативно-справочная информация, что обеспечивает актуальность и целостность сведений, которыми руководствуются все стороны – участники процесса перевозок в ходе принятия решений. На основе этих документов реализован и запущен в тестовом режиме электронный обмен данными между автоматизированными системами «РЖД», в частности между авто-

матризированной системой управления местной работой (АСУ МР) и автоматизированными системами порта (АСУ порта). Данные из АСУ порта поступают в полном объеме по регламенту каждые два часа.

Кроме этого, реализована таблица с детальными данными о вагонах, из которых следует формировать поезда для включения в план подвода. По всем группам вагонов указывается дислокация на станции, востребованность в порту и плановое время готовности к отправлению.

Указанные задачи были реализованы на базе дорожной информационно-логистической системы ДИЛС в составе АСУ МР. Основными задачами ДИЛС являются:

- создание единого информационного пространства – информационной среды коллективного доступа;
- автоматизация сквозной технологии работы всего цикла перевозки – от мест зарождения до погашения грузопотоков;
- автоматизация технологии планирования подвода поездов к стыковым станциям СКЖД с формированием управляющих команд, заданий на продвижение вагонопотоков по транзитным железным дорогам;
- интеграция ДИЛС с АС ЭТРАН для оптимизации размеров погрузки в адрес операторов морских терминалов во взаимодействии с грузоотправителями, портами и грузополучателями;
- планирование подвода поездов на припортовые станции с учетом сменных и суточных планов работы станции и терминалов, наличия флота у причалов и на рейде, ситуации в порту, обеспеченности техническими и тяговыми средствами, наличия вагонов на подъездных путях и на путях станции, времени хода от станции текущей дислокации до станции назначения.

Определение очередности продвижения поездов выполняется автоматически на основе результатов автоматического планирования подвода. Однако на настоящий момент такая очередность еще корректируется диспетчерским аппаратом вручную с учетом поездной обстановки. Транзитные дороги получают управляющие команды на продвижение в оперативном режиме и учитывают их в сменно-суточном планировании поездной работы.

В 2018 году информационное взаимодействие организовано с портом Туапсе. На сегодня уже функционирует табло информационно-логистической системы, которое в режиме реального времени работает для портов Туапсе и Новороссийск. Табло установлено и развернуто в диспетчерском центре управления перевозками на СКЖД. На данном табло в реальном времени отображается вся информация о поездах, прибывающих на станции Новороссийск и Туапсе. В режиме реального времени на табло можно увидеть наличие вагонов под выгрузкой на станции, количество вагонов, которые выгружены на момент и разбитые по номенклатурам груза, количество вагонов в адрес конкретных терминалов, объемы грузов на складских пло-

щадях в адрес каждого терминала по номенклатурам и другую информацию. Также на табло развернута система формирования эксплуатационных показателей отчётности в онлайн-режиме.

В 2018–2019 гг. запланировано развитие проекта по следующим направлениям:

1) тиражирование системы двухстороннего информационного взаимодействия на другие порты АЧБ (Вышестеблиевская, Грушевая и Заречная, Темрюк, Кавказ, Таганрог, Азов), а также на порты других дорог;

2) включение ключевых грузоотправителей в контур единого информационного поля «АСУ порт – АСУ РЖД». Для этого необходимо расширить информационное взаимодействие между системами АСУ МР и АС ЭТРАН в части обмена данными о наличии свободных емкостей в порту, с одной стороны, и календарном графике погрузки – с другой, с учетом наличия груза на инфраструктуре перевозчика по всему маршруту следования. На основании этих данных система должна обеспечивать автоматическую корректировку графика погрузки, либо подтверждение со стороны грузоотправителя факта направления неостребованного груза на отстой по договору в демпферную зону. Все операции должны проводиться в безбумажном режиме с использованием электронно-цифровой подписи;

3) включение в ДИЛС планирование внутростанционной работы;

4) разработка карты «пробок» для выбора оптимального маршрута следования грузовых поездов в адрес портов;

5) создание модуля выставки поездов на пути станций Южного полигона (Северо-Кавказской, Юго-Восточной, Приволжской, Куйбышевской, Южно-Уральской железных дорог);

6) создание модуля подвязки локомотивов и локомотивных бригад.

Одной из самых сложных задач при реализации подсистем ДИЛС является формирование и корректировка плана подвода поездов с учетом изменяющейся поездной обстановки. Как следует из разработанной на СКЖД идеологии ДИЛС, она является типичным объектом цифровой железной дороги (ЦЖД) [3]. В этой связи предлагается более четко прописать и эффективнее использовать в разработке ДИЛС основные компоненты ЦЖД: киберфизические системы, интеллектуальные процедуры принятия решений, платформенные схемы организации труда участников проекта, блокчейн.

Для реализации проекта затраты могут составить около 100 млн рублей. С учетом возрастающей потребности в перевозке экспортных грузов и наличия инфраструктурных ограничений в направлении портов Азово-Черноморского бассейна реализация данной технологии по экспертным оценкам позволит в среднесрочной перспективе до 2020 года обеспечить освоение грузопотока с годовым приростом до 10 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Зубков, В. Н.* Полигонные технологии как новый подход к совершенствованию системы управления грузопотоками в направлении портов и крупных предприятий / В. Н. Зубков, Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – № 3. – 2015. – С. 64–72.

2 *Чеботарева, Е. А.* Совершенствование системы диспетчерского управления грузопотоками в адрес крупных потребителей Северо-Кавказской железной дороги / Е. А. Чеботарева, В. В. Чеботарев // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3. – С. 82–89.

3 Концепция реализации комплексного научно-технического проекта «Цифровая железная дорога». – 89 с.

V. N. ZUBKOV, E. A. CHEBOTAREVA

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGIES FOR LOGISTIC MANAGEMENT OF CARGO TRAFFIC HEADING THE PORTS OF THE AZOV-BLACK SEA BASIN

The article analyzes the dynamics of the increase in export traffic in the direction of the ports of southern Russia. The main aspects of the development of information technologies for managing cargo traffic heading the ports of the Azov-Black Sea basin are considered.

Получено 10.12.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.211

Т. И. КАШИРЦЕВА

Российский университет транспорта (МИИТ)

ka-t-i@ya.ru

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ПАССАЖИРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ

Рассматриваются методы оптимизации технического оснащения и технологии работы пассажирских технических станций и технических парков пассажирских станций.

Тема оптимизации технического оснащения и технологии работы пассажирских технических станций (ПТС) не теряет своей актуальности, так как

пассажиропоток железнодорожного транспорта в дальнем сообщении продолжает увеличиваться. По данным ОАО «РЖД» в первом полугодии 2018 года он составил 547,6 млн человек. По сравнению с январем – июнем 2017 года пассажиропоток вырос на 3,3%. Пассажирооборот на сети ОАО «РЖД» в первом полугодии 2018 года вырос на 5,3 % по сравнению с первым полугодием 2017 года и составил 55,82 млрд пасс.-км. Также продолжает расти и уровень требований пассажиров к качеству предоставляемых услуг при организации перевозки, а следовательно, и к качеству подготовки составов в рейс.

Для оптимизации параметров технического оснащения ПТС можно использовать различные методы, позволяющие получить максимально достоверные результаты. Как было обосновано в [1], данная задача относится к многокритериальным. Критериями могут служить затраты, связанные с сооружением (реконструкцией) и/или функционированием ПТС, надежность, время подготовки составов в рейс, пропускная (перерабатывающая) способность устройств и т. д.

Для решения многокритериальных задач следует найти такую целевую функцию, которая учитывала бы противоречивый характер целей, отражала «вклад» каждого критерия в конечный результат и позволяла одновременно сравнивать критерии, выраженные в разных единицах измерения. В данной статье задача решается следующим образом. Имеются различные схемы ПТС и различные варианты технического оснащения. Любое сочетание данной схемы ПТС с набором технического оснащения представляет собой конструкцию ПТС. Пусть имеются различные входящие потоки составов пассажирских поездов с характеристиками, которым соответствуют определенные объемы работы. Каждый такой поток может быть обслужен с использованием некоторой из имеющихся конструкций. Разрабатывается набор критериев, отражающих цели оптимизации и позволяющих оценить определенные особенности конструкций. Также определяются оптимизируемые параметры. В результате обслуживания каждого потока на данной конструкции получается упорядоченный набор выходных характеристик (значений критериев оптимизации), соответствующий обслуживанию данного потока на определенной конструкции. Характеристики такого вектора можно описать неотрицательными числами, имеющими ранговый приоритет. Такие числа могут быть расположены по степени их важности, либо им можно приписать веса, которые учитывают эти степени важности. Для каждой компоненты этого вектора значений критериев должно быть указано направление ее улучшения (т. е. чем выше (ниже) значение данного критерия, тем больше данная конструкция соответствует данному потоку по данному критерию). Задача состоит в том, чтобы выбрать целевую функцию для векторов значений критериев так, чтобы определить оптимальную конструкцию для фиксированного потока или объема работы.

Ряд задач оптимизационного характера не содержит неопределенностей и может быть сведен к четко поставленным математическим задачам опти-

мизации, методы решения которых хорошо известны. К ним относятся задачи экстремального характера для функций многих переменных, вариационные и др. Описанным выше способом могут быть решены также задачи, содержащие какие-либо случайные величины или случайные функции, если использовать средние значения входящих в них величин, то есть поиск наилучшей стратегии сводится к четко поставленной математической задаче оптимизации без принятия или использования дополнительных гипотез иного характера. Однако такие задачи немногочисленны и содержат различного вида неопределенности. Проблема состоит в том, чтобы с помощью неформального анализа сформулировать дополнительные гипотезы, которые позволят свести задачу с наличием неопределенностей к строго формулируемой задаче оптимизации.

Рассмотрим два возможных подхода: метод минимизации отношения разницы в значениях критериев оптимальности к их среднему значению и метод идеальной точки. Каждый критерий при заданных исходных условиях может иметь относительно лучшие или худшие значения. Будем считать наилучшее значение критерия условно оптимальным.

Известно, что невозможно найти такое сочетание значений оптимизируемых параметров, при котором все критерии одновременно принимали бы свои наилучшие или оптимальные значения. Например, увеличение числа путей позволяет увеличить пропускную способность парка станции, но в то же время увеличивает расходы, связанные с их амортизацией и ремонтом; увеличение времени работы РЭД в течение суток сокращает потребное число устройств, время ожидания выполнения технологических операций, но увеличивает численность персонала и т. д. Таким образом, задача сводится к нахождению такого набора значений варьируемых параметров, при котором их значения были бы максимально близкими к оптимальным.

В укрупненном виде алгоритм состоит из трех этапов. Первым этапом (шагом) алгоритма является вычисление значений критериев и значений их весов. На втором шаге вычисляются значения целевой функции при различных значениях и весах критериев. На третьем шаге полученные значения целевой функции выстраиваются в ранжированный ряд. Задача сводится к оптимизационной задаче, если описана функция сравнения принятых критериев или установлен какой-либо другой алгоритм выбора.

Пусть имеются два ряда чисел $\alpha_{1j}, \alpha_{2j}, \alpha_{3j}, \dots$ и $\alpha_{1k}, \alpha_{2k}, \alpha_{3k}, \dots$ длины n . Каждой компоненте рядов соответствуют числа $\lambda_i, i = 1, 2, \dots, n$, не зависящие от изменения этой компоненты и указывающие на ее вес в ряду значений критериев. Определены ограничения по λ_i для всех $i = 1, \dots, n$ при $\lambda_i \geq 0$ с условием нормирования

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1.$$

Для решения данной задачи могут быть использованы различные подходы. Рассмотрим два основных метода. Первый вариант – метод идеальной

точки, в качестве которой принимается значение минимума суммы квадратов отклонений значений критериев от своих индивидуальных оптимальных значений для каждой конструкции и объема работы:

$$F_1 = \min \sum_i \left(\frac{\alpha_{ij}(A) - \alpha_{i\text{опт}}}{\alpha_{i\text{опт}}} \right)^2 \lambda_i,$$

где A – множество допустимых значений оптимизируемых параметров, состоящее из n элементов; i – порядковый номер критерия оптимизации, $i = 1, 2, \dots, n$; λ_i – вес i -го критерия; $\alpha_{ij}(A)$ – значение i -го критерия оптимизации при j -м наборе значений параметров; $\alpha_{i\text{опт}}$ – оптимальное значение i -го критерия при заданных исходных условиях.

В качестве альтернативного метода решения задачи может быть рассмотрен метод упорядочивания, при котором расчеты выполняются на основании экономико-математической модели. Ее суть заключается в следующем.

Принимается к использованию целевая функция оценки:

$$F_2 = \sum_i \left(\frac{\alpha_{ij} - \alpha_{ik}}{\alpha_{ij} + \alpha_{ik}} / 2 \right) \lambda_i (\pm 1) \rightarrow \max,$$

где α_{ij} – значение i -го критерия оптимизации, соответствующего варианту j ; α_{ik} – значение i -го критерия оптимизации, соответствующего варианту k .

Определение вектора улучшения целевой функции задается для того, чтобы получить возможность ранжировать полученные значения и расположить конструкции ПТС в порядке убывания приоритета.

Как уже отмечалось, выбор чисел $\lambda_i = 1, 2, \dots, n$ связан со степенью важности i -й компоненты (критерия) набора значений критериев данной станции и выбирается исходя из практических расчетов в связи со степенью их соответствия опытным данным. Выбор весов (значимости) критериев является сложной неформальной процедурой. При установлении веса каждого критерия возможно применение различных методов, но наиболее распространенным является метод экспертных оценок.

В случае равенства значений целевой функции можно считать оптимальным как вектор α_j , так и α_k . При изложении дальнейшего хода расчета по предлагаемому алгоритму и при учете описания этого алгоритма такое равенство отдельного значения не имеет. Выбор может быть сделан с добавлением к сравниваемым вариантам каких-либо дополнительных критериев. Для определения набора критериев можно воспользоваться графом (деревом) критериев. Вершинами графа являются критерии от 1 до n . Каждая ветвь графа определяет свой набор критериев, причем величины весов нормированы по каждой ветви.

Например, возьмем входящий поток составов пассажирских поездов размером Q . Этот поток может быть обработан по вариантам A, B, C . Рас-

считаем значения критериев. Предположим, что их семь для каждого варианта. Направления изменения критериев следующие:

$$\alpha_{1,2,3,5,7} \rightarrow \min, \alpha_{4,6} \rightarrow \max.$$

Веса критериев в соответствии с экспертным опросом распределены в возрастающем порядке номера числа λ_i . Предположим, что результаты вычисления целевой функции по этим вариантам следующие: $f(A) > f(B) > f(C)$. Следовательно, вариант A может быть признан оптимальным для данных условий, вариант B находится на первом уровне предпочтения, а вариант C – на втором.

Аналогичные ряды строятся для всех исследуемых конструкций. В результате такого построения и сравнения может быть определено оптимальное соотношение потоков составов пассажирских поездов и схем технического оснащения ПТС. Реализация данного экономико-математического метода позволяет получить оптимальное решение при создании проекта новой ПТС или проведении реконструктивных мероприятий, а также при выборе этапности проведения работ. На практике возможна ситуация, когда реализация оптимального варианта невозможна, например, ввиду недостаточного финансирования. В этом случае необходимо введение дополнительных ограничений по данному критерию.

Особо следует уделить внимание проблеме оценки сложности алгоритма расположения данного ряда чисел в ранжированный ряд. Указанная задача относится к задачам упорядочения. В работе [2] приводится значительное количество алгоритмов решения задач, подобных сформулированной выше (указаны нижняя, верхняя, точная и вероятностная оценки). Для определения оценки сложности выбора конструкции фиксируется входящий поток заявок и принимается, что в результате формируется S схем (конструкций). Тогда подобная схема представляет собой усложненную задачу упорядочения, которая в разных вариантах подробно рассмотрена в [2].

Например, упорядочим S данных чисел по возрастанию (убыванию). Отметим, что среди них могут быть одинаковые числа. Нижняя вероятностная оценка решения составляет $S - 1$. Нижняя точная оценка сложности упорядочения S чисел по возрастанию (убыванию) есть $\log_2(S!)$. Согласно [2] сложность любого алгоритма упорядочения S чисел оказывается не меньше $\log_2(S!)$.

Обратимся теперь к верхним оценкам задачи упорядочения S чисел по возрастанию (убыванию). Самые простые алгоритмы упорядочения имеют квадратичный порядок. Однако существуют более эффективные алгоритмы. В данном случае рассматривается класс алгоритмов, которые предполагают наличие структуры у упорядочиваемых элементов. Элементами структуры являются значения целевой функции, описанной выше, для двух конечных наборов чисел. Согласно [2] выбираем алгоритм со сложностью $Cn \log(n)$.

Частичным порядком на множестве X называется такое бинарное отношение R , что для любых элементов a, b и c , принадлежащих множеству X , выполняются утверждения:

$$\begin{aligned} &\langle a, a \rangle \in R \text{ (рефлексивность),} \\ &\langle a, b \rangle \in R \text{ и } \langle b, c \rangle \in R, \text{ то } \langle a, c \rangle \in R \text{ (транзитивность)} \\ &\text{и } \langle a, b \rangle \in R, \langle b, a \rangle \in R, \text{ то } a = b \text{ (антисимметричность).} \end{aligned}$$

Линейный порядок на множестве X есть такой частичный порядок на отношении R , когда для любых двух элементов a и b , принадлежащих множеству X , верно утверждение:

$$\langle a, b \rangle \in R \text{ или } \langle b, a \rangle \in R.$$

Задача упорядочения формулируется следующим образом: пусть на множестве X задан линейный порядок и последовательность элементов a_1, a_2, \dots, a_n , принадлежащих множеству X . Нужно найти такую перестановку этих элементов $a_{i_1}, a_{i_2}, \dots, a_{i_n}$, чтобы выполнялось условие: $a_{ij} \leq a_{ik}$ при $j \leq k$. Алгоритмы решения этой задачи известны.

Рассмотрим множество из S чисел. Пусть имеется возможность упорядочить множество из $S - 1$ числа за $C(S - 1)\log(S - 1)$ сравнений. Упорядочим первые $S - 1$ числа за $C(S - 1)\log(S - 1)$ сравнений. Возьмем последнее число и, разбив первые $S - 1$ числа на два (возможно, неравных) множества, сравним последнее число с числом, стоящим в середине упорядоченных $S - 1$ чисел. В результате могут получиться две ситуации: четное $S - 1$ или нечетное $S - 1$. В первом случае $2k + 2 = S - 1$, во втором $2k + 1 = S - 1$.

Теперь оставшуюся часть, в которую попадет последнее число, снова разбиваем пополам и т. д. до тех пор, пока последнее число не найдет свое место. При этом мы проделаем не более $[\log_2 S] + 1$ сравнений (доказательство – индукция по S). Таким образом,

$$C(n - 1)(\log_2 n - 1) + [\log_2 n] + 1 \leq Cn \log_2 n.$$

Перечисленные параметры ПТС могут принимать разные значения, их сочетание является переменной величиной, влияющей на качественные и количественные показатели ее работы. К оптимизируемым параметрам в данном случае относится взаимное расположение основных парков, РЭД и ВММ, число путей и обслуживающих устройств, режим работы РЭД и ВММ, число бригад и т. д.

Таким образом, соответствующие алгоритмические процедуры позволяют быстро и эффективно получить решение данной задачи. Набор критериев функционирования ПТС может быть изменен или дополнен новыми критериями. Метод идеальной точки является более распространенным для решения задач оптимизации. Однако метод упорядочивания также является универсальным, и его использование позволяет достичь требуемого результата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Каширцева, Т. И.* Выбор рационального соотношения объемов работы и технического оснащения ПТС : дис. ... канд. техн. наук (05.22.08 – Управление процессами перевозок) / Т. И. Каширцева; рук. работы Н. В. Правдин. – М. : МИИТ, 2002. – 245 с.

2 *Шень, А.* Программирование: теоремы и задачи / А. Шень. – 6-е изд., доп. – М. : МЦНМО, 2017. – 320 с.

3 *Каширцева, Т. И.* Система критериев оптимизации технико-технологической структуры ПТС / Т. С. Каширцева // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов : Междунар. сб. науч. трудов ; под общ. ред. д-ра техн. наук А. К. Головнича. – Гомель : БелГУТ, 2017. – С. 28–33.

T. I. KASHIRTSEVA

OPTIMIZATION OF PARAMETERS OF TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL STRUCTURE OF PASSENGER COACH YARDS

Methods of optimization of technical equipment and operation technology of passenger coach and service yards are considered.

Получено 14.10.2018.

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019

УДК 656.2

К. И. КОРНИЕНКО, С. А. БЕССОНЕНКО

*Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)
kkonstantini@mail.ru*

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДВИЖЕНИЯ ОТЦЕПА В СОРТИРОВОЧНОМ ПАРКЕ С УЧЕТОМ ДВИЖЕНИЯ НАЗАД ПОСЛЕ ОСТАНОВКИ

Рассматриваются проблемы движения отцепа назад после остановки в сортировочном парке. Предложен новый алгоритм расчета скорости движения отцепа, учитывающий откат отцепа. На основании данного алгоритма была разработана имитационная модель. Рассмотрены отличия в определении точки остановки отцепа по существующим и предлагаемому алгоритмам.

Совершенствование инфраструктуры Российских железных дорог является важным направлением, которое определено стратегией развития холдинга РЖД на период до 2030 года [1]. В настоящее время на сортировочных станциях происходит больше всего происшествий, угрожающих без-

опасности движения [2]. Большинство коммерческих браков возникает в сортировочном парке, когда вагоны соударяются с повышенной скоростью. Поэтому определение скорости движения отцепа на сортировочной горке и в сортировочном парке является одной из самых важных и сложных задач для моделирования [3–7].

Исследования ученых ДИИТа [12–16] во многом заложили основу корректного имитационного моделирования движения отцепа [8–11]. В дальнейшем проблемами определения скорости движения и точки остановки отцепа занимались многие ученые [12–16]. На сегодня на сортировочных горках внедрены многие научные идеи, Так, получают широкое применение системы автоматизации, разработанные Ростовским филиалом НИИАС [17–18]. В своих работах ученые из этого филиала рассматривают основные положения разработки автоматизированных сортировочных горок. Их алгоритм во многом является похожим на алгоритмы, разработанные ранее. Также при сотрудничестве с Siemens Ростовский филиал НИИАС внедряет систему MSR32 на сортировочных горках Черняховск и Лужская-Сортировочная. Анализируя опыт зарубежных сортировочных горок [19–20], можно сделать вывод о том, что в большинстве случаев на сортировочных путях используются дополнительные устройства торможения отцепов. На тех горках, где применяются только парковые замедлители, достигается незначительная среднестатистическая заполняемость путей.

Исследования показывают, что данные алгоритмы правильно работают только при выпуске отцепа на путь, на котором уже стоят вагоны. При этом они не учитывают ситуации, когда отцеп по каким-либо причинам не докатывается до стоящих вагонов или он выпускается на свободный путь. В этих случаях при определенных условиях может возникнуть ситуация, когда отцеп самопроизвольно начнет движение назад в сторону спускной части. Если при этом за ним следует еще один отцеп, то может произойти соударение с большой скоростью.

Целью данного исследования является разработка имитационной модели движения отцепа в сортировочном парке, учитывающей фактор реверсного движения.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) исследовать теоретический аспект движения отцепа в сортировочном парке;
- 2) исследовать фактор реверсного движения;
- 3) разработать алгоритм расчета скорости движения;
- 4) на основании данного алгоритма разработать программное средство.

Скорость движения отцепа согласно [4, 5, 8, 11, 12] можно найти с помощью уравнения

$$v_{\text{кон}} = \sqrt{v_{\text{нач}}^2 + 2g'l(i-W)}, \quad (1)$$

где $v_{\text{нач}}$ – начальная скорость отцепа, м/с; g' – ускорение силы тяжести с учетом инерции вращающихся частей отцепа, м/с²; l – длина участка, м; i – уклон участка, ‰; W – суммарное удельное сопротивление на участке, Н/кН.

Суммарное удельное сопротивление движению отцепа в свою очередь можно разделить на составляющие:

$$W = w_0 + w_{\text{св}} + w_{\text{си}}, \quad (2)$$

где w_0 – основное удельное сопротивление движению вагонов, Н/кН; $w_{\text{св}}$ – сопротивление от воздушной среды и ветра, Н/кН; $w_{\text{си}}$ – удельное сопротивление движению вагонов от снега и инея, Н/кН.

Результаты натуральных наблюдений указывают на то, что движение отцепов назад после остановки является немаловажным фактором в обеспечении безопасности [3, 7, 21].

Уравнение, которое описывает условие трогания отцепа, имеет вид

$$i_{\text{ук}} \geq W + w_{\text{тр}}, \quad (3)$$

где $w_{\text{тр}}$ – сопротивление троганию отцепа с места, Н/кН.

В выражении (3) производится сравнение суммы суммарного удельного сопротивления движению отцепа и сопротивления троганию с места с уклоном пути, на котором данный отцеп остановился. Если уклон превысит значение суммы, отцеп начнет движение назад в сторону горба горки.

Экспериментально было установлено, что основу сопротивления трогания с места составляет застывание смазки в роликовых подшипниках. При рассмотрении кратковременных остановок (меньше минуты) данным сопротивлением можно пренебречь. Для правильного определения точки остановки и скорости движения был разработан алгоритм, представленный на рисунке 1 [21].

Основными отличиями представленного алгоритма от разработанных ранее являются:

- определение условий, при которых отцеп после остановки в сортировочном парке может двигаться назад;
- имитационное моделирование движения отцепа при трогании его в сторону горба горки;
- расчет действительной точки остановки.

На основании данного алгоритма была разработана имитационная модель движения отцепа в сортировочном парке [22]. На рисунке 2 представлены графики зависимостей значимых параметров по результатам работы программы «СортПарк» для конкретного профиля пути сортировочного парка.

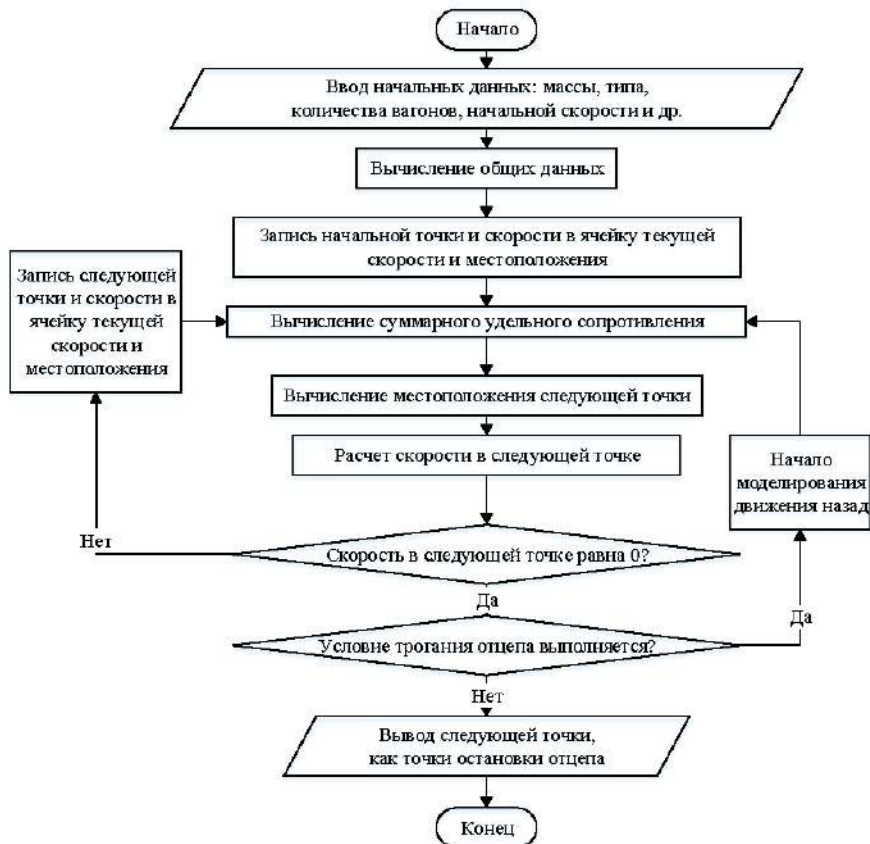


Рисунок 1 – Алгоритм поиска конечной точки остановки с учетом возможности трогания отцепы назад

При расчете скорости выпуска отцепы на путь важно определить точку остановки предыдущего отцепы. При неправильном определении этой точки скорость соударения отцепов будет выше допустимой. Критичным является такой результат при выпуске на путь двух отцепов через определенный промежуток времени. На рисунке 3 представлен график зависимости места положения поезда от времени. На рисунке 4 изображен график зависимости скорости отцепов от пройденного расстояния. Согласно имитационной модели второй отцеп был выпущен на путь через 150 секунд после первого. Точкой прицеливания была точка, отстоящая от горба горки на 850 метров. Скорость выхода второго отцепы была рассчитана из условия соединения вагонов в точке прицеливания с нулевой скоростью.

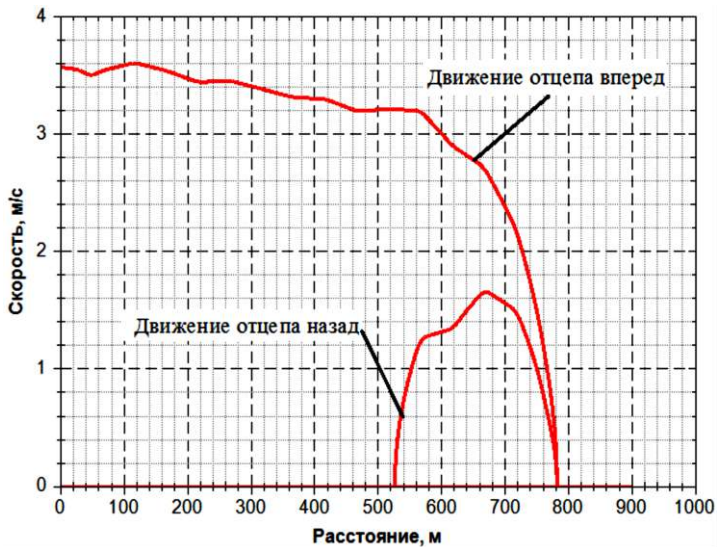


Рисунок 2 – График зависимости скорости движения отцепа в сортировочном парке от пройденного расстояния

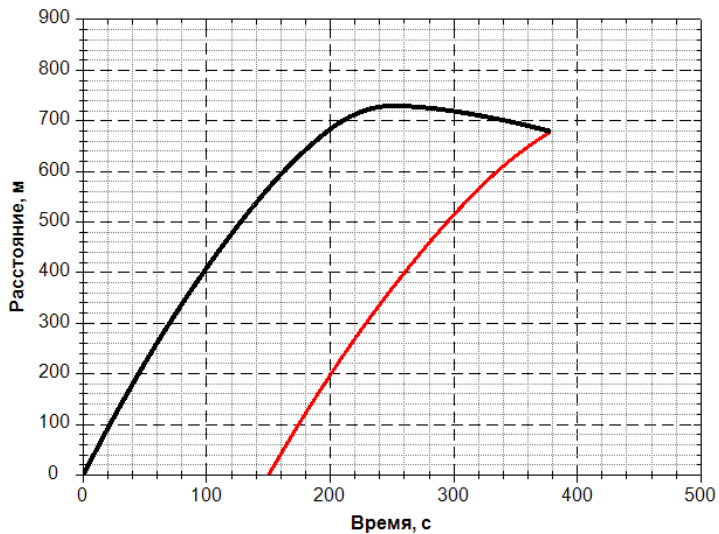


Рисунок 3 – График зависимости местоположения отцепа от времени

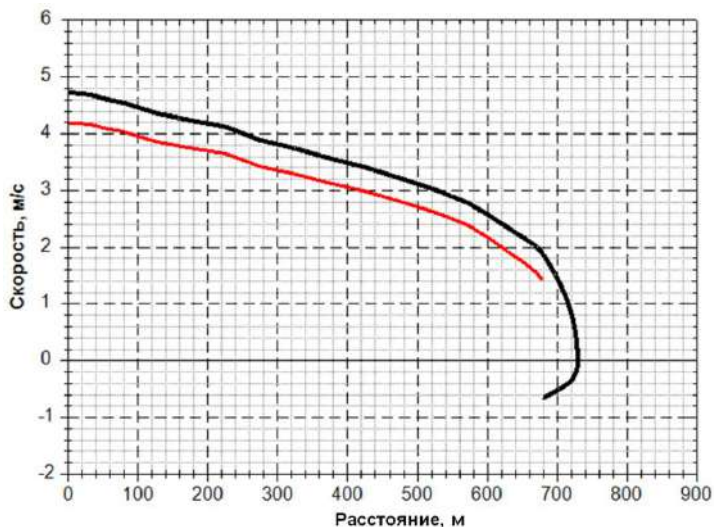


Рисунок 4 – График зависимости скорости отцепа от пройденного расстояния

По рисункам 3 и 4 можно сделать следующие выводы.

- 1 Первый отцеп после остановки в точке 730 м начал движение назад.
- 2 В точке 680 метров отцепы соударились со скоростью 2 м/с, определяемой как повышенная, так как максимально допустимая скорость соударения в сортировочном парке согласно ПТЭ должна быть не более 5 км/ч.
- 3 Если бы расчет точки остановки первого отцепа производился по предложенному алгоритму, то скорость соударения двух отцепов была бы минимальной с точкой прицеливания второго отцепа, совпадающей с точкой полной остановки первого отцепа в 560 метрах.

Для исследования отличия предложенного алгоритма от существующего было проведено имитационное моделирование движения 100 тысяч отцепов. Вначале анализировались отцепы, поступающие на путь сортировочного парка, имеющего постоянную специализацию. В ходе анализа выявлялись доли весовых категорий отцепов. После этого с помощью генератора случайных чисел выбиралась масса отцепа. Закон распределения вероятности появления массы задавался в табличном виде. На основании значений массы и исходя из формулы, приведенной в «Правилах и нормах проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм», выбиралось случайно значение основного удельного сопротивления движению. Точка прицеливания располагалась на расстоянии 850 метров от горба горки. Далее рассчитывалась скорость выпуска отцепа на путь при условии движения отцепа по нормативному профилю [2]. При моделировании дви-

жения отцепа использовалась шарнирно-осевая модель движения отцепа. Для этого определялся эквивалентный уклон по формуле, разработанной ДИИТом. По результатам вычислялось суммарное удельное сопротивление движению отцепа по формуле (2). После этого по формуле (1) рассчитывалась скорость выхода отцепа с тормозной позиции. Чтобы учесть точность работы замедлителя, скорость выхода также задавалась случайной величиной. Далее производился расчет движения вперед. Точка остановки отцепа заносилась в таблицу, которая в дальнейшем использовалась для построения рисунка 6. Производилась проверка условия (3) с моделированием движения отцепа назад в сторону горба горки. Точка остановки заносилась в таблицу, которая использовалась для построения рисунка 7.

На основании полученных значений w_0 была получена кривая плотности распределения вероятности основного удельного сопротивления, изображенная на рисунке 5. На рисунках 6 и 7 представлены кривые плотности вероятности остановки отцепа при вычислении точки остановки по существующим и предложенному алгоритмам.

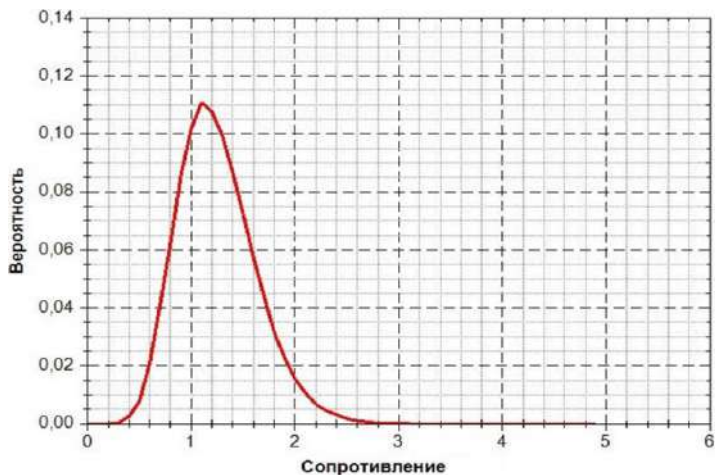


Рисунок 5 – Кривая плотности распределения вероятности основного удельного сопротивления движению отцепа

Анализируя рисунки 6 и 7, можно сделать следующие выводы:

- согласно расчетам по старому алгоритму с наибольшей вероятностью отцепы остановятся на координате 720 м. При этом все отцепы остановятся в интервале от 680 до 820 м;
- расчет по предложенному алгоритму указывает на то, что большинство отцепов остановятся в точке 560 м, при этом точкой остановки почти всех отцепов является интервал от 540 до 680 м.

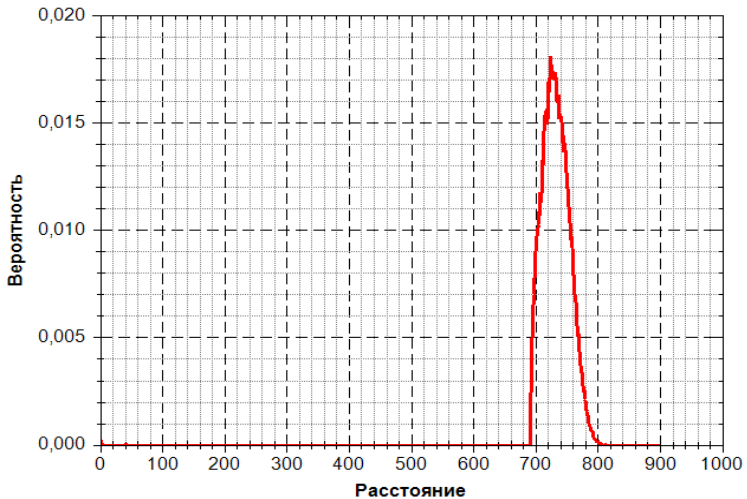


Рисунок 6 – Кривая плотности распределения вероятности остановки отцепа по существующим алгоритмам

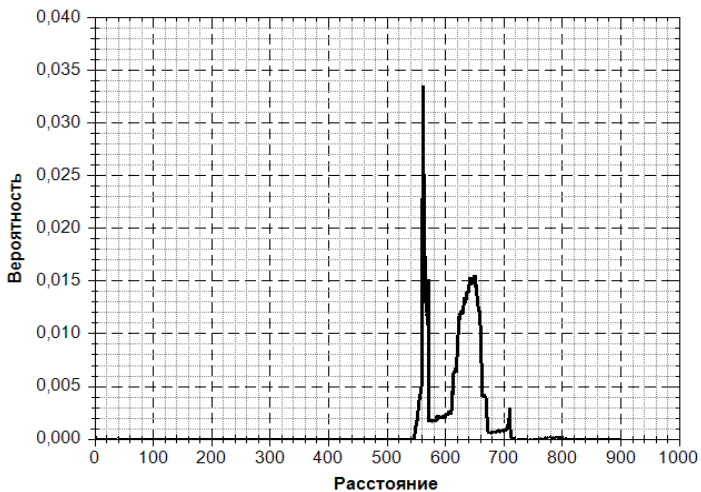


Рисунок 7 – Кривая плотности распределения вероятности остановки отцепа по предложенному алгоритму

Такое отличие в результатах обусловлено тем, что с 600 метров на данном пути начинается противоуклон, при остановке на котором отцепы начнут движение назад, в сторону горба горки. Если вести расчет точки остановки по старому алгоритму, не учитывающему условие (3), то это приводит к соударению с повышенной скоростью при выпуске группы отцепов

на свободный путь через определенные промежутки времени. Если в начале пути будет находиться противоуклон, то выпуск отцепа со скоростью, не достаточной для преодоления данного противоуклона, может привести к началу движения назад в сторону горба горки и даже с выкатыванием на спускную часть горки [23–25].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Стратегия развития холдинга «РЖД» на период до 2030 года (основные положения) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?STRUCTURE_ID=704&layer_id=5104&id=6396. – Дата доступа : 25.12.2017.

2 Кандыбина, С. А. Анализ факторов и причин, определяющих количество и структуру случаев нарушения безопасности движения в хозяйстве перевозок / С. А. Кандыбина, Т. Н. Каликина // Вестник транспорта Поволжья. – 2013. – № 5 (41). – С. 39–45.

3 Корниенко, К. И. Исследование опасности образования противоуклона в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Транспортная инфраструктура сибирского региона. – 2017. – С. 80–83.

4 Корниенко, К. И. Исследования влияния профиля горки на скорость движения отцепа в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Молодежь. Наука. Технологии (МНТК-2017) : сб. статей. – Новосибирск, 2017. – Ч. 1. – С. 44–47.

5 Исследование влияния профиля горки на скорость движения отцепов в сортировочном парке при попутном ветре / Е. А. Ахмаев [и др.] // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. – 2017. – № 1. – С. 13–18.

6 Корниенко, К. И. Исследование влияния профиля сортировочного парка на скорость движения отцепа / К. И. Корниенко // Инновационные технологии на транспорте. – Алматы, 2017. – С. 11–15.

7 Корниенко, К. И. Обеспечение безопасности движения отцепов при выпуске их на свободный путь / К. И. Корниенко // Проблемы безопасности на транспорте. – Гомель : 2017 – С. 36–37.

8 Муха, Ю. А. Имитационное моделирование процесса скатывания отцепа при выполнении горочных расчетов / Ю. А. Муха, А. А. Муратов // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : межвуз. сб. науч. тр. – Днепропетровск : ДИИТ, 1990. – С. 11–20.

9 Муха, Ю. А. Моделирование на ЭВМ процесса скатывания отцепов с сортировочной горки / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Вопросы механизации и автоматизации сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Вып. 90/6. – Днепропетровск, 1969. – С. 53–63.

10 Муха, Ю. А. Алгоритмы и библиотека программ для моделирования на ЭВМ «Наири-К» сортировочного процесса на горках / Ю. А. Муха, В. И. Бобровский // Механизация и автоматизация сортировочного процесса на станциях : тр. ДИИТа. – Вып. 194/11. – Днепропетровск : ДИИТ, 1977. – С. 53–102.

11 Пособие по применению правил и норм проектирования сортировочных устройств / Л. Б. Тишков [и др.]. – М. : Транспорт, 1994. – 220 с.

12 Карасёв, С. В. Программный комплекс имитации процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке / С. В. Карасёв, О. В. Красножён // Интеллектуальный потенциал Сибири : тез. докл. Новосиб. межвуз. науч. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2001. – С. 103–104.

13 Жуков, В. И. Имитация процесса заполнения пути накопления вагонов в сортировочном парке / В. И. Жуков, С. В. Карасёв, О. В. Куценко // Совершенствование эксплуатационной работы железных дорог : сб. науч. тр. – Новосибирск, 2002. – С. 119–129.

14 *Бобровский, В. И.* Математическая модель для оптимизации интервального регулирования скорости отцепов на горках / В. И. Бобровский, Д. Н. Козаченко // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – № 3(42). – Харків, 2003. – С. 3–8.

15 Оптимизация режимов торможения отцепов на сортировочных горках : [монография] / В. И. Бобровский [и др.]. – Днепропетровск : Маковецкий, 2010. – 260 с.

16 *Климов, А. А.* Моделирование процесса скатывания отцепов из нескольких вагонов с сортировочной горки при роспуске / А. А. Климов, А. А. Гунбин // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. – 2011. – № 2. – С. 88–91.

17 *Шабельников, А. Н.* Управление тормозными средствами сортировочных горок: повышение качества и эффективности / А. Н. Шабельников, И. А. Ольгейзер, С. А. Рогов // Вестник ростовского государственного университета путей сообщения. – 2015. – С. 74–79.

18 *Шабельников, А. Н.* Интеллектуализация транспортных процессов: проблемы и решения / А. Н. Шабельников, Н. Н. Лябах // Транспорт: наука, техника, управление. – 2012. – С. 3–6.

19 Siemens Transportation systems: The MSR 32 Microcomputer System. Great Efficiency and Safety for Freight Transport, 2008.

20 *Judge, T.* Yard management gets smarter / T. Judge // Railway Age. – November 2007. – P. 33–34.

21 *Корниенко, К. И.* Алгоритм расчета точки останова отцепа в сортировочном парке / К. И. Корниенко // Транспорт: наука, техника, управление. – 2017. – № 11. – С. 36–40.

22 *Корниенко, К. И.* Программа для имитационного моделирования скорости движения отцепа в сортировочном парке «СортПарк» / К. И. Корниенко // Хроники объединенного фонда электронных ресурсов «Наука и образование». – 2017. – № 6 (97). – С. 30.

23 *Kornienko, K.* Effect of the sorting track profile change on the it's occupancy quality at train humping / K. Kornienko, S. Bessonenko // MATEC Web of Conferences. – Vol. 216 [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access : <https://doi.org/10.1051/mateconf/201821602012>. – Date of access : 02.08.18.

24 *Kornienko, K.* Influence of opposite elevation on the occupancy level of the tracks of sorting park / K. Kornienko, S. Bessonenko, L. Tanaino // MATEC Web of Conferences, Vol. 239 [Electronic resource]. – 2018. – Mode of access <https://doi.org/10.1051/mateconf/20182390300>. – Date of access : 02.08.18.

25 *Корниенко, К. И.* Совершенствование методики имитационного моделирования заполнения пути сортировочного парка / К. И. Корниенко // Транспорт Урала. – 2018. – № 2 (57). – С. 35–42.

K. I. KORNIENKO, S. A. BESSONENKO

IMITATION MODEL OF THE MOTION OF THE RELEASED SET OF CARS IN THE MARSHALLING YARD, WHICH TAKES INTO ACCOUNT BACKWARD MOTION OF THE RELEASED SET OF CARS AFTER ITS STOP

The problems of motion of the released set of cars after stopping in the marshaling yard are considered. A new algorithm for calculating the velocity of the released set of cars is proposed, taking into account backward motion of the released set of cars. Based on this algorithm, a simulation model was developed. Using the existing algorithms and the proposed one, the author considered the differences in determining the point where the released set of cars will stop.

Получено 02.10.2018.

УДК 656.21

А. С. ЛЕБЕДЕВ

Российский университет транспорта (МИИТ)

lebedev.artem.pl@gmail.com

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОНЯТИЯ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ЭТАПНОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ НЕСКОЛЬКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

Обосновывается целесообразность введения понятия экономического потенциала, позволяющего учитывать системные требования к объекту с точки зрения оценки качества предоставляемых услуг. Рассматривается возможность использования действующего, технического, производственного, изолированного и максимального экономических потенциалов.

При необходимости реконструкции сложных транспортных объектов (крупные станции, железнодорожные узлы) требуются значительные капитальные вложения. Поэтому целесообразно определить очередность реконструкции объектов инфраструктуры с учетом ограниченных ресурсов предприятия. Для того, чтобы в полной мере отразить возможности объекта инфраструктуры в части получения прибыли от его деятельности, целесообразно ввести понятие экономического потенциала. В общем случае экономический потенциал рассматривается как совокупная способность предприятий и хозяйств осуществлять производственно-экономическую деятельность, выпускать продукцию, товары, услуги, удовлетворять запросы населения, общественные потребности, обеспечивать развитие производства и потребления. Такой показатель позволяет учесть как максимальные требования к объекту, так и уровень его целесообразного развития на заданный момент, либо период времени. Максимально возможная прибыль объекта на расчетный срок либо на расчетную дату определяет максимальный экономический потенциал. Для расчета максимального экономического потенциала объекта можно использовать следующую формулу:

$$P_{\max}^n = \sum_i^n P_{i\max}^e, \quad (1)$$

где $P_{i\max}^n$ – максимальный экономический потенциал объекта, влияющего на прибыль рассматриваемого; n – количество объектов, влияющих на прибыль рассматриваемого.

Расчетный экономический потенциал рассчитывается в зависимости от назначения объекта. Для базового объекта, получающего прибыль на пря-

мую (например, станция назначения вагона, на которой находится подъездной путь, либо на которой производится выгрузка на местах общего пользования), расчетным экономическим потенциалом называется ожидаемая прибыль объекта на расчетный срок либо на расчетную дату.

$$P_{\text{рас}(e)} = \frac{\sum_i^t \Pi_i}{t}, \quad (2)$$

где $P_{\text{рас}(e)}$ – расчетный экономический потенциал объекта; Π_i – прибыль за i -й период времени; t – количество временных периодов.

Для крупных объектов экономический потенциал измеряется как сумма экономических потенциалов объектов, влияющих на его прибыль:

$$P_{\text{рас}(e)} = \sum_i^t P_{(i)\text{рас}(e)}, \quad (3)$$

где $P_{(i)\text{рас}(e)}$ – расчетный экономический потенциал объекта, влияющего на прибыль.

При этом, если такой крупный объект получает прибыль напрямую (например, от подъездного пути), то подъездной путь выделяется в отдельный объект и для него рассчитывается прибыль по формуле (2), которая далее становится одним из слагаемых в формуле (3). Таким образом, экономический потенциал является мерой, показывающей способность предприятий обеспечивать свою прибыль.

Для случаев, когда и предприятия, и транспортная компания принадлежат государству, либо одному владельцу, в качестве базовых объектов допускается брать сами предприятия и рассчитывать их прибыль, а станцию, к которой они примыкают – рассматривать уже в качестве крупного объекта.

Формула (3) показывает, что экономический потенциал сортировочной станции ограничен экономическим потенциалом обслуживаемых ею станций и одновременно – расчетный экономический потенциал станций участка ограничен экономическим потенциалом сортировочной станции, формирующей на участок вагонопотоки.

Пример. Имеется изолированный полигон, включающий в себя сортировочную станцию и обслуживаемые ей 3 грузовые станции. Пусть каждая грузовая станция имеет экономический потенциал 10 у. е., а сортировочная станция – экономический потенциал 30 у. е. (определяет прибыль от перевозки одного вагона).

Случай 1. В результате увеличения количества клиентов экономический потенциал одной из грузовых станций увеличился на 3 у. е. Согласно формуле (3) экономический потенциал сортировочной станции увеличился также на 3 у. е. и составил 33 у. е.

Случай 2. В результате реконструкции сортировочной станции затраты на переработку вагонопотоков снизились, и, как следствие возрос экономи-

ческий потенциал сортировочной станции на 3 у. е. Согласно формуле (3) экономический потенциал каждой грузовой станции увеличился на 1 у. е.

Расчетный экономический потенциал следует разделять на *действующий*, характеризующий прибыль на настоящий момент, *технический*, характеризующий возможности объекта инфраструктуры получения прибыли исходя из провозной и перерабатывающей способностей, и *производственный*, характеризующий потребности обслуживаемых станцией предприятий в данный момент времени. Указанные виды расчетных экономических потенциалов отличаются от максимального оценкой уровня потребности на настоящий момент времени. Так, если производственный экономический потенциал станции равен 500 у. е., то предприятия данной станции будут готовы сделать заказ на доставку в их адрес 500 вагонов. Максимальным экономическим потенциалом учитываются также предприятия, которые не связаны в данное время с железной дорогой, но оказали или окажут влияние на формирование прибыли по оцениваемому объекту. В связи с этим может выделяться также *изолированный* экономический потенциал, определяемый как расчетный экономический потенциал, который характеризует возможную прибыль объекта, независимо от характеристики остальных. При этом таким объектом может быть как одна станция, так и их группа.

Различие между изолированным, расчетным и максимальным экономическими потенциалами способно показать целесообразность реконструкции как отдельных объектов, так и их группы. Так, случай, когда расчетный экономический потенциал сортировочной станции составляет 2500 у. е., а изолированный экономический потенциал обслуживаемых станций равен 3000 у. е. указывает на то, что данные станции могут принимать еще некоторое количество вагонов. Следовательно, имеет смысл реконструировать станцию, повысив ее экономический потенциал до 3000 у. е.

Используя понятие экономического потенциала, можно разбить любой объект на подобъекты и определить прибыль от деятельности структурных единиц предприятия. Пусть в качестве объекта рассматривается некоторый полигон железной дороги, который делится на объекты – станции. Такие объекты, относящиеся непосредственно к предприятию, являются узловыми. Также имеются объекты начала и окончания перевозки, от которой предприятие получает определенную прибыль. Такие объекты называются входными или выходными. Необходимо отметить, что входной объект может являться одновременно и выходным. Входными и выходными объектами могут являться грузовые дворы, подъездные пути, контейнерные площадки, отдельные клиенты, использующие для своих нужд пути общего и необщего пользования и т. д.

Передвижение финансовых потоков идет от входного объекта к выходному. При этом данные потоки могут как проходить через узловые объекты,

так и идти напрямую от входного объекта к выходному. Выходным объектом является предприятие, инициирующее передвижение финансов. Например, в случае перевозки щебня выходным объектом является предприятие, которому данный щебень поставляется для его нужд. Выходной объект таким образом будет привязан к станции выгрузки – узловому объекту. Выходной объект также может быть привязан к станции отправления вагонов, например, когда то же предприятие отправляет порожние вагоны для последующей их погрузки в свой адрес.

Таким образом, экономический потенциал предприятия – это способность предприятия обеспечить передвижение финансовых потоков, влияющих на его прибыль. При этом можно ввести понятие *направляющего* экономического потенциала, определяющего передвижение финансовых потоков в целом.

Поскольку основной задачей деятельности предприятия является получение прибыли, реконструкция либо изменение его элементов должна способствовать получению как можно большей прибыли с учетом ограниченности ресурсов. Для определения этапности реконструкции нескольких объектов одного предприятия они объединяются в более крупный таким образом, чтобы было видно влияние каждого из рассматриваемых объектов на прибыль крупного, а также их взаимодействие со смежными объектами. Например, реконструкция парков сортировочной станции рассматривается с точки зрения экономического потенциала всей станции, которая будет являться крупным объектом. В данный объект кроме парков будут включены такие подобъекты, как сортировочная горка, локомотивное хозяйство и др. Входными и выходными объектами будут являться главные пути, подъездные пути предприятий и иные подобные объекты.

Основой для принятия решения о порядке реконструкции отдельных объектов может являться разница между расчетным, изолированным и максимальным экономическими потенциалами.

Пример. Имеется 4 направления: A, B, C, D , которые примыкают к узловой станции RS . Входными являются узлы a, b , выходными – c, d . Потоки следуют от входного узла a к выходному узлу c и от входного узла b к выходному узлу d . На начальный момент времени расчетные экономические потенциалы составляют: $P_c = 10$ у. е., $P_d = 20$ у. е., $P_{RS} = 30$ у. е.; изолированные экономические потенциалы: $P_{cn} = 15$ у. е., $P_{dn} = 30$ у. е., $P_{RSn} = 30$ у. е. Исходя из этого делается вывод, что предприятие недополучает прибыль по причине низкого экономического потенциала узловой станции RS . Расчетные и изолированные экономические потенциалы выходных узлов одинаковы, следовательно, данные выходные узлы в развитии не нуждаются.

Учитывая то, что расчетный экономический потенциал станции не может быть выше расчетного экономического потенциала предприятий, в качестве опорного значения берутся входные узлы полигона. Для них опреде-

ляется расчетный (с учетом возможностей железной дороги перевозки грузов), изолированный (зависящий от потребного объема перевозок на сегодня) и максимальный (по максимальной потребности в перевозках) экономические потенциалы. Для полигона входными узлами могут быть не только предприятия, но и железнодорожные линии, с которых поступает грузопоток.

Экономический потенциал полигона представляет собой сумму экономических потенциалов его входящих узлов:

$$P_J = \sum_{i=1}^n P_i^m, \quad (4)$$

где P_J – экономический потенциал полигона; i – количество входящих узлов; P_i^m – экономический потенциал входящего узла.

Основными задачами реконструкции, исходя из целей любых экономических предприятий, могут являться либо получение дополнительной прибыли, либо получение рентабельности. При планировании капиталовложений следует акцентировать внимание в первую очередь на рентабельности, поскольку за счет нескольких таких вложений при одинаковом значении инвестиционного фонда прибыль повышается.

Однако иногда целесообразно максимизировать прибыль, например в том случае, когда для заключения договора требуется значительно увеличить пропускную способность полигона большой протяженности посредством строительства дополнительного главного пути. Исходя из условия максимальной прибыли такая ситуация может возникнуть в случае, когда прибыль от менее рентабельного вложения превышает прибыль от комплекса более рентабельных вложений:

$$П_k > \sum_{i=1}^n П_R, \quad (5)$$

где $П_k$ – прибыль от менее рентабельного вложения; $П_R$ – прибыль от комплекса вложений более высокой рентабельности.

Предельной задачей реконструкции является достижение значения экономического потенциала полигона, равного значению суммы изолированных экономических потенциалов его входящих узлов:

$$\lim_{P \rightarrow \sum_{i=1}^n P_i^m} P_J; R \rightarrow \max f(P_J). \quad (6)$$

Таким образом, после определения изолированных экономических потенциалов входящих узлов необходимо определить изолированные экономические потенциалы остальных точек полигона (станции и линии). В результате этих расчетов определится недостаток или избыток экономического потенциала на определенных узлах. В связи с этим представляется целесообразным выделить два типа реконструкционных мероприятий по повышению экономического потенциала узлов полигона:

- за счет увеличения провозной способности;
- оптимизации перевозочного процесса.

Данные меры выстраиваются в порядке убывания их рентабельности. По достижении необходимой провозной способности реализация таких мер по ее увеличению прекращается. При этом нужно отметить, что согласно формуле (3) при повышении экономического потенциала отдельных узлов полигона за счет оптимизации перевозочного процесса повысится экономический потенциал входных узлов полигона, влияющий на его прибыль.

Таким образом, выполняется условие достижения предприятием максимальной прибыли. За счет этого высвобождаются средства для последующих инвестиций и развития транспортной компании.

A. S. LEBEDEV

APPLICATION OF THE CONCEPT OF ECONOMIC POTENTIAL IN DETERMINING THE SEQUENCE ORDER IN THE RECONSTRUCTION OF MULTIPLE RAILWAY FACILITIES

The expediency concept of economic potential allowing to take into account of the system requirement to object from the point of view an estimation quality of given services is proved. The opportunity of use working, technical, industrial, isolated and maximal economic potentials.

Получено 08.11.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.224(-214)

Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, А. А. СИДРАКОВ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ

Российский университет транспорта (МИИТ)

pazoyskiy@mail.ru, smy87@yandex.ru

ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА ЧИСЛА ПУТЕЙ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СТАНЦИЙ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ (НА ПРИМЕРЕ СТАНЦИИ ВЛАДИМИР ВСМ)

Анализируются особенности расчета числа путей на промежуточных станциях высокоскоростных магистралей. Пример станции Владимир ВСМ указывает на целый ряд специфических проблем, требующих решения с учетом безопасности движения поездов.

Станция Владимир ВСМ запроектирована как опорная станция высокоскоростной магистрали. На станции предусматривается оборот конечных региональных и пригородных поездов Москва – Владимир и Нижний Новгород – Владимир в количестве соответственно 6 и 4 пары. На станции предусмотрено 4 пути для обслуживания конечных поездов (3, 5, 12, 14).

Число путей для приема и отправления конечных поездов на пассажирских станциях можно определить как:

$$m_{\text{пр}} = \frac{t_{\text{зан}}^{\text{пр}}}{t_{\text{п}}^{\text{пр}}}; m_{\text{от}} = \frac{t_{\text{зан}}^{\text{от}}}{t_{\text{п}}^{\text{от}}},$$

где $t_{\text{зан}}^{\text{пр}}, t_{\text{зан}}^{\text{от}}$ – соответственно время занятия пути прибывающим и отправляющимся конечным поездом, мин; $t_{\text{п}}^{\text{пр}}, t_{\text{п}}^{\text{от}}$ – соответственно расчетные интервалы сгущенного прибытия и отправления конечных поездов, мин.

Интервалы между поездами определяются по следующим формулам:

$$I_{\text{п}}^{\text{пр}} = \frac{1440}{1,78N_{\text{пр}} + 51,2}; I_{\text{п}}^{\text{от}} = \frac{1440}{1,64N_{\text{от}} + 42,6},$$

где $I_{\text{п}}^{\text{пр}}, I_{\text{п}}^{\text{от}}$ – соответственно число прибывающих и отправляющихся поездов в пиковый период, мин.

Количество поездов, прибывающих в пиковый период, как правило, не превышает 30 % от суточного объема, таким образом, можно принять число прибывающих и отправляющихся в пиковый период конечных поездов равным 3, что подтверждается проектным графиком движения поездов на ВСМ. Результаты расчета приведены в таблице 1.

Среднее время простоя конечных поездов на станции в соответствии с проектным графиком движения поездов на ВСМ составляет 34 минуты, из которых 15 минут – это занятие пути прибывающим поездам, 19 – отправляющимся.

Т а б л и ц а 1 – Результаты расчета числа путей в пиковый период

Время занятия пути по прибытию/отправлению, мин	Потребное число путей	
	для приема	для отправления
10	0,4	0,3
20	0,8	0,7
30	1,2	1,0
40	1,6	1,3
50	2,0	1,7
60	2,4	2,0

При наличии взаимозаменяемых путей для приема и отправления конечных поездов принимают максимальное значение из расчетных значений числа путей для приема и отправления, увеличенное на единицу. Таким об-

разом, для проектного графика движения расчетное число путей не превышает двух. Также необходимо сооружение дополнительного зонного тупика для длительного отстоя конечных составов. Зонный тупик следует располагать со стороны, противоположной направлению прибытия максимального количества конечных поездов.

Для уменьшения ширины основной площадки, снижения количества стрелочных переводов, укладываемых на дополнительных путях, обеспечивающих параллельность операций, целесообразно разместить пассажирскую платформу, два приемоотправочных пути и зонный тупик между I и II главными путями с параллельным смещением одного из главных путей с использованием радиусов кривых 10000 м. Данное размещение позволит ликвидировать враждебности маршрутов при приеме и отправлении конечных поездов, уменьшит ширину основной площадки и не повлияет на максимальную скорость движения по главным путям.

Принципиальная схема размещения путей и направления движения по путям приведены на рисунке 1.

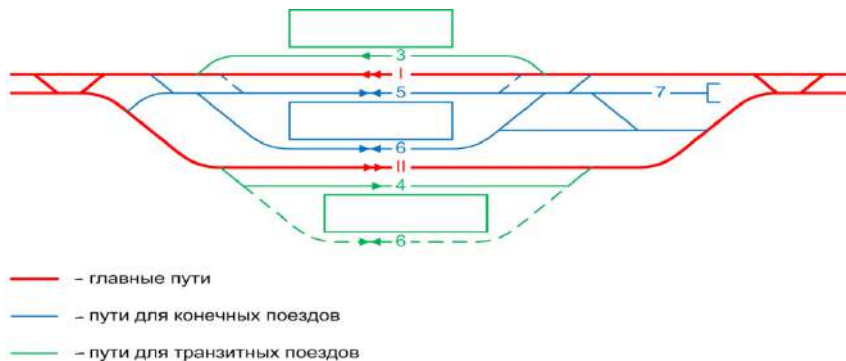


Рисунок 1 – Схема станции и специализация железнодорожных путей по направлению движения поездов

Данная схема позволит уменьшить число пассажирских платформ до трех (шириной по 9 м каждая), сократить количество стрелочных переводов на 4, уменьшить ширину станционной площадки на 6–13 м, сохранив при этом ее проектную длину. Пути для стоянки пожарного и восстановительного поездов, размещенные между II главным и 12-м приемоотправочным путями, значительно увеличивают требуемую ширину станционной площадки. Кроме того, междупутье шириной 8 м не обеспечивает размещения необходимых для пожарного и восстановительного поездов зданий и сооружений, включающих учебно-административные, учебно-тренировочные, производственные, мастерские, санитарно-бытовые, складские и пр. Наиболее целесообразным вариантом размещения путей для стоянки пожарного и

восстановительного поездов является размещение их между главными путями и БТО, последовательно к основному приемоотправочному парку с частичным совмещением административно-технологических зданий и сооружений.

Безномерной путь, размещенный между I главным и 3-м приемоотправочным, предположительно предназначен для приема специальных почтово-багажных поездов. В связи с отсутствием сведений о специальных почтово-багажных поездах, обращающихся на ВСМ, не представляется возможность дать заключение об обоснованности длины данного пути для их обслуживания. При значительных размерах движения специальных почтово-багажных поездов следует предусмотреть в четной и нечетной горловинах станции группы съездов, обеспечивающих параллельность операций по приему нечетных пассажирских поездов на 3-й путь и отправлению четных почтово-багажных поездов, а также по приему четных почтово-багажных и отправлению с 3-го пути пассажирских поездов.

Не ясно назначение предохранительных тупиков № 19, 23. Данные тупики могут быть ликвидированы без снижения уровня безопасности. В случае необходимости наличия предохранительных устройств для путей тяговой подстанции и БТО предохранительный тупик допускается заменить сбрасывающими стрелками, остряками или башмаками.

Необходимо обоснование величин проектных междупутий по 8 м между I и путем без номера, II и 4, 8 и 12-м. Полезную длину приемоотправочных путей № 3, 12 возможно сократить до 650 м (или, по аналогии со станцией Ногинск ВСМ, до 770 м) за счет размещения части пассажирских платформ в кривых. Полезная длина путей 14, 16, 5, 7 не соответствует минимальной длине приемоотправочных путей 650 м, установленной в СТУ ВСМ.

Оценка проектного решения БТО не выполнялась в связи с отсутствием сведений о технологии производства работ по техническому обслуживанию ВСМ, типах техники, схемах формирования рабочих поездов и пр. Существующие проекты стрелочных переводов с маркой крестовины 1/22 отвечают основным требованиям, предъявляемым к стрелочным переводам, используемым на отдельных пунктах ВСМ.

При проведении тяговых и тормозных расчетов перспективного высокоскоростного подвижного состава установлено, что максимально возможная по условиям торможения скорость поезда при приеме с остановкой на боковой путь в момент проследования первого стрелочного перевода не превышает 135 км/ч. Стрелочные переводы с маркой крестовины 1/22 обеспечивают скорость отклонения на боковой путь до 120 км/ч. При этой разнице скоростей экономия времени на один поезд не превысит 0,2 минуты.

При значительном различии в стоимости приобретения и эксплуатации стрелочных переводов с маркой крестовины 1/25 по отношению к стрелочным переводам 1/22 необходимо соответствующее технико-экономическое обоснование эффективности их применения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Пазойский, Ю. О.* Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (Примеры, задачи, модели, методы и решения) / Ю. О. Пазойский, В. Г. Шубко, С. П. Вакуленко. – М. : ГОУ УМЦ, 2009. – 342 с.

2 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / под ред. Н. В. Правдина, С. П. Вакуленко. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. – 1085 с.

3 Железнодорожные станции и узлы : учеб. для вузов / В. Г. Шубко [и др.]; под ред. В. Г. Шубко, Н. В. Правдина. – М. : УМК МПС России, 2002. – 368 с.

4 Железнодорожные станции и узлы : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. И. Ефименко [и др.] ; под ред. Ю. И. Ефименко. – М. : Академия, 2006. – 336 с.

J. O. PAZOJSKIJ, A. A. SIDRAKOV, M. J. SAVELIEV

PRINCIPLES OF TRACK NUMBER CALCULATION AT INTERMEDIATE STATIONS OF HIGH-SPEED RAILWAYS (AT THE EXAMPLE OF VLADIMIR HIGH-SPEED RAILWAY STATION)

The specific features in calculating the number of tracks at intermediate stations of high-speed railways are analyzed. The example of the Vladimir high-speed railway station reveals a number of specific problems that need to be solved taking into account the safety of train traffic.

Получено 18.12.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.224:656.21.001.2

Ю. О. ПАЗОЙСКИЙ, М. Ю. САВЕЛЬЕВ, А. А. СИДРАКОВ

Российский университет транспорта (МИИТ)

пазоyskiy@mail.ru,

smy87@yandex.ru

СПЕЦИФИКА ПРИМЕНЕНИЯ ЗОННОГО ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ГРАФИКА ДВИЖЕНИЯ ПРИГОРОДНЫХ ПОЕЗДОВ

Предлагается новая методика расчета зонных размеров движения пригородных поездов в условиях применения зонного графика движения. Результаты проведенного исследования свидетельствуют о том, что требование равномерного доступа пригородных пассажиров к транспортной услуге приводит к необходимости увеличения потребного числа поездов дальних зон и их сокращению для первой зоны.

Неравномерность распределения пригородного пассажиропотока по длине пригородного участка, примыкающего к крупному городу, вызывает необходимость организации зонного движения пригородных поездов. Для этого участок делится на технические зоны зонными техническими станциями, являющимися станциями оборота составов пригородных поездов. Зонное движение пригородных поездов призвано существенно сократить пробег свободных мест в поездах, так как по мере удаления от головной станции пригородного участка пассажиропоток резко падает.

Наиболее предпочтительным и удобным для пассажиров является зонный параллельный график движения пригородных поездов, при котором поезда следуют со всеми остановками (рисунок 1).

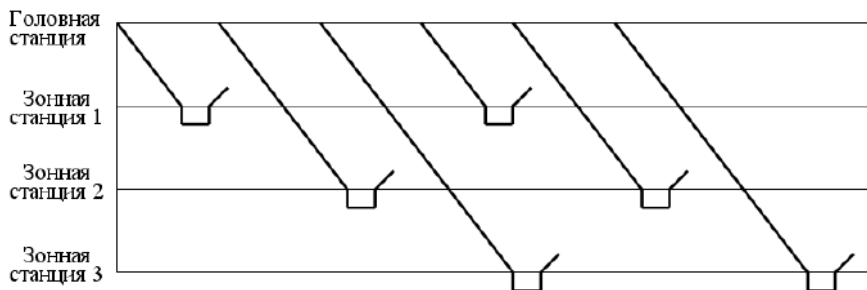


Рисунок 1 – Прокладка ниток зонного параллельного графика движения

При таком типе графика движения пассажиры, следующие на остановочный пункт некоторой зоны, могут воспользоваться поездами как своей зоны, так и более дальних технических зон.

Натурные обследования населенности пригородных поездов, обращающихся в Московском железнодорожном узле, показали, что пригородный пассажиропоток имеет постоянную интенсивность в пределах как «пикового», так и «непикового» периодов. Более того, можно предположить, что при зонном параллельном графике пассажиропоток равномерно распределяется по поездам как данной, так и более дальних зон внутри каждого из этих периодов. Это обстоятельство позволяет сделать вывод о том, что существующие методики расчета размеров движения пригородных поездов [1–3] не учитывают специфики зонного параллельного графика движения, что не позволяет получить достоверных результатов, так как моделирование распределения пригородного потока по поездам для этих методик приводит к необходимости освоения пассажиропотока каждой зоны только поездами этой зоны. В реальных условиях такой подход к определению размеров движения пригородных поездов приводит к тому, что пассажиры ближних зон занимают места в поездах, следующих на дальние зоны, ухудшая при

этом условия проезда для пассажиров дальних зон, а поезда ближних зон следуют зачастую полупустыми.

В связи с этим возникает необходимость в создании новой методики расчета зонных размеров движения пригородных поездов в условиях применения зонного параллельного графика их движения.

Пусть $\rho(l)$ – плотность распределения пассажиропотока на участке, Γ_i – густота пассажиропотока на i -й технической зоне (рисунок 2) за рассматриваемый период (например, за сутки).

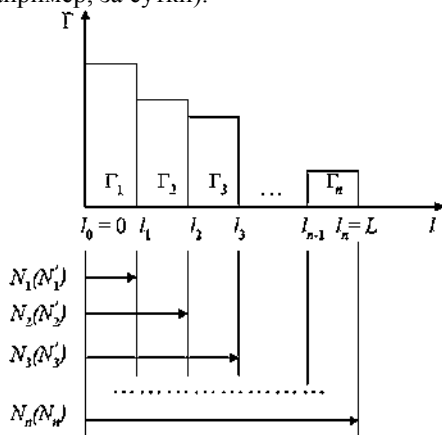


Рисунок 2 – Густота пассажиропотока и зонные размеры движения

Тогда

$$\Gamma_1 = \int_0^L \rho(l) dl, \Gamma_2 = \int_{e_1}^L \rho(l) dl, \dots, \Gamma_i = \int_{l_{i-1}}^L \rho(l) dl, \dots, \Gamma_n = \int_{l_{n-1}}^L \rho(l) dl. \quad (1)$$

В этом случае число пригородных пассажиров назначением на остановочные пункты i -й технической зоны

$$\Gamma_i - \Gamma_{i-1} = \int_{l_{i-1}}^{l_i} \rho(l) dl, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

При условии равномерного распределения пассажиропотока, следующего с головной станции пригородного участка по поездам, и предположении о незначительности межзонных корреспонденций пассажиропотока введем ограничения по числу мест в поездах каждой технической зоны.

Так как число мест, занимаемых пассажирами первой технической зоны, не должно превышать вместимости поезда, то для поезда первой технической зоны это ограничение имеет вид

$$\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\sum_1^n N'_i} \leq a, \quad (3)$$

где a – вместимость поезда.

Аналогично число занимаемых мест в поезде второй зоны, которое складывается из числа пассажиров, следующих на первую и вторую зоны, не должно превышать вместимости поезда.

$$\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\sum_{i=1}^n N'_i} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{\sum_{i=2}^n N'_i} \leq a. \quad (4)$$

Для поезда n -1-й зоны имеем:

$$\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\sum_{i=1}^n N'_i} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{\sum_{i=2}^n N'_i} + \dots + \frac{\Gamma_{n-1} - \Gamma_n}{\sum_{i=n-1}^n N'_i} \leq a. \quad (5)$$

Для поезда n -й зоны ограничение имеет вид

$$\frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{\sum_{i=1}^n N'_i} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{\sum_{i=2}^n N'_i} + \dots + \frac{\Gamma_{n-1} - \Gamma_n}{\sum_{i=n-1}^n N'_i} + \frac{\Gamma_n}{N'_i} \leq a. \quad (6)$$

Для определения размеров движения $N'_1 \dots N'_n$ при ограничениях (3)–(6) и условиях неотрицательности и целочисленности переменных

$$N'_i \geq 0, \quad \forall i \quad (7)$$

требуется минимизировать пробег свободных мест в поездах так, чтобы

$$Z = (aN'_1 - (\Gamma_1 - \Gamma_2))l_1 + (aN'_2 - (\Gamma_2 - \Gamma_3))l_2 + \dots \\ \dots + (aN'_{n-1} - (\Gamma_{n-1} - \Gamma_n))L \rightarrow \min. \quad (8)$$

Задача по условиям (3)–(8) является целочисленной задачей с нелинейными ограничениями. Решение такой задачи в реальных условиях работы пригородного участка с большим числом технических зон вызывает значительные трудности. Поэтому предлагаются формулы для приближенного решения задачи. Потребное число поездов одного направления за рассматриваемый период при обеспечении наименьшего пробега свободных мест в поездах в соответствии с существующими методиками [1–3]

$$N_i = \frac{1}{a} \int_{l_{i-1}}^{l_i} \rho(l) dl, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Получим приближенное к оптимальному решению при условии, что пассажиропоток соответствующей зоны равномерно распределяется по поездам, проходящим по ней, зонные размеры движения пригородных поездов принимаются равными:

$$\begin{aligned}
N'_1 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} = \frac{1}{a} \int_0^{l_1} \rho(l) dl \frac{N_1}{N_1 + N_2 + \dots + N_n}; \\
N'_2 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_2}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \frac{N_2}{N_2 + \dots + N_n} = \\
&= \frac{1}{a} \int_0^{l_1} \rho(l) dl \frac{N_2}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} + \frac{1}{a} \int_{l_1}^{l_2} \rho(l) dl \frac{N_2}{N_2 + \dots + N_n}; \\
N'_3 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_3}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \frac{N_3}{N_2 + \dots + N_n} + \\
&+ \frac{\Gamma_3 - \Gamma_4}{a} \frac{N_3}{N_3 + \dots + N_n} = \frac{1}{a} \int_0^{l_1} \rho(l) dl \cdot \frac{N_3}{N_1 + N_2 + \dots + N_n} + \\
&+ \frac{1}{a} \int_{l_1}^{l_2} \rho(l) dl \frac{N_3}{N_2 + \dots + N_n} + \frac{1}{a} \int_{l_2}^{l_3} \rho(l) dl \frac{N_3}{N_3 + \dots + N_n}; \\
&\dots\dots \\
N'_n &= \frac{1}{a} \int_0^{l_1} \rho(l) dl \frac{N_n}{\sum_{k=1}^n N_k} + \frac{1}{a} \int_{l_1}^{l_2} \rho(l) dl \frac{N_n}{\sum_{k=2}^n N_k} + \dots + \frac{1}{a} \int_{l_{n-1}}^{l_n=L} \rho(l) dl \frac{N_n}{N_n}. \quad (10)
\end{aligned}$$

Рассмотрим пример определения зонных размеров движения для пригородного участка с тремя техническими зонами при условии, что $a = 1$ (рисунок 3).

Тогда

$$N_1 = \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} = 10; \quad N_2 = \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} = 8; \quad N_3 = \frac{\Gamma_3}{a} = 2.$$

При этом в случае равномерного доступа пассажиров к поездам, следующим по зоне,

$$\begin{aligned}
N'_1 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_1}{N_1 + N_2 + N_3} = 10 \cdot \frac{10}{10 + 8 + 2} = 10 \cdot \frac{1}{2} = 5 \text{ поездов}; \\
N'_2 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_2}{N_1 + N_2 + N_3} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \frac{N_2}{N_2 + N_3} = \\
&= 10 \cdot \frac{8}{10 + 8 + 2} + 8 \cdot \frac{8}{8 + 2} = 10,4 \text{ поезда}; \\
N'_3 &= \frac{\Gamma_1 - \Gamma_2}{a} \frac{N_3}{N_1 + N_2 + N_3} + \frac{\Gamma_2 - \Gamma_3}{a} \frac{N_3}{N_2 + N_3} + \frac{\Gamma_3}{a} \frac{N_3}{N_3} = \\
&= 10 \cdot \frac{2}{10 + 8 + 2} + 8 \cdot \frac{2}{8 + 2} + 2 \cdot \frac{2}{2} = 4,6 \text{ поезда};
\end{aligned}$$

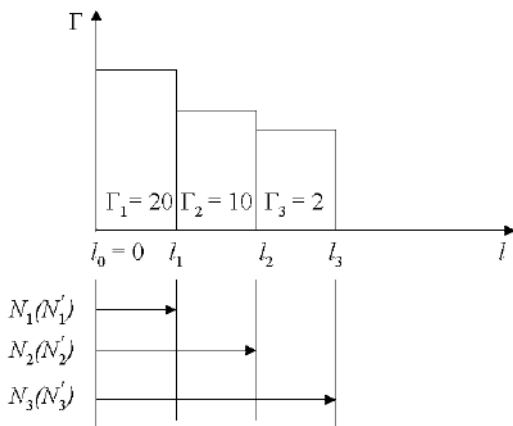


Рисунок 3 – Исходные данные примера

Тогда

$$N'_1 + N'_2 + N'_3 = 5 + 10,4 + 4,6 = 20;$$

$$N'_2 + N'_3 = 10,4 + 4,6 = 15; N'_3 = 4,6 \approx 5.$$

Таким образом, требование равномерного доступа пассажиров к проходящим поездам приводит к существенному увеличению потребного числа поездов дальних зон и снижению потребного числа поездов первой технической зоны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пазойский, Ю. О. Пассажирские перевозки на железнодорожном транспорте (примеры, задачи, модели, методы и решения) : учеб. пособие / Ю. О. Пазойский, В. Г. Шубко, С. П. Вакуленко. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте», 2016. – 364 с.

2 Организация пригородных железнодорожных перевозок: учебное пособие / Ю. О. Пазойский [и др.] ; под ред. Ю. О. Пазойского. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте», 2015. – 270 с.

3 Организация пассажирских перевозок : учеб. / под ред. А. Г. Котенко, Е. А. Макаровой. – М. : ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр на железнодорожном транспорте», 2017. – 136 с.

J. O. PAZOJSKIJ, M. J. SAVELIEV, A. A. SIDRAKOV

SPECIFIC FEATURES IN APPLICATION OF A AREA PARALLEL SCHEDULE FOR SUBURBAN TRAINS

A new method of calculating the area size for suburban trains under the use of the area schedule is proposed. The results of the study suggest that the requirement of equal access to transportation services for commuters leads to the need to increase the number of trains in remote areas and their reduction for the first zone.

Получено 22.10.2018.

УДК 658.7:656 + 06

О. Д. ПОКРОВСКАЯ, К. А. ЗАБОЛОЦКАЯ

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)
insight1986@inbox.ru

ЭВОЛЮЦИОННО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ

Предлагается эволюционно-функциональный подход к классификации транспортных узлов, который может применяться как методология изучения особенностей зарождения и их развития. Определена пирамида терминалистики и иерархии ее объектов с учетом комплексности и интегрированности сервиса как адаптированный вариант теории Ж.-П. Родригэ. Для железнодорожных узлов предложена четырехэтапная адаптированная модель Родригэ – Ноттебума.

Вопросы зарождения, формирования и эволюции являются основополагающими при проектировании технической оснащенности, технологии работы, механизма организации и межэлементного взаимодействия таких сложных систем, как транспортные узлы (ТУ). Роль транспортных узлов в доставке грузов трудно переоценить. От их работы зависит эффективность транспортно-логистической системы всей страны [1]. В современных условиях ТУ давно выполняют роль полноценных многофункциональных логистических объектов, реализующих широкий ассортимент не только транспортных, складских, но и консалтинговых, таможенных, дистрибьюторских, экспедиционных и других услуг [2, 3].

Целью данной статьи является разработка теоретических основ развития ТУ с позиций терминалистики – нового научного направления логистики транспортных узлов и терминальных сетей [1]. В частности, предлагается использование эволюционно-функционального подхода к развитию ТУ как мультимодальных логистических объектов. Определим необходимые понятия, являющиеся ключевыми при дальнейшем изучении проблемы эволюционно-функционального развития.

Терминалистика – наука об организации, проектировании, управлении, структуре и конфигурации сетей грузовых терминалов, включая вопросы количества и дислокации узлов, функционально-технологического состава, прогнозной и экспертной оценки, а также транспортную, инфраструктурную, интеграционную, экономическую и экологическую составляющие работы региональных терминальных сетей [4].

Логистический объект – узловой элемент системы транспортно-складской инфраструктуры, выполняющий комплекс логистических функций в системе доставки груза от отправителя до потребителя.

Логистический район – совокупность логистических объектов экономического и технологического взаимодействия, сосредоточенные по ряду признаков в пространственно-географической локации.

Логистическая область – совокупность взаимоувязанных логистических районов, обеспечивающая интеграцию в транспортные коридоры и построение устойчивой по составу и комплексности транспортно-логистического сервиса терминальной сети [5].

На рисунке 1 изображена пирамида терминалистики и иерархия ее объектов с учетом комплексности и интегрированности сервиса [7].

Развитие любого ТУ как логистического объекта проходит три стадии:

- узел дорог с развитием внутриузловым взаимодействием и условиями для оказания дополнительного сервиса;
- стыковочный пункт видов транспорта, на котором взаимодействие становится межузловым, а сервис позволяет обслуживать сложные системы доставки грузов;
- мультимодальный транспортно-логистический объект, на котором осуществляется комплексный сквозной сервис клиентуры, подвижного состава, грузов («бесшовная технология»).

На рисунке 2 [6] показана пирамида терминалистики, представленная объектами исследования.



Рисунок 1 – Пирамида терминалистики и иерархия ее объектов

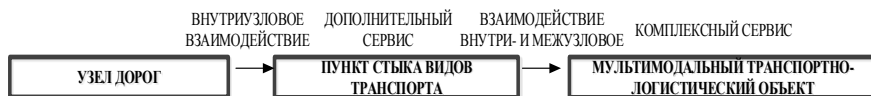


Рисунок 2 – Укрупненная эволюция сущности ТУ

Для железнодорожных ТУ предлагается адаптировать модель Родригэ – Ноттебума [7, 8] с учетом теоретических основ терминалистики (рисунок 3).

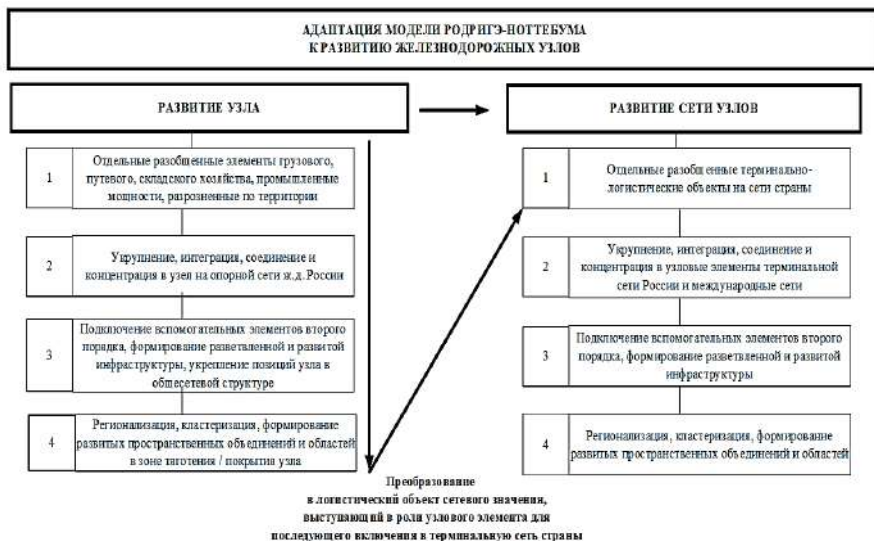


Рисунок 3 – Адаптация модели Родригэ – Ноттебума к железнодорожным ТУ

Развитие узла (сети узлов) происходит в 4 этапа с учетом трансформации внутренних процессов:

- разобщенного существования отдельных элементов (объектов);
- концентрации (укрупнения и интеграции элементов (объектов) в узел (узловой инфраструктурный элемент);
- наращивания инфраструктуры (подключение вспомогательных элементов, расширения инфраструктурной поддержки);
- регионализации с последующим выходом на новый уровень (подключением к локальным и глобальным логистическим системам) согласно концепциям [9–12].

Эволюционно-функциональный подход отражает развитие ТУ по направленности логистических услуг и интегрирует градацию логистического сервиса и ориентацию на объект обслуживания (рисунок 4). С учетом градации

уровня услуг и их ориентации авторами была разработана классификация ТУ по стадиям их эволюционно-функционального развития (рисунок 5).



Рисунок 4 – Этапное развитие ТУ по ориентации реализуемых транспортно-логистических услуг

Этапом развития (эволюции) ТУ как логистического объекта является период времени, в течение которого ТУ перешел на другой качественный уровень в процессе эволюции своей роли в логистической системе доставки грузов с учетом ассортимента, ориентации и сложности выполняемых логистических функций при взаимодействии с внешней средой транспортно-логистического рынка.

Каждый этап характеризуется достигнутым на данный момент времени ТУ рядом параметров, определяющих его тип и место в иерархии термина-

листки (см. рисунок 1) с учетом функционального, пространственного, технологического, технического и организационного развития.

Эволюционно-функциональным подходом будем именовать самостоятельную совокупность общих междисциплинарных методов и принципов, основой которого является комплексное рассмотрение ТУ как сложных самоорганизующихся систем, представленных географически (пространственно) и экономически сконцентрированной совокупностью логистических объектов и транспортных участков, а также участников процесса перевозок при реализации сквозного комплексного транспортно-логистического сервиса в управлении процессами перевозок.

Согласно этому подходу выделяются этапы по градации уровня услуг: стандартный, расширенный и уникальный. Кроме совершенствования уровня сервиса, происходит поэтапное смещение ключевой ориентации сервиса от внутренней среды через внешнюю к клиенту.

Отличительной особенностью предлагаемой классификации ТУ является синтез кластерного [13] и синергетического [14] подходов к определению стадии развития ТУ как логистического объекта, с одной стороны, и самоорганизующейся сложной системы – с другой. В основу положен признак совершенства логистических решений при взаимодействии сторон логистики [14] (см. рисунок 1), а также теория складских систем О. Б. Маликова [15], транспортно-логистических кластеров [16] и хинтерлендов [7, 8]. Так, в соответствии с рисунком 5 стадии зарождения соответствует стадия хаоса (хаотичного развития) ТУ.

Инфраструктурной основой эволюционно-функционального развития выступает существующая база системы, дальнейшее развитие которой может определять реконструкция или новое строительство. При этом создаются условия для формирования центра притяжения трудовых, финансовых и иных ресурсов. Однако поэтапное развитие на начальном этапе становления системы не упорядочено, а связи технологического взаимодействия слабо развиты. Синергетический подход учитывает внешние возмущения (флуктуации), которые являются условием для последующего качественного изменения, перехода на более высокий уровень упорядоченности и развития [17]. В определенной стадии зрелости по синергетическому подходу предлагается вводить этап бифуркации.

Два центральных блока рисунка 5 отражают этапы роста и устойчивого роста до уровня 2- и 3-PL соответственно. Происходит последовательное расширение состава участников и ассортимента услуг, наблюдаются первые проявления мультипликативного эффекта [18]. Отличием этапа роста от этапа устойчивого роста является направленность комплексного развития территории и сервиса, что соответствует стадии бифуркации. Основным свойством точки бифуркации является непредсказуемость последующего развития [14]. В этот период может произойти необратимое изменение как в прямом, так и в обратном направлении, что иллюстрирует пунктирная стрелка, возвращающая к этапу хаоса.

КЛАСТЕРНЫЙ ПОДХОД	По особенностям ведения логистического бизнеса (эволюция логистических решений и взаимоотношений сторон логистики)	СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД
ЗАРОЖДЕНИЕ	1 – Зарождающаяся Существующая база (развитие / реконструкция) или создание новой базы Формирование центра притяжения	ХАОС
ЗРЕЛОСТЬ	2 – Растущие Расширение границ, развитие собственной инфраструктуры, комплексное развитие территории 2-PL (самостоятельное решение логистики), первые проявления мультипликативного эффекта	БИФУРКАЦИЯ
	3 – Устойчиво растущие. Расширение состава участников и ассортимента услуг, привлечение сторонних ресурсов, появление арендованных мощностей и инфраструктуры, комплексное развитие сервиса, 3-PL (3-я сторона логистики)	
СТАГНАЦИЯ	4 – Развивающиеся (качественно) Расширение состава участников и ассортимента услуг, привлечение сторонних ресурсов, появление арендованных мощностей и инфраструктуры, 3-PL (3-я сторона логистики), максимизация мультипликативного эффекта, комплексное развитие территории	ПОРЯДОК
	5 – Развивающиеся (количественно) Интеграция (взаимное поглощение / поглощение / слияние с более крупным объектом) или метаморфоза (преобразование в более крупный объект). В итоге – формирование мега-объекта. Эффект масштаба, достижение устойчивой прибыльности и интеграция в инфраструктуру «город-регион-транспортный коридор»	
ДЕГРАДАЦИЯ	6 – Деградирующие Упадок существующего ТУ и перенос центра в новый район собственного / стороннего происхождения, либо в тяготеющий к более крупному объекту, либо в новый перспективный пункт взаимодействия видов транспорта	ХАОС

Рисунок 5 – Классификация транспортных узлов по стадиям эволюционно-функционального развития

Если этап устойчивого роста успешно пройден ТУ в своем развитии, то заключительным этапом зрелости становится качественное развитие. Данному этапу соответствует третья стадия – стадия порядка. Стадии стагнации по кластерному подходу [13] соответствует стадия порядка по синергетическому подходу. Наблюдается цикличность развития, связанная с новым обращением к количественному росту, отличному от предыдущего этапа своим масштабом. На этой стадии идет интеграция (слияние или поглощение более крупным объектом) или различные метаморфозы. Итогом развития на данной стадии является формирование крупного объекта и инфраструктурных условий для развития цепи «город – регион – транспортный коридор» [13, 16, 17].

Стадии деградации по кластерному подходу соответствует хаос по синергетическому подходу. На этой стадии основная нагрузка ТУ переносится в новый район местного или иного происхождения, либо в новый перспективный пункт взаимодействия видов транспорта.

Данная классификация справедлива для различных ТУ, находящихся на любой стадии эволюционно-функционального развития. Такой подход, развитый в [19–21], может стать инструментом для определения стадии логистики любых ТУ. Эволюционно-функциональный подход охватывает целый комплекс важных для логистики ТУ параметров инфраструктурной основы, географии, направленности сервиса, особенностей регионального развития и логистических решений. Данные параметры являются ключевыми при проектировании ТУ любой сложности [22].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Покровская, О. Д.* Терминалистика: общие вопросы / О. Д. Покровская. – Казань : Бук, 2016. – 142 с.

2 *Елисеев, С. Ю.* Логистическая концепция управления внешнеторговыми перевозками / С. Ю. Елисеев, А. Ф. Котляренко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. – 2004. – № 9. – С. 35–41.

3 *Мохоцько, В. П.* Система поддержки принятия экономически обоснованных решений / В. П. Мохоцько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Экономика железных дорог. – 2005. – № 1. – С. 18–26.

4 *Покровская, О. Д.* Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов / О. Д. Покровская // Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири : материалы IX Междунар. науч.-техн. конф. – Новосибирск : СГУПС, 2016. – С. 233–237.

5 *Покровская, О. Д.* Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О. Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 5 (59). – С. 77–86.

6 *Pokrovskaya, O. D.* Chi terminelistica reale come una nuova direzione scientifica / O. D. Pokrovskaya // Italian Science Review. – 2016. – Vol. 1 (34). – P. 112–116.

7 *Rodrigue, J.-P.* The Geography of Transport Systems / J. P. Rodrigue. – London and New York : Taylor & Francis e-Library. – 2006. – 259 p.

8 *Notteboom, T.* Inland terminals within North American and European supply chains / T. Notteboom // Transport and Communications. Bulletin for Asia and the Pacific. – 2009. – № 78. – P. 19–22.

9 Вакуленко, С. П. Интермодальные и мультимодальные перевозки в транспортных коридорах Европы и Азии / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 73–77.

10 Мохонько, В. П. Ситуационное управление перевозочным процессом / В. П. Мохонько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВИНТИ. – 2004. – № 11. – С. 14–16.

11 Проект «Городские железные дороги России» / В. А. Персианов [и др.] // Вестник транспорта. – 2014. – № 5. – С. 5–10 (начало); 2014. – № 6. – С. 6–11 (окончание).

12 Полянский, Ю. А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю. А. Полянский, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВИНТИ РАН. – 2003. – № 7. – С. 8–18.

13 Портер, М. Конкуренция / М. Портер ; пер. с англ. О. Л. Пелевского [и др.]; под ред. Я. В. Заболоцкого [и др.] – М. : Вильямс, 2005. – 554 с.

14 Пригожин, И. Р. Философия нестабильности / И. Р. Пригожин // Вопросы философии. – 1991. – № 6. – С. 22–29.

15 Маликов, О. Б. Деловая логистика / О. Б. Маликов. – СПб. : Политехника, 2003. – 223 с.

16 Кибалов, Е. Б. Транспортно-логистический кластер Новосибирской области: модель формирования и оценки эффективности. Регион: экономика и социология / Е. Б. Кибалов. – 2007. – № 3. – С. 8–11.

17 Покровская, О. Д. Выбор наилучшего варианта терминальной сети и проверка его устойчивости / О. Д. Покровская // Транспорт Урала. – 2012. – № 2 (33). – С. 70–74.

18 Покровская, О. Д. Организационно-технические решения при проектировании грузовых терминалов в составе международных транспортных коридоров / О. Д. Покровская, В. М. Самуйлов // Инновационный транспорт. – 2015. – № 4. – С. 13–24.

19 Железнодорожные станции и узлы : учеб. пособие / под ред. В. И. Апатцева, Ю. И. Ефименко. – М. : Учеб.- метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – 450 с.

20 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / под ред. Н. В. Правдина, С. П. Вакуленко. – М. : Маршрут, 2014. – 1086 с.

21 Савченко, И. Е. Железнодорожные станции и узлы / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1967. – 467 с.

22 Покровская, О. Д. Формирование терминальной сети для организации перевозок грузов : дис. ... канд. техн. наук, специальность 05.22.01 / О. Д. Покровская. – Новокузнецк : Урал. гос. ун-т путей сообщения, 2011. – 235 с.

O. D. POKROVSKAJA, K. A. ZABOLOCKAJA

EVOLUTIONARY-FUNCTIONAL DEVELOPMENT OF TRANSPORT JUNCTIONS

An evolutionary-functional approach to the classification of transport junctions is proposed, which can be used as a methodology for studying the characteristics of their origin and development. The pyramid of terminology and the hierarchy of its objects is determined, taking into account the complexity and integration of the service, as an adapted version of the theory of J.-P. Rodrigue. For railway junctions, a four-stage adapted Rodrigue-Nottebhum model is proposed.

Получено 17.11.2018.

УДК 656.073: 658.8

О. Д. ПОКРОВСКАЯ

Сибирский государственный университет путей сообщения (СГУПС)

insight1986@inbox.ru

О ЛОГИСТИЧЕСКОЙ КЛАССНОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

Для грузовых станций предлагается введение понятие логистического класса, отражающего уровень клиентоориентированности и определяющего объем расширенного логистического сервиса.

Стратегией развития железнодорожного транспорта до 2030 г. предусмотрена трансформация ОАО «РЖД» из инфраструктурной и перевозочной в транспортно-логистическую [1]. Применение на российских железных дорогах клиентоориентированного подхода как элемента антикризисного управления в условиях борьбы за клиента обусловлено переходом заказчиков на альтернативный способ доставки (автотранспортом) или к коммерческим логистическим операторам, что снижает общесетевые объемы погрузки.

Экспертами установлено, что за последние десять лет на автотранспорт переведено не менее 5 % годовой погрузки [2]. При отсутствии современных развитых объектов терминально-логистической инфраструктуры реализовать комплексный, именуемый сквозным, бесшовным, транспортно-логистический сервис и привлечь высокодоходные грузы на железнодорожный транспорт практически невозможно, поскольку именно на таких объектах реализуются услуги добавленной стоимости.

Одной из причин потери потенциальных клиентов и высокодоходных грузопотоков для ОАО «РЖД» служит низкая степень адекватности информации о логистических объектах (ЛО) и интересов клиента, а также недостаточная полнота, простота и доступность информации для клиента. Так, сегодня информация о ЛО рассредоточена по разрозненным документам [3–5] и, по сути, не дает достаточной информации о логистической специфике объекта. Клиенту нужны результативные решения либо полнота информации для их скорейшего принятия.

Основой клиентоориентированного сервиса является доступный и удобный сервис, а также достаточный уровень информированности клиентов об услугах холдинга [6, 7]. Сегодня очевидна необходимость реализации принципа клиентоориентированности при информировании потребителей о

терминально-складских объектах холдинга, особенно в условиях обострения борьбы за заказчика. Основные требования к такой информации указаны в [7]. С этих позиций оказывается весьма важной проблема разработки методики присвоения логистического класса грузовым станциям с учетом требований клиентоориентированности, доступности и полноты информации. Для этого разработана уникальная система присвоения железнодорожным грузовым станциям, открытым для выполнения грузовых операций, логистического класса на основе значимой для клиента информации о дополнительном логистическом сервисе.

Железнодорожный логистический объект определяется как элемент терминально-складской инфраструктуры железнодорожного транспорта, выполняющий функции узлового элемента терминально-логистической системы по техническому обеспечению и практическому выполнению услуг погрузки, выгрузки, хранения и распределения грузов, включая доведение грузов до потребителя, при взаимодействии с другими участниками процесса перевозок [8]. Логистический класс определяется для железнодорожных грузовых станций, открытых для выполнения грузовых операций и обладающих ЛО на станциях, открытым для выполнения грузовой работы, с использованием балльной методики по всем логистическим функциям и операциям, выполняемым на станции с учетом их комплексности [9].

Предлагаемый логистический класс грузовой станции, открытой для выполнения грузовых операций, представлен цифрами от 1 до 9 и отражает (на основе авторского коэффициента $K_{\text{лог}}$) ассортимент дополнительного транспортно-логистического сервиса. Этот показатель можно определить как отношение объема расширенного логистического сервиса к общему объему грузовой и коммерческой работы, выполняемой на станции.

Высокая прикладная значимость нового подхода к классности грузовых станций подтверждена доступностью, простотой и полнотой информации о дополнительном «околотранспортном» сервисе, реализованном в самом подходе к присвоению класса. Классность отражает особенности имеющейся на станции терминально-складской инфраструктуры, ассортимент транспортного, складского и комплексного логистического сервиса, т. е. параметры, значимые для клиента. Поэтому требуется совершенно иная классификация грузовых станций с учетом особенностей, типологии, функциональности и оснащенности имеющейся на станции терминально-складской инфраструктуры, а также ассортимента транспортного, складского и комплексного логистического сервиса [10, 11].

Клиентоориентированность такой новой классификации заключается в том, что, с одной стороны, класс будет отражать те параметры, от которых зависит принимаемое клиентом решение по выбору того или иного объекта, с другой – отвечать особенностям эксплуатационной работы железных дорог и способствовать управляемости, учету, контролю и оценке деятельно-

сти объектов терминально-складской инфраструктуры, работающих на местах общего пользования по всей сети железных дорог [12, 13].

Анализ транспортной и логистической литературы по существу вопроса формирования эффективных транспортно-складских систем, в частности, исследований, посвященных рациональному проектированию и эксплуатации транспортных узлов [12–18], классификации терминально-складской инфраструктуры [19–25], оптимизации взаимодействия с клиентурой на рынке транспортно-логистических услуг и качества транспортно-логистического сервиса [26–29] показал недостаточность теоретических исследований объектов терминально-складской инфраструктуры в таких вопросах, как повышение клиентоориентированности предоставляемого ими сервиса, особенности реализации комплексного транспортно-логистического обслуживания и комплексной оценки деятельности терминально-складской инфраструктуры на сети железных дорог по принципам логистики.

В основе логистической классности лежит классификация объектов терминально-складской инфраструктуры, предложенная в [9, 10, 30–33]. Логистический класс станции должен присваиваться экспертным путем (коммерческо-ревизионной службой, независимыми экспертами, клиентами) и размещаться в общесетевом доступе для расширения возможностей комплексной оценки и отслеживания уровня загрузки и развития терминально-складской инфраструктуры ОАО «РЖД» в реальном времени и предоставления в свободном доступе открытых сведений клиентам. Последняя позиция является обязательным требованием для перехода ОАО «РЖД» к новому уровню логистического провайдинга – 4PL, предусматривающему наличие единого информационного поля для взаимодействия провайдера услуг с клиентами [5].

Рассмотрим отличия логистической классности от известной, закреплённой в [3–5]:

- 1) отражение существенных для клиента параметров;
- 2) открытость и доступность для клиента;
- 3) возможность комплексной оценки работы железнодорожных ЛО;
- 4) обеспечение информационной основы для перехода ОАО «РЖД» к 4PL;
- 5) создание условий для отслеживания работы и загруженности ЛО;
- 6) отражение большинства логистических показателей работы ЛО;
- 7) повышение управляемости объектов терминально-складской инфраструктуры;

8) отражение технико-технологического обеспечения логистического сервиса, включая имеющиеся на станции инфраструктурные объекты.

Для оценки функционирования ЛО предложен термин «логистическая работа», являющийся ключевым показателем классности ЛО согласно теории терминалистики [30].

Логистическая работа определяется как количество единичных логистических операций, выполненных ЛО на 1 тонну i -го груза в единицу времени, тонно-операций/сут:

$$Q_{\text{ЛР}} = \frac{Q_{\text{ЛР}}^{\text{ЛО}} N_{\text{лог.оп}}^{\text{ГР}i}}{T}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{ЛР}}^{\text{ЛО}}$ – количество переработанного i -го груза на ЛО и нуждающегося в логистическом обслуживании, т; $N_{\text{лог.оп}}^{\text{ГР}i}$ – количество единичных логистических операций, выполненных на ЛО с одной тонной i -го груза, операций; T – продолжительность логистической работы (полного цикла грузопереработки) на ЛО (ТС), сут.

В отличие от известного коэффициента перегрузки $Q_{\text{ЛР}}$ охватывает операции с одной тонной груза не только при перегрузке, но в течение всего пребывания груза в узловом элементе логистической цепи (на ЛО), включая операции добавленной стоимости. В основе предлагаемого логистического класса лежит коэффициент комплексности транспортно-логистического сервиса на ЛО, определяемый следующим образом:

$$K_{\text{лог}} = \frac{Q_{\text{ед}}}{Q_{\text{компл}}} K_{\text{лс}} \quad (2)$$

или

$$K_{\text{лог}} = \frac{Q_{\text{лог}}}{Q_{\text{общ}}} K_{\text{лс}}, \quad (3)$$

где $Q_{\text{ед}}$ – объем единичных (простейших) логистических операций, общей стоимостью не выше 15–20 % от общей прибыли ЛО, у. е./год; $Q_{\text{компл}}$ – объем сложных составных логистических операций, общей стоимостью не менее 70 % общей прибыли ЛО, у. е./год; $K_{\text{лс}}$ – коэффициент совмещения логистических операций, определяемый как отношение числа одновременно выполняемых операций с грузом к общему числу операций, в которых нуждается данный груз; $Q_{\text{лог}}$ – объем оказанных логистических услуг, у. е./год; $Q_{\text{общ}}$ – общий объем реализованного ЛО сервиса (грузовые, коммерческие, логистические услуги), у. е./год.

Рассмотрим методику присвоения логистического класса [8].

При определении логистического класса анализируются результаты анкетирования путем начисления баллов за каждый ответ. К значимым параметрам, по которым ведется балльная оценка, относятся:

- класс железнодорожной станции (например, для внеклассной станции начисляется 6 баллов, для 5 класса – 1 балл);
- количество железнодорожных линий на станции (от 4 до 5 баллов);
- общая площадь территории на станции, занимаемой ЛО (например, при общей площади территории до 1 гектара начисляется 1 балл, а при 50–60 гектарах – 6 баллов);
- величина коэффициента комплексности транспортно-логистического сервиса на ЛО, $K_{\text{лог}}$ (например, при $K_{\text{лог}}$ до 0,1 присваивается 2 балла, а равном 0,8 и более – 9 баллов);

- пакет предоставляемых клиенту услуг на ЛО (при стандартном пакете услуг «хранение и грузовые операции» начисляется 1 балл, а при расширенном ассортименте комплексного сервиса на ЛО – до 6 баллов);

- класс складских помещений по международной классификации *A, B, C* и *D* (например, для класса *A* – 4 балла);

- статус станции (если отдельный пункт является транзитным пунктом, приграничной или припортовой станцией, то ей присваивается 4 балла, нет – 0 баллов).

ЛО может быть максимально присвоено 68, минимально 6 баллов. Интервал в 64–68 баллов, начисленных экспертами, соответствует 9-му логистическому классу, а, например, 6–10 баллов – 1-му логистическому классу. В таблице 1 приведены интервальные значения каждого из девяти классов по значимым показателям в виде трех групп ЛО: А, Б и В.

Т а б л и ц а 1 – **Итоговая форма логистических классов**

Тип ЛО	Обозначение класса	Интервал класса, баллов
<i>Группа А (градация – 4 балла) – высшая</i>		
МТЛЦ	9	64–68
ТЛУ	8	59–63
ТУ	7	54–58
<i>Группа Б (градация – 7 баллов) – промежуточная</i>		
ЛЦ	6	46–53
РЦ	5	38–45
ТГ	4	30–37
<i>Группа В (градация – 10, 9, 8 баллов) – низшая</i>		
ТСК	3	21–29
С	2	11–20
СП	1	10 и менее

Исследование логистических объектов Новосибирского транспортного узла позволило установить, что усредненные значения $K_{\text{лог}}$ для группы А составляют 1,7 и более; Б – 1,2–1,6 включительно; В – менее 1,2. В расчетах принимали участие 25 сотрудников, работающих в узле ЛО. Более подробно методическое обеспечение представлено в [8].

В результате исследований установлено, что полученная классификационная структура может быть реализована при условиях наличия законодательно закрепленных методов классификации и идентификации ЛО, а также единой информационной среды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=3771&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704. – Дата доступа : 11.02.2018.

2 Концепция комплексного развития контейнерного бизнеса в холдинге ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://doc.rzd.ru/doc/public/ru?id=5932&layer_id=5104&STRUCTURE_ID=704. – Дата доступа: 15.02.2018.

3 Положение о железнодорожной станции (утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 31.05.2011. – №1186-р с изм. от 28.01.2015г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/902285883>. – Дата доступа : 11.02.2018.

4 Тарифное руководство № 1. Ч. 1 (Правила применения тарифов). – Прейскурант № 10-01: Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые РЖД. – М. : Красный пролетарий, 2003. – 160 с.

5 Тарифное руководство № 4 (ред. от 28.11.2008, с изм. от 18.11.2010). Кн. 2. Ч. 1. Алфавитный список железнодорожных станций. – М. : Красный пролетарий, 2003. – 360 с.

6 Концепция создания терминально-логистических центров на территории РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cargo.rzd.ru>. – Дата доступа : 18.02.2018.

7 Единая политика клиентоориентированности холдинга «РЖД» в области грузовых перевозок (распоряжение ОАО «РЖД» от 26 июля 2016 года № 1489р) / [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/456025278>. – Дата доступа: 11.02.2018.

8 *Покровская, О. Д.* Логистическое руководство: математические основы терминалистики, маркировка, классификация и идентификация логистических объектов железнодорожного транспорта : [монография] / О. Д. Покровская. – Казань : Бук, 2017. – 281 с.

9 *Покровская, О. Д.* Классификация, иерархия и идентификация объектов терминально-складской инфраструктуры / О. Д. Покровская, О. Б. Маликов // Транспорт: наука, техника, управление. 2017. – № 8. – С. 13–21.

10 *Покровская, О. Д.* Эволюционно-функциональный подход к развитию транспортных узлов / О. Д. Покровская // Политранспортные системы: Научные проблемы реализации транспортных проектов в Сибири : материалы IX Международной научно-технической конференции. – Новосибирск, СГУПС, 2016. – С. 233–237.

11 *Покровская, О. Д.* Классификация узлов и станций как компонентов транспортной логистики / О. Д. Покровская // Вестник транспорта Поволжья. – 2016. – № 5 (59). – С. 77–86.

12 Железнодорожные станции и узлы : учеб. пособие / под ред. В. И. Апатцева, Ю. И. Ефименко. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. транспорте, 2014. – 450 с.

13 Проектирование инфраструктуры железнодорожного транспорта (станции, железнодорожные и транспортные узлы) / под ред. Н. В. Правдина, С. П. Вакуленко. – М. : Маршрут, 2014. – 1086 с.

14 *Бройтман, Э. З.* Железнодорожные станции и узлы / Э. З. Бройтман. – М., 2004. – 272 с.

15 *Савченко, И. Е.* Железнодорожные станции и узлы / И. Е. Савченко, С. В. Земблинов, И. И. Страковский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1967. – 467 с.

16 *Маликов, О. Б.* Складская и транспортная логистика в цепях поставок : учеб. пособие / О. Б. Маликов. – СПб. : Питер, 2017. – 400 с.

17 *Маликов, О. Б.* Перевозки и складирование товаров в цепях поставок : [монография] / О. Б. Маликов. – М. : ФБГОУ УМЦ на ж.-д. транспорте, 2014. – 324 с.

18 *Числов, О. Н.* Научно-методический комплекс классификации железнодорожных узлов (на примере Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОА «РЖД») [Электронный ресурс] / О. Н. Числов, В. В. Хан. – Режим доступа : <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=16956>. – Дата доступа : 11.02.2018.

19 Прокофьева, Т. А. Логистические центры в транспортной системе России : учеб. пособие / Т. А. Прокофьева, В. И. Сергеев. – М. : Экономическая газета, 2012. – 522 с.

20 Балалаев, А. С. Транспортно-грузовые системы железных дорог : учеб. пособие / А. С. Балалаев, И. А. Чернышова, А. Ю. Костенко. – Хабаровск : Изд-во ДВГУПС, 2006. – 108 с.

21 Дыбская, В. В. Управление складированием в цепях поставок / В. В. Дыбская. – М. : Альфа-Пресс, 2009. – 720 с.

22 Миротин, Л. Б. Логистика, технология, проектирование складов, транспортных узлов и терминалов / Л. Б. Миротин, А. В. Бульба, В. А. Демин. – Ростов н/Д : Феникс, 2009. – 408 с.

23 Стыковые пункты транспортных узлов / под ред. К. Ю. Скалова, Г. С. Молярчук. – М. : Транспорт, 1977. – 184 с.

24 Балалаев, А. С. Методология транспортно-логистического взаимодействия при мультимодальных перевозках / А. С. Балалаев. – дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.01: утв. 14.12.2010. М., 2010. – 280 с.

25 Елисеев, С. Ю. Логистизация управления внешнеторговыми перевозками в смешанном сообщении / С. Ю. Елисеев, А. Ф. Котляренко, П. В. Куренков // Транспорт. Наука. Техника. Управление. – 2003. – № 9. – С. 2–7.

26 Вакуленко, С. П. Интермодальные и мультимодальные перевозки в транспортных коридорах Европы и Азии / С. П. Вакуленко, П. В. Куренков // Железнодорожный транспорт. – 2016. – № 6. – С. 73–77.

27 Мохонько, В. П. Ситуационное управление перевозочным процессом / В. П. Мохонько, В. С. Исаков, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВИНТИ. – 2004. – № 11. – С. 14–16.

28 Проект Городские железные дороги России / В. А. Персианов [и др.] // Вестник транспорта. – 2014. – № 5. – С. 5–10. – № 6. – С. 6–11.

29 Полянский, Ю. А. Топологическое моделирование взаимодействия хозяйств железной дороги / Ю. А. Полянский, П. В. Куренков // Транспорт: наука, техника, управление : сб. ОИ / ВИНТИ РАН. – 2003. – № 7. – С. 8–18.

30 Покровская, О. Д. Терминалистика: общие вопросы : [монография] / О. Д. Покровская. – Казань: Бук, 2016. – 142 с.

31 Классификация складских помещений Knightfrank. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.knightfrank.ru/resources/pdf/research/ind.pdf>. – Дата доступа : 15.02.2018.

32 Покровская, О. Д. Классификация объектов железнодорожной терминально-складской инфраструктуры / О. Д. Покровская // Вестник УрГУПС. – 2017. – № 1 (33). – С. 70–83.

33 Покровская, О. Д. Определение параметров терминальной сети региона (на примере Кемеровской области) / О. Д. Покровская // Транспорт Урала. – 2012. – № 1 (32). – С. 93–97.

О. Д. ПОКРОВСКАЯ

LOGISTIC CLASSES OF RAILWAY STATIONS

It is proposed to introduce the concept of a logistic class for freight stations, reflecting the level of customer focus and determining the volume of expanded logistics services.

Получено 16.11.2018.

УДК 625.1

Е. Н. ПОТЫЛКИН, Л. В. ОСИПЕНКО

Белорусский государственный университет транспорта (БелГУТ)

gkrt@inbox.ru

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Выполнен анализ параметров железнодорожных путей общего пользования на сети Белорусской железной дороги. Результаты представляют интерес при выполнении исследований по совершенствованию взаимодействия железнодорожного транспорта общего и общего пользования.

Республики бывшего СССР унаследовали от советской командно-административной системы управления множество крупных предприятий, которые с переходом к рыночной экономике были преобразованы в различные монополии, в числе которых и железнодорожный транспорт [2]. В основу управления железнодорожным транспортом заложена пирамидально-иерархическая структура, высокоцентрализованная и жестко регламентированная. Основными недостатками такой системы считаются громоздкий управленческий аппарат, недостаточная чувствительность к требованиям рынка и конкуренции со стороны других видов транспорта, в связи с чем возникла необходимость в проведении структурных реформ на железных дорогах. Их смысл заключается в разделении конкурентного и монопольного секторов на железнодорожном транспорте и создании условий для привлечения в отрасль инвестиций, повышения качества услуг. Программой реформы на железнодорожном транспорте в Российской Федерации предусматривалось поэтапное дерегулирование деятельности на рынке транспортных услуг, совершенствование государственного регулирования монопольного сектора на железнодорожном транспорте и обеспечение недискриминационного доступа пользователей к его инфраструктуре. В ходе структурной реформы железнодорожной отрасли были изменены условия управления отраслью, поскольку созданное открытое акционерное общество «Российские железные дороги» постепенно потеряло статус монополиста и стало таким же участником транспортного рынка, как операторы подвижного состава и другие перевозчики. Рост количества компаний-операторов частного подвижного состава на железнодорожном транспорте создал предпосылки для возникновения и развития конкуренции при перевозках грузов. При этом

независимые транспортные компании получили возможность гибко подходить к формированию тарифов на транспортировку грузов. В сложившихся условиях особую актуальность приобрели задачи определения рационального режима взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования. Для их решения необходимо произвести анализ основных параметров железнодорожных путей необщего пользования на сети Белорусской железной дороги.

Согласно [3] железнодорожные пути необщего пользования можно разделять по схемам примыкания к железнодорожным станциям на тупиковые, кольцевые, и сквозные. По характеру грузовой работы различают пути необщего пользования организаций:

- добывающей промышленности с объемами погрузки, превышающими объемы выгрузки;
- обрабатывающей промышленности с объемами погрузки, которые меньше объемов выгрузки;
- перевалочных пунктов с сопоставимыми объемами погрузки и выгрузки [5].

В зависимости от ведомственной принадлежности железнодорожные пути необщего пользования принадлежат железной дороге и другим юридическим лицам. По принадлежности обслуживающего локомотива различают пути, обслуживаемые локомотивом владельца или пользователя (13 %) и локомотивом железной дороги (87 %). Порядок подачи-уборки вагонов на места необщего пользования может регулироваться договором на эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования (48 %) либо договором на подачу и уборку вагонов (52 % от суммарного количества заключенных договоров).

На основании изучения различных характеристик и параметров работы путей необщего пользования, анализа статистических данных [1] установлено, что возможными признаками их классификации могут выступать:

- суточный вагонооборот;
- полная длина;
- расстояние подачи и уборки;
- количество фронтов погрузки, выгрузки,
- ряд других параметров.

На рисунке 1 представлено распределение количества путей необщего пользования, находящихся на территории Республики Беларусь, в зависимости от их среднесуточного вагонооборота.

Как видно из диаграммы, количество железнодорожных путей необщего пользования со среднесуточным вагонооборотом до 5 ваг./сут равно 1062, что составляет 90 % от общего числа путей необщего пользования, расположенных на территории Республики Беларусь.

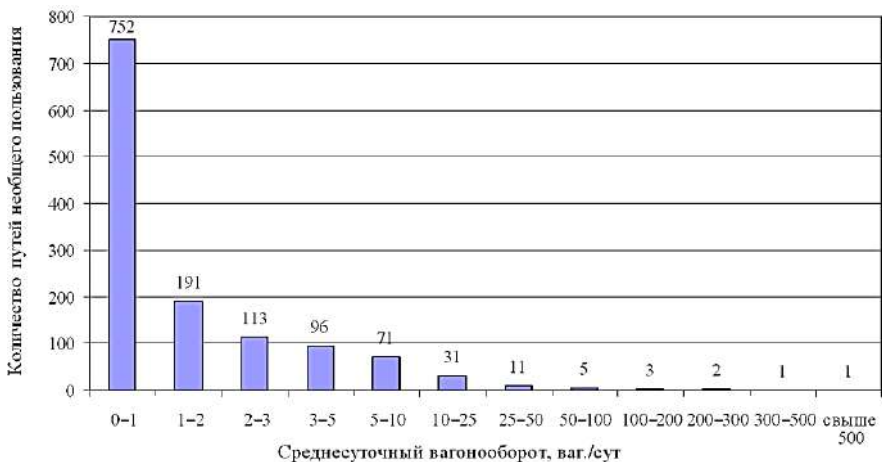


Рисунок 1 – Диаграмма распределения количества путей необщего пользования в зависимости от среднесуточного вагонооборота

При этом на них в среднем за сутки грузится 375 вагонов (10,9 % от общей среднесуточной погрузки на всех местах необщего пользования), выгружается 921 вагон (44,4 % от общей среднесуточной выгрузки). Количество железнодорожных путей необщего пользования со среднесуточным вагонооборотом от 5 до 100 ваг./сут равно 118, что составляет 9 % от общего числа путей необщего пользования; в среднем за сутки на них грузится 1129 вагонов (32,9 % от общей среднесуточной погрузки) и выгружается 896 вагонов (43,2 % от общей среднесуточной выгрузки на всех местах необщего пользования). Количество железнодорожных путей необщего пользования со среднесуточным вагонооборотом свыше 100 вагонов/сутки равно 7, что составляет 0,5% от общего числа железнодорожных путей необщего пользования. Среднесуточная погрузка на них составляет 1932 вагона, выгрузка – 256 вагонов, что составляет 56,2 % и 12,4 % соответственно от общей среднесуточной погрузки и выгрузки. Информация о распределении объемов погрузки и выгрузки между путями необщего пользования в Республике Беларусь сведена в таблицу 1.

Соотношение объемов работы путей необщего пользования в Республике Беларусь по погрузке и выгрузке вагонов представлено на рисунке 2.

На рисунке 3 приведена диаграмма распределения развернутых длин железнодорожных путей необщего пользования по отделениям Белорусской железной дороги (НОД-1 – НОД-6) в соответствии с балансовой принадлежностью.

Т а б л и ц а 1 – **Распределение объемов погрузки и выгрузки вагонов на железнодорожных путях необщего пользования в зависимости от их среднесуточного вагонооборота**

Среднесуточный вагонооборот на пути необщего пользования, ваг./сут	Доля от общей погрузки, %	Доля от общей выгрузки, %
Менее 5	10,9	44,4
От 5 до 100	32,9	43,2
Свыше 100	56,2	12,4
<i>Итого</i>	100	100



Рисунок 2 – Соотношение объемов работы железнодорожных путей необщего пользования в Республике Беларусь

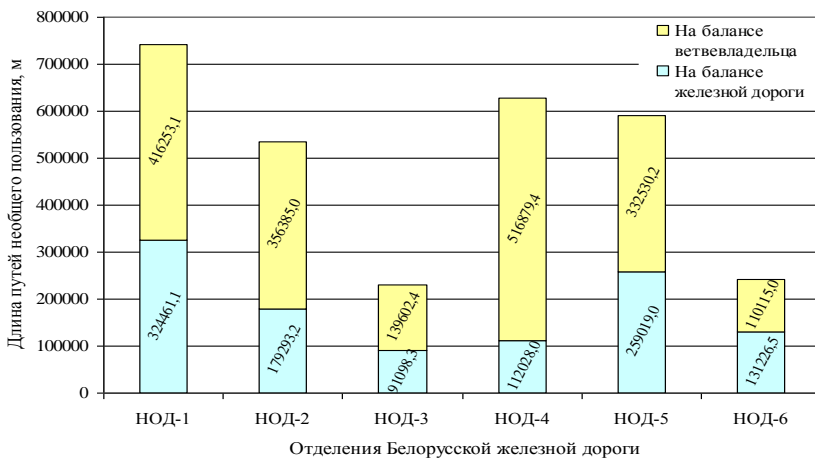


Рисунок 3 – Длина путей необщего пользования по отделениям дороги в соответствии с балансовой принадлежностью

Анализ диаграммы, представленной на рисунке 3, показал, что 63 % суммарной развернутой длины железнодорожных путей необщего пользования находится на балансе ветвладельца, а 37 % – на балансе Белорусской железной дороги.

Распределения путей необщего пользования по количеству грузовых фронтов, находящихся на них, и расстоянию подачи и уборки вагонов приведены на рисунках 4 и 5 соответственно.

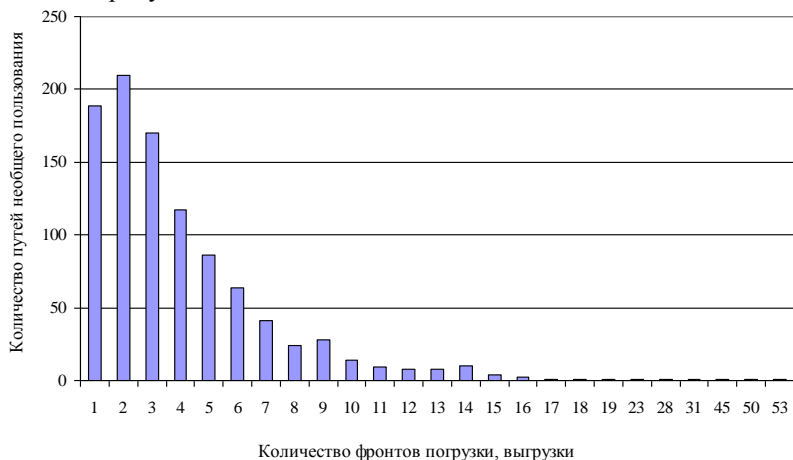


Рисунок 4 – Диаграмма распределения количества путей необщего пользования в зависимости от количества фронтов погрузки-выгрузки

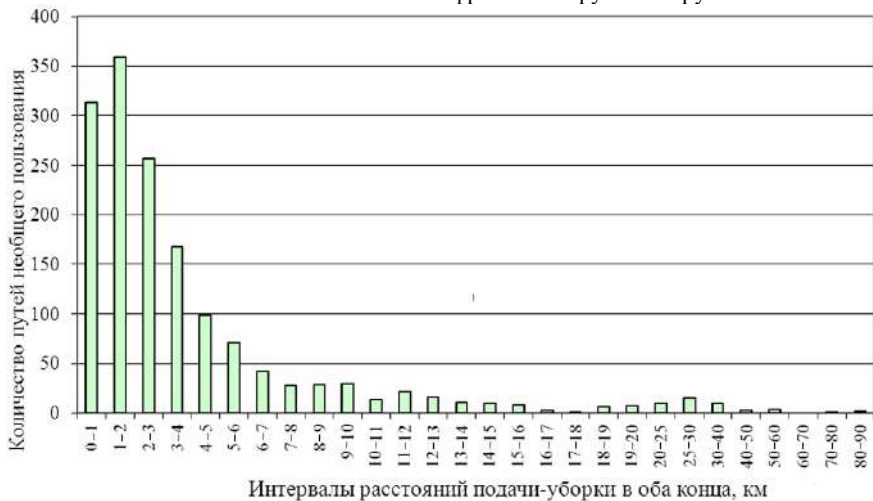


Рисунок 5 – Диаграмма распределения количества путей необщего пользования в зависимости от расстояния подачи и уборки вагонов

Как видно из рисунков 4 и 5, на Белорусской железной дороге преобладают железнодорожные пути необщего пользования с количеством фронтов погрузки и выгрузки от 1 до 5 и расстоянием подачи и уборки вагонов до 5 км.

При этом стоит отметить, что на сети Белорусской железной дороги имеется 11 путей необщего пользования с количеством фронтов погрузки-выгрузки свыше 15, которые обслуживают крупные промышленные предприятия и организации.

Исходя из определения и классификации железнодорожных путей необщего пользования можно выделить следующие их функции:

- зарождение грузопотоков (производство товара);
- погашение грузопотоков (потребление товара);
- временное размещение вагонов;
- взвешивание груза;
- временное хранение груза;
- перегрузка груза с одного вида транспорта на другой;
- внутрицеховые и межцеховые перевозки ресурсов внутри одного предприятия, а также перевозки между разными предприятиями, расположенными на одном пути;
- прочие.

Выполнение этих функций определяет особенности эксплуатации железнодорожных путей необщего пользования, которые заключаются в том, что технологический процесс их работы связан, с одной стороны, с работой обслуживаемого ими предприятия, а с другой – с работой станции примыкания. При этом их взаимодействие в современных условиях усложняется ввиду увеличения количества частных перевозочных средств. Современные условия работы железной дороги вносят свои коррективы во взаимную работу железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Таким образом, в настоящее время у транспортного комплекса Республики Беларусь существует острая необходимость в совершенствовании взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования. На основании проведенного анализа основных параметров железнодорожных путей необщего пользования возможно проведение научных исследований режимов взаимодействия железнодорожных станций и мест необщего пользования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Отчет о времени нахождения вагонов на ответственности предприятий по отделениям Белорусской железной дороги за 2017 г. / Белорусская железная дорога. – Минск, 2018. – 58 с.

2 Резер, С. М. Тарифное регулирование железных дорог / С. М. Резер. – М. : ВИНТИ РАН, 2013. – 640 с.

3 Смехов, А. А. Управление грузовой и коммерческой работой на железнодорожном транспорте / А. А. Смехов. – М. : Транспорт, 1990. – 352 с.

4 Сотников, Е. А. Эксплуатационная работа железных дорог (состояние, проблемы, перспективы) / Е. А. Сотников. – М. : Транспорт, 1986. – 256 с.

5 Ферапонтов, Г. В. Железнодорожные подъездные пути необщего пользования / Г. В. Ферапонтов. – М. : Трансжелдориздат, 1958. – 227 с.

E. N. POTYLKIN, L. V. OSIPENKO

ANALYSIS OF THE BASIC PARAMETERS OF RAILWAY TRACKS OF NON-PUBLIC USE IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The analysis of the parameters of non-public railways of the Belarusian Railways network is performed. The results are of interest when performing research aimed to improving the interaction of public and non-public rail transport.

Получено 11.11.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656. 224 + 06

А. Ф. о. РУСТАМОВ

*Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)
azikfb8707@gmail.com*

ПОВЫШЕНИЕ УРОВНЯ СЕРВИСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК НА ОСНОВЕ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Рассматриваются инновационные методы в привлечении и обслуживании пассажиров на железнодорожном транспорте, основанные на цифровых решениях с использованием сферических панорам в 360° для отображения места в вагоне и передаче информации о сфере предоставляемых услуг.

В связи со строительством железных дорог в Российской империи во второй половине XIX века и техническим оснащением инфраструктуры было положено начало пассажирским перевозкам. Известно, что первые железнодорожные перевозки России имели пассажирскую, а не грузовую направленность. Сама концепция строительства железных дорог в России, создание инфраструктуры перевозок свидетельствовали о том, что новое средство транспортного сообщения было предназначено в первую очередь для ускоренной перевозки пассажиров. Первая коммерческая железная дорога России – это Николаевская железная дорога, которая в 1851 году связала Москву и С.-Петербург. Несмотря на относительно небольшие объемы движения, уже в 1852 году по железной дороге было перевезено 719 тысяч пассажиров, а к 1856 году это число увеличилось до 1 миллиона 400 тысяч.

В дальнейшем объем пассажирских перевозок постоянно увеличивался, и администрацией железной дороги принимались меры к увеличению провозной способности.

История развития транспорта свидетельствует о его высокой значимости для России, а также о том, что в его системе появились предпосылки для использования стратегического менеджмента. В современных условиях эксплуатации транспорта каждые 10–15 лет появляются инновационные платформы, основанные на цифровых технологиях. Если в 1990-х годах это были настольные компьютеры, то теперь – интуитивные устройства на основе смартфонов и планшетов. С уверенностью можно сказать, что виртуальная (VR) и дополненная (AR) реальности станут следующим технологическим шагом в ближайшем будущем. Например, в Сбербанке использование искусственного интеллекта позволяет принимать 98 % решений о выдаче кредитов физическим лицам.

Железнодорожный транспорт также нельзя представить без цифровых технологий, использование которых помогает привлечь новых клиентов и повысить экономическую эффективность транспортных услуг, предлагая совершенно новые сервисы. Без цифровых технологий не возможна организация грузовых железнодорожных перевозок. Одним из ее элементов является электронная торговая площадка «Грузовые перевозки», которая позволяет в безбумажном виде и дистанционно заказать перевозку по маршруту клиента. Благодаря информации о дислокации вагонов и наличии грузовой базы появляется возможность более эффективно использовать подвижной состав и железнодорожную инфраструктуру, минимизируя порожний пробег вагонов. Площадка предоставляет сквозной сервис, включая мультимодальное сообщение, складские услуги. В перспективе этот набор будет расширяться. Мобильная платформа предполагает оформление проездных документов, в том числе на мультимодальные маршруты, появляется возможность заказа гостиницы, такси и других услуг [1–3].

Для реализации клиентоориентированной политики в области пассажирских перевозок с использованием IT-технологий предполагается создание системы, обеспечивающей:

- учёт спроса и уровня мобильности населения для территорий локального и международного масштаба с оценкой влияния демографических изменений;
- выделение трендов в оценке качества предоставляемых пассажирам услуг, условий его повышения для сохранения и увеличения объемов перевозок в различных сегментах;
- развитие и совершенствование информационно-аналитических систем, используемых для планирования пассажирских перевозок, мониторинга мобильности населения и технического обеспечения перевозок в различных

секторах (высокоскоростных, скоростных, дальних пассажирских, межобластных и пригородных).

Немаловажное значение имеет для пассажира полнота информации о предстоящей поездке. Каждый пассажир желает убедиться в удобстве выбранного им места в вагоне, особенно дальнего следования. Обычная фотография малоинформативна, не способна передавать ощущения комфортности от обозрения общего вида вагона или купе. Если такую информацию представить в виде сферической панорамы, то эффект восприятия комфортности предстоящей поездки для пассажира будет иным.

Панорамная фотография формируется из нескольких кадров съемки [6–8]. В результате возникает фотография с углом обзора более 180° или обычная «длинного» формата с соотношением сторон 1×2 , 1×3 и более, или полученная путем технологии сборки панорам из отдельных кадров. При этом она может иметь небольшой угол обзора и стандартное соотношение сторон.

Такие панорамы разрабатываются в программных средах трехмерной компьютерной графики или с помощью фотоаппарата с высоким разрешением. Техника представления окружающего мира в виде панорамы имеет широкое применение, и множество научных и технических направлений пересекается в этой области (фотография, оптика, фотограмметрия, обработка изображений и техническое зрение). Среди ученых, которые занимались проблемами разработки алгоритмов формирования панорамных изображений, можно назвать Лукаса и Канаде (*B. Lucas, T. Kanade*), сформировавших идеи оптического потока; Д. Лоуи (*D. Lowe*), разработавшего алгоритм поиска и описания локальных особенностей изображения *SIFT*; Р. Зелински (*R. Szelinski*), систематизировавшего и дополнившего имеющиеся знания по формированию панорамных изображений; Р. Хартли и А. Зиссермана (*R. Hartley, A. Zisserman*), описавших геометрические зависимости между сценой и ее изображением [9–11].

Степень реалистичности изображения в значительной степени зависит от точности и качества используемых моделей. Многие современные компьютерные пакеты обработки изображений требуют точного позиционирования вершин, ребер, границ объектов на фотоизображениях и сопоставления их элементам выбранной модели простой формы. Этот процесс очень трудоемок, поэтому подобные системы не получили широкого практического распространения.

В настоящее время активно разрабатываются и применяются алгоритмы формирования цифровой панорамы по изображениям, полученным при различных условиях съемки с учетом геометрических искажений, отличающихся повышенной точностью сопоставления объектов и высокой производительностью. Предпочтение отдается методам, основанным на сопоставлении точечных особенностей изображений, что обеспечивает качественный визуальный эффект (рисунки 1).



Рисунок 1 – Сферическая 3D-панорама пассажирского вагона в двухмерных проекциях

Порядок построения панорамного изображения связывается с последовательностью обработки входных изображений, построением панорамного изображения с его стабилизацией и сохранением в соответствующем формате итогового образа. Для построения панорамных изображений существуют два подхода: прямые методы и приемы, основанные на выявлении ключевых свойств изображения. Для применения прямых методов нужна точная инициализация, т. е. четкое указание того, как нужно склеивать изображения. Методы, основанные на выявлении ключевых свойств изображения, позволяют разработать более быстрые алгоритмы. Основным их преимуществом является автоматическое нахождение перекрывающихся участков изображений в несортированном наборе изображений [10].

В основе алгоритма лежит условие сопоставления точечных особенностей изображения вагона. Сравнение окрестности точек изображений производится для нахождения координат склейки двух изображений в единую панораму. С этой целью используется перебор точек на двух изображениях и дальнейшим сравнением их с применением масок выбранной размерности. Данные точки считаются ключевыми, если есть совпадения параметров *RGB* в маске на обоих изображениях и склейка происходит с использованием их координат. После чего для уменьшения искажений на итоговом изображении проводится фильтрация с применением медианного фильтра, работа которого описана ниже.

1 Пусть имеется точка изображения с координатами (i, j) .

2 В некоторой системе координат рассматривается локальная окрестность размера $N \times N$.

3 По значениям точек в локальной окрестности формируется вариационный ряд p размерностью $N \times N$.

4 В результирующем изображении координатные позиции принимают значения по следующим правилам:

$$Im_1(i, j) = pk, \text{ if } pk - Im_1(i, j) < pN_2 - k + 1 - Im_1(i, j), \\ pN_2 - k + 1, \text{ if } pk - Im_1 > pN_2 - k + 1 - Im_1(i, j),$$

где k – некоторый параметр алгоритма, N – нечетное число, $Im_1(i, j)$ – исходное изображение.

Реализация алгоритма представлена на рисунке 2.

Рассмотрим подробнее алгоритм функционирования программы.

1 Загрузка изображений i_1 и i_2 распространенных форматов (*PNG*, *JPG*, *GIF*), выбираемых пользователем.

2 Перебор всех точек изображения i_1 .

3 Нахождение для каждой из точек изображения i_1 окрестностей точек согласно заданной размерности маски.

4 Запись полученных окрестностей в массив A_1 .

5 Перебор всех точек изображения i_2 .

6 Нахождение для каждой из точек изображения i_1 окрестностей точек согласно заданной размерности маски.

7 Запись полученных окрестностей в массив A_2 .

8 Сравнение параметров *RGB* окрестностей точек, записанных в массивах A_1 и A_2 [9].

9 В случае совпадения окрестностей, данные точки признаются особенностями изображений [8].

10 Склейка исходных изображений i_1 и i_2 в итоговое панорамное изображение с учетом смещения их относительно друг друга на разницу координат особенностей изображений [7].

11 Стабилизация итогового изображения с помощью медианного фильтра для устранения возможных искажений на изображении.

12 Вывод итогового изображения на экран.

13 Сохранение итогового изображения.

Таким образом, цифровые технологии с использованием трехмерных панорам следует рассматривать как эффективный способ взаимодействия с пассажирами, обеспечивающий увеличение прибыли на железнодорожном транспорте в сегменте пассажирских перевозок.

Виртуальные туры и 3D-сферические панорамы 360° позиционируются как презентабельный интерактивный способ демонстрации транспортных объектов, технических средств, технологии сервиса и услуг. Все необходимые пояснения можно записать на аудионоситель и добавить в виртуальный тур по вокзалу (объекту, пассажирскому вагону).

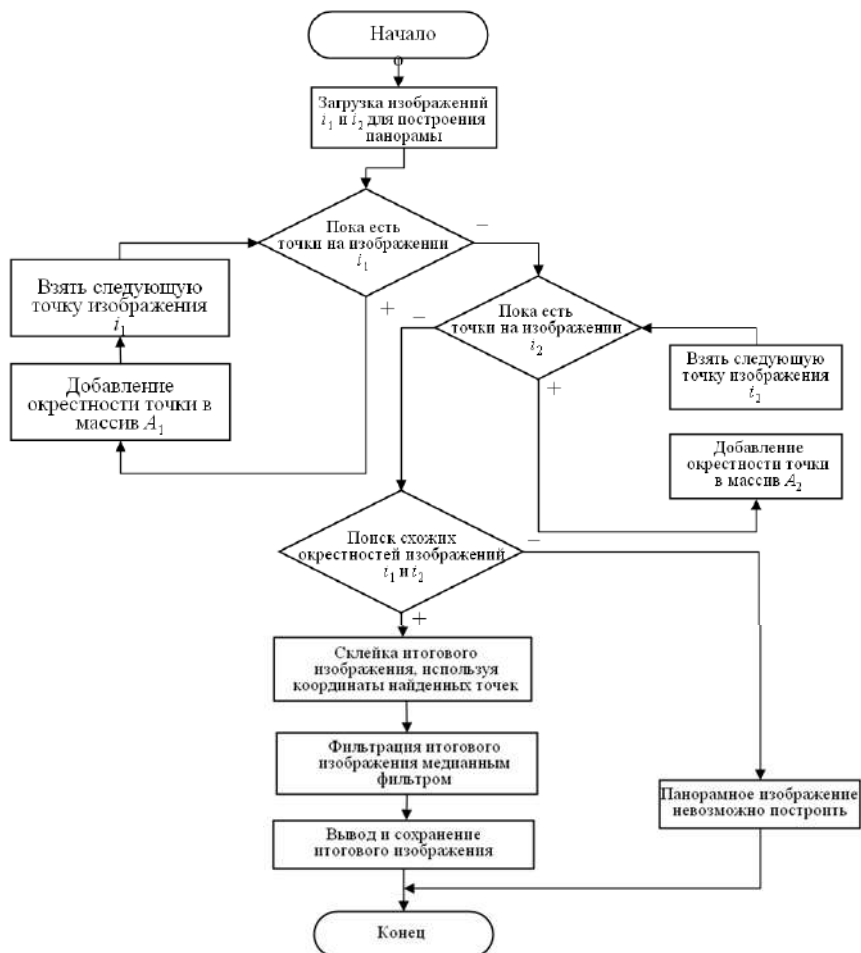


Рисунок 2 – Алгоритм программы построения и стабилизации панорамных изображений

Там же можно разместить дополнительные фотографии для детального ознакомления. Принципиальное отличие новой технологии 3D-сферических панорам от существующих, заключается в том, что клиент сам определяет, что и в каком ракурсе он желает видеть. Потенциальный пассажир может путешествовать по панорамному изображению вверх, вниз, вправо или влево, оглядеться по сторонам, изменить точку обзора и выбрать объект, который стоит рассмотреть подробнее. Данная технология обеспечивает эффект погружения зрителя внутрь изображения с ощущением своего присутствия

внутри объекта. Это позволяет клиенту стать как бы участником самой сцены, для чего достаточно иметь планшет, смартфон или ноутбук, чтобы полностью погрузиться в атмосферу 3D-сферических панорам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 *Softline direct* [Электронный ресурс]. – Спецвыпуск. 05. 2018.
- 2 Гудок: gudok.ru. – Вып. № 163 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gudok.ru/newspaper>. – Дата доступа : 14.09.2018.
- 3 Гудок: gudok.ru. – Вып. № 152(26057) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gudok.ru/newspaper/?ID=1348652>. Дата доступа : 14.09.2018.
- 4 «Белая Книга» ОАО «РЖД» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rly.su/ru/book/export/html/6997>. – Дата доступа: 20.09.18.
- 5 Российская газета [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://rg.ru/2018/06/06/cifrovye-tehnologii-uluchshat-rabotu-zheleznodorozhnogo-trans-porta.html>. – Дата доступа : 20.09.18.
- 6 Власова, А. Цифровая железная дорога: настоящее и будущее / А. Власова, Д. Н. Филимонов. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/49187113-Cifrovaya-zheleznyaya-doroga-nastoyashchee-i-budushchee.html>. – Дата доступа : 20.09.18.
- 7 Булаев, М. И. Аппаратный комплекс построения панорамного изображения на принципе сопоставления точечных особенностей / М. И. Булаев, К. С. Калугин, В. С. Панищев // Известия Юго-Западного государственного университета. Сер.: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. – 2014. – № 2. – С. 98–102.
- 8 Калугин, К. С. Алгоритм распознавания изображения при помощи сопоставления точечных особенностей / К. С. Калугин // Интеллектуальные информационные системы: тенденции, проблемы, перспективы : сб. докладов Региональной заочной научно-практической конференции. – Курск, 2013. – С. 118–120.
- 9 Конушин, А. Слежение за точечными особенностями сцены / А. Конушин // Компьютерная графика и мультимедиа. – 2003. – Вып. № 1(5).
- 10 Harris, C. A combined corner and edge detector / C. Harris, M. Stephens // Proceedings of the 14th International Conference on Computer Vision. – Vancouver; Canada, 2008.
- 11 Mikolajczyk, K. Detection of local features invariant to affine transformations / K. Mikolajczyk // In Proceedings of the 19th British Machine Vision Conference. – Norwich UK, 2009. – P. 34.

A. F. o. RUSTAMOV

IMPROVEMENT OF SERVICE QUALITY OF RAILWAY PASSENGER TRANSPORTATION ON THE BASIS OF DIGITAL TECHNOLOGIES

Considered innovative methods in attracting and servicing passengers in railway transport, based on digital solutions using 360° spherical panoramas for displaying seats arrangement in a car and transmitting information about the services provided.

Получено 28.11.2018.

УДК 656.2 : 656.21 + 06

И. В. РУЧКИН

*Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)
raynard.blackmore@yandex.ru*

ВАРИАНТ ОБОСНОВАНИЯ НИТОК ГРАФИКА ПЕРЕДАТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Изучается динамика количественных и качественных показателей предприятий промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ) на полигоне Северо-Кавказской железной дороги. Представляется статистический анализ вагонопотоков, по рассчитанным частотам поступления вагонов и ниткам графика передаточного движения построены гистограммы подач-уборок. Определены значения интегральной функции оценки транспортной работы ППЖТ.

Промышленный железнодорожный транспорт является важнейшей составной частью единой транспортной системы страны. Его задача заключается в обслуживании крупных промышленных узлов и производств. Объем грузоперевозок на промышленном железнодорожном транспорте в несколько раз превышает аналогичный показатель для железных дорог общего пользования, а развернутая длина путей (около 55 тыс. км) сопоставима с развернутой длиной путей общего пользования (82 тыс. км) [3]. На территории РФ находится свыше 10 тысяч предприятий промышленного железнодорожного транспорта, из которых большая часть имеет собственные железнодорожные пути, однако больше половины предприятий имеют протяженность путей менее 3 км, что приводит к тому, что грузооборот ППЖТ более чем в 20 раз ниже соответствующего показателя для транспорта общего пользования.

Проблема передачи вагонопотока с общей сети дорог на пути ППЖТ является сложной и многовариантной задачей, оказывающей существенное влияние на все виды форм их взаимодействия. Несоответствие интервалов подвода поездов и ритма производства, колебания интервалов и объема их прибытия вызывает необходимость создания сети буферных емкостей и разработки мер транспортно-технологического согласования.

В настоящий момент многие ППЖТ имеют ряд общих проблем в эксплуатации (рисунок 1):

- неравномерность подвода поездов к предприятиям промышленного железнодорожного транспорта. Единые технологические процессы работы ППЖТ со станциями примыкания общего пользования часто не учитывают

транспортных процессов, происходящих на предприятиях промышленного железнодорожного транспорта;

- значительные простои вагонов, что при росте плат за пользование вагонами и штрафов за перепростой подвижного состава повышает себестоимость выпускаемой продукции.



Рисунок 1 – Проблемы эксплуатационной деятельности ПЗЖТ

Для успешного функционирования ПЗЖТ необходимо определять обоснованные нитки графика передаточного движения обеспечивая равномерный подвод и вывод грузов. Рассмотрим показатели годового вагонооборота основных ПЗЖТ Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», которые представлены на рисунке 2.



Рисунок 2 – Годовой вагонооборот ПЗЖТ на полигоне СКЖД

Оценить уровень транспортного производства ПЗЖТ предлагается по критериям протяженности железнодорожных путей l ; количества собственных маневровых локомотивов $n_{\text{лок}}$; количества обслуживаемых предприя-

тий, $N_{\text{пред}}$; общего времени простоя местного вагона на балансе ППЖТ $t_{\text{мест}}$; объему погрузки $Q_{\text{погр}}$; объему выгрузки $Q_{\text{выгр}}$.

Общую эффективность основных показателей ППЖТ можно оценить модифицированной интегральной функцией вида [5]:

$$W_{\text{ППЖТ-}i} = \alpha_1 R_{1i}^* + \alpha_2 R_{2i}^* + \alpha_3 R_{3i}^* + \alpha_4 R_{4i}^* + \alpha_5 R_{5i}^* + \alpha_6 R_{6i}^*$$

при условии

$$\sum_1^N \alpha_i = 1; R_i^* = R_i^{\text{пр}} / R_i^{\text{сущ}},$$

где i – номер варианта показателя работы; $i = 1, 2, \dots, N$ – количество параметров; α_i – коэффициент относительной важности i -го параметра (в зависимости от параметра может быть положительный или отрицательный); $R_i^{\text{пр}}, R_i^{\text{сущ}}$ – значения безразмерных i показателей для проектного и существующего (начального) вариантов работы ППЖТ.

Для оценки уровней транспортного производства ППЖТ разработаны диаграммы показателей некоторых ППЖТ (рисунок 3).

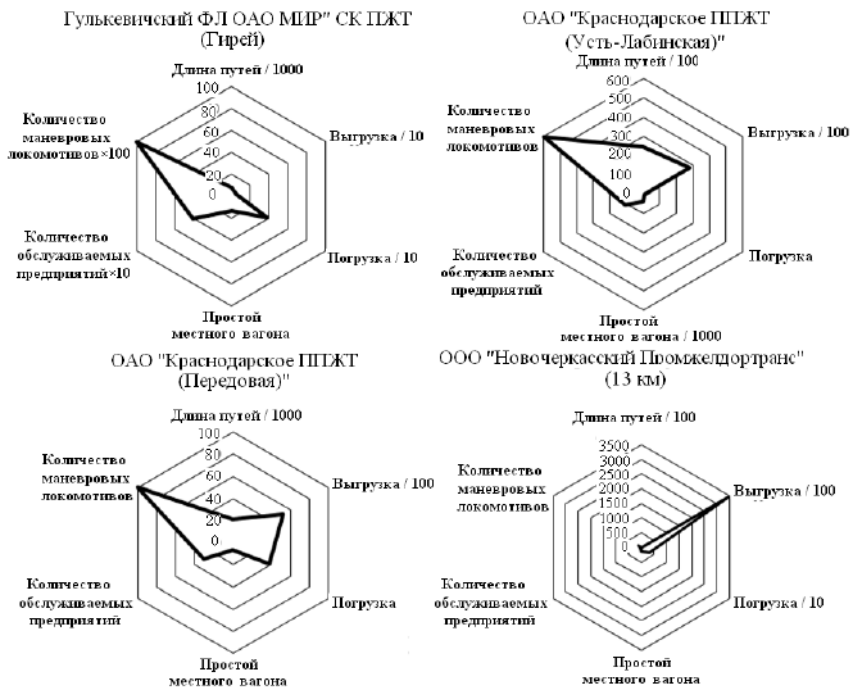


Рисунок 3 – Диаграммы показателей работы ППЖТ

В таблице 1 представлена сводная ведомость показателей, характеризующих работу ППЖТ, где T – время простоя вагонов на ответственности предприятия, ваг.ч/10, Π – погрузка, ваг.; B – выгрузка, ваг.

Т а б л и ц а 1 – **Ведомость показателей работы ППЖТ**

Предприятие	Π , ваг	B , ваг	T , ваг.ч/10	$n_{\text{лок}}$	$N_{\text{прел}}$	L , м
ООО «Новочеркасский Промжелдортранс»	320	3400	1320	1	4	819
ОАО «Краснодарское ППЖТ (ст. Передовая)»	52	38	69,37	1	3	21000
ОАО «Краснодарское ППЖТ(ст. Усть-Лабинская)»	98	205	610	1	5	10109
Гулькевичский филиал «МИР» СК ППЖТ (ст. Гирей)	30	4	130	1	4	8190

Так как показатели, сводимые к комплексному оценочному критерию, имеют разные единицы измерения, то их необходимо привести к безразмерному виду (таблица 2).

Т а б л и ц а 2 – **Ведомость расчетных безразмерных показателей ППЖТ**

Предприятие	Π	B	T	n	N	L
ООО «Новочеркасский Промжелдортранс» (Саловский)	1,01	1,06	1,03	0,21	0,26	0,13
ОАО «Краснодарское ППЖТ (ст. Передовая)»	0,88	0,10	0,38	0,76	0,62	1,07
ОАО «Краснодарское ППЖТ (ст. Усть-Лабинская)»	0,25	0,11	0,15	0,21	0,20	0,93
Гулькевичский филиал «МИР» Северо-Кавказкого ППЖТ (ст. Гирей)	0,38	0,16	0,53	0,21	0,31	0,50

Для этого предлагается использовать вариативный показатель $k(\theta)$ с диапазоном значений от 0,1 до 1,0.

$$k(\theta) = 0,1 + 0,99 \cdot \frac{\theta_i - \theta_{\min}}{\theta_{\max} - \theta_{\min}}, \quad (1)$$

где 0,1 – нижний предел вариативного показателя рейтинга; 0,99 – принятый размах вариации; θ_i – значение i -го показателя в выборке; θ_{\max} , θ_{\min} – максимальное и минимальное значения выборки.

$$W_{\text{ППЖТ}}^{\text{Мир СК}} = 0,166 \cdot 0,38 + 0,166 \cdot 0,16 - 0,166 \cdot 0,53 + 0,166 \cdot 0,21 + 0,166 \times 0,31 + 0,166 \cdot 0,50 = 0,12;$$

$$W_{\text{ППЖТ(У-Л)}}^{\text{Краснод}} = 0,166 \cdot 0,25 + 0,166 \cdot 0,11 - 0,166 \cdot 0,15 + 0,166 \cdot 0,21 + 0,166 \times 0,20 + 0,166 \cdot 0,93 = 0,17;$$

$$W_{\text{ППЖТ(П)}}^{\text{Краснод}} = 0,166 \cdot 0,88 + 0,166 \cdot 0,10 - 0,166 \cdot 0,38 + 0,166 \cdot 0,76 + 0,166 \times \\ \times 0,62 + 0,166 \cdot 1,07 = 0,58;$$

$$W_{\text{ППЖТ}}^{\text{Новочерк}} = 0,166 \cdot 1,01 + 0,166 \cdot 1,06 - 0,166 \cdot 1,03 + 0,166 \cdot 0,21 + 0,166 \times \\ \times 0,26 + 0,166 \cdot 0,13 = 0,27.$$

Из расчета следует, что для ППЖТ, имеющих сбалансированные показатели работы, значения интегральной функции выше, чем у предприятий с высокими значениями по одному или двум показателям.

Определим нитки графика передаточного движения на примере ОАО «Новочеркасский Промжелдортранс». Выполненный анализ показывает, что вагонооборот составляет $B = 52345$ ваг., параметры подач $X_{\max} = 12$ ваг, $X_{\min} = 0$, $I_{\text{гр}} = 1$; объем выборки равен $N_0 = 10^4 = 10000$ ваг., период наблюдения определяется отношением $T = B / N_0$ и равен 5,2 мес. На втором этапе осуществляется сбор статистических данных по месяцам с максимальным, минимальным и средним грузопотоками прибытия за расчетный период T . На третьем этапе выявляется характер поступающего вагонопотока с общей сети, который можно отнести к простейшему входящему потоку и применить методику распределения Пуассона [2]. При простейшем входящем потоке прибытия грузов характер изменения частоты поступления групп вагонов в зависимости от времени определяется формулой

$$p_k = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}.$$

Расчет p_k сведен в таблицу 3.

Т а б л и ц а 3 – Анализ вагонопотоков предприятия

Количество вагонов в группе k_i	Частота n_i	Частость $n_i / \sum n_i$	Накопленная частость r	Вероятность P_k	Накопленная вероятность p	$D = r - p$
0	—	—	—	—	—	—
1	2	0,08	0,08	0,055	0,055713	0,02
2	3	0,12	0,20	0,121	0,177169	0,08
3	4	0,16	0,36	0,176	0,353685	0,18
4	3	0,12	0,48	0,192	0,546088	0,29
5	5	0,20	0,68	0,167	0,713863	0,51
6	2	0,08	0,76	0,121	0,835779	0,64
7	2	0,08	0,84	0,075	0,911716	0,76
8	2	0,08	0,92	0,041	0,953101	0,88
9	1	0,04	0,96	—	0,953101	—
10	1	0,04	1,00	0,008	0,961843	0,99
11	—	—	—	—	0,961843	—
12	—	—	—	—	0,961843	—

Среднее значение поступлений вагонов в сутки определяется отношением

$$\lambda = \frac{\sum_{i=0}^s \zeta_i k_i}{\sum_{i=0}^s \zeta_i}$$

и равно 7,4.

Характер распределения случайной величины может характеризоваться графиком зависимости частоты появления самого события. Сходимость считается удовлетворительной при $p(\lambda_1) \geq 0,05$. Величина λ_1 определяется по формуле

$$\lambda_1 = D_{\max} \sqrt{\sum_{i=0}^s \zeta_i},$$

где D_{\max} – максимальное расхождение по модулю между накопленными частотами и вероятностями; ζ_i – частоты поступления подачи,

$$\sum_{i=0}^s \zeta_i = 25, \lambda_1 = 0,99\sqrt{25} = 4,96.$$

Среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^s (k_i - m)^2}{s}} = 3,37.$$

Коэффициент вариации равен

$$v = \frac{\sigma}{m} = 0,45.$$

Математическое ожидание простоя вагона под грузовыми операциями определяется по формуле

$$t = \frac{\sum_{p=0}^s p n_p t_p}{\sum_{p=0}^s p n_p}$$

и равно 4,4τ.

Полученные результаты имеют достаточный уровень сходимости с эмпирическими данными.

Для расчета графика передаточного движения или маневровых подач также может применяться методика статистического анализа данных о времени прибытия передач на станцию Саловский, грузовых фронтах предприятий, количестве вагонов и числе назначений в них [1]. Данные статистических выборок группируются по интервалам времени, обработка информации ведется по форме таблицы 4.

Таблица 4 – Статистические данные входящих вагонопотоков ППЖТ

Часы суток	Количество			Частость			
	передач	вагонов	назначений	передач	вагонов	назначений	$K_i / N_{\text{набл}}$
0–1	–	–	–	–	–	–	–
1–2	–	–	–	–	–	–	–
2–3	1	1	1	0,04	0,0085	0,0152	0,125
3–4	–	–	–	–	–	–	–
4–5	1	10	7	0,04	0,0847	0,1061	0,125
5–6	2	3	3	0,08	0,0254	0,0455	0,25
6–7	1	2	2	0,04	0,0169	0,0303	0,125
7–8	1	4	2	0,04	0,0339	0,0303	0,125
8–9	3	8	4	0,12	0,0678	0,0606	0,375
9–10	1	5	3	0,04	0,0424	0,0455	0,125
10–11	–	–	–	–	–	–	–
11–12	–	–	–	–	–	–	–
12–13	–	–	–	–	–	–	–
13–14	2	10	10	0,08	0,0847	0,1515	0,25
14–15	1	9	2	0,04	0,0763	0,0303	0,125
15–16	2	12	6	0,08	0,1017	0,0909	0,25
16–17	–	–	–	–	–	–	–
17–18	3	20	7	0,12	0,1695	0,1061	0,375
18–19	2	16	9	0,08	0,1356	0,1364	0,25
19–20	3	8	3	0,12	0,0678	0,0455	0,375
20–21	1	5	5	0,04	0,0424	0,0758	0,125
21–22	–	–	–	–	–	–	–
22–23	1	5	2	0,04	0,0424	0,0303	0,125
23–24	–	–	–	–	–	–	–
<i>Итого</i>	25	118	66	1	1	1	3,125

С учетом полученных данных обосновываются нитки графика передаточного движения. Определяется относительная частота поступления передач по интервалам группировки по отношению к заданному периоду наблюдений. По каждой ступенчатой фигуре рассчитывается координата ее центра тяжести по оси абсцисс по формуле

$$X_i = \frac{\sum_{i=1}^n F_i X_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$

где X_i – координаты i -го прямоугольника, входящего в состав ступенчатой фигуры с суммарной площадью 1,0; n – число прямоугольников в составе ступенчатой фигуры; F_i – площадь i -го прямоугольника данной фигуры.

Значение координаты, переведенное в часы, будет соответствовать нитке графика передаточного движения. Наибольшее значение частоты назначений приходится на 3 ч 05 мин, 8 ч 07 мин, 14 ч 53 мин и 18 ч 08 мин.

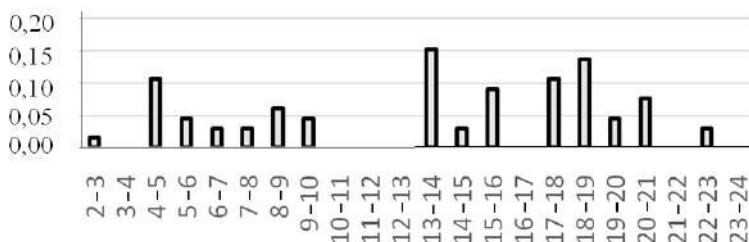


Рисунок 4 – Гистограмма распределения частоты назначений вагонов

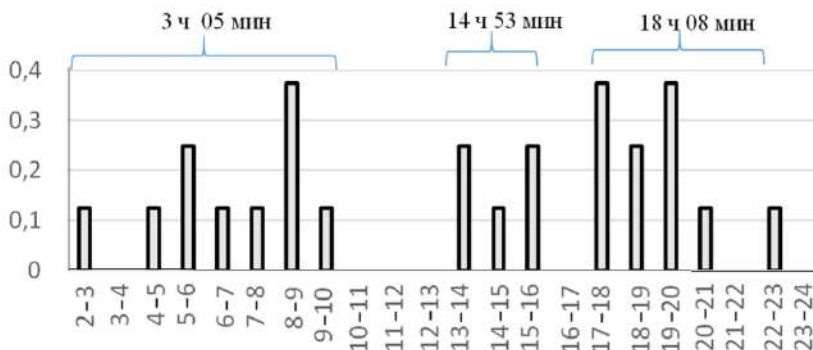


Рисунок 5 – Обоснование положения ниток графика передаточного движения

Таким образом, на примере предприятий ППЖТ полигона СКЖД посредством метода статистического анализа можно рассчитать времена ниток графика передаточного движения. При этом определяются значения оптимальных времен передаточного движения, позволяющие принимать решения, обеспечивающие формирование рационального плана подвода поездов и сокращение простоя местного вагона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Таха, Х. А. Введение в исследование операций : пер. с англ. / Х. А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.
- 2 Правдин, Н. В. Основы взаимодействия видов транспорта (примеры и расчёты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.
- 3 Сидяков, В. А. О задачах развития промышленного железнодорожного транспорта на период до 2030 года / В. А. Сидяков // Промышленный транспорт XXI век. – 2008. – № 2. – С. 3–6.

4 Алесинская, Т. В. Основы логистики. Функциональные области логистического управления / Т. В. Алесинская. – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2009. – 79 с.

5 СНиП 2.05.07-91. Промышленный транспорт / Минстрой России. – М. : ГП ЦПП, 1996. – 112 с. (зарегистрирован Росстандартом в качестве СП 37.13330.2010).

6 Числов, О. Н. Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах : [монография] / О. Н. Числов. – Ростов н/Д ; Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2009. – 294 с.

7 Мищенко, Н. Г. Теоретические основы повышения эффективности взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта: методология формирования и механизмы управления : [монография] / Н. Г. Мищенко. – Ростов н/Д : РГУПС, 2005. – 202 с.

I. V. RUCHKIN

OPTIONS JUSTIFICATION OF TRAIN PATHS OF TRANSFER TRAFFIC SCHEDULE AT THE STATIONS OF THE ENTERPRISES OF INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT

The dynamics of quantitative and qualitative indicators of enterprises of industrial railway transport (EIRT) in the area of the North Caucasus Railway is studied. A statistical analysis of railcar flows is presented, and histograms of arrivals and departures are plotted using the calculated frequencies of cars arrival and train paths of the transfer schedule. The values of the integral function of the EIRT transport operation assessment are determined.

Получено 06.11.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.21 + 06

О. Н. ЧИСЛОВ, А. М. ИЛЬИН, О. И. ВЕРЕВКИНА

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

o_chislov@mail.ru, am.ilin.83@mail.ru, uer@rgups.ru

РАСЧЕТ НОРМ ЗАКРЕПЛЕНИЯ СОСТАВОВ ПОЕЗДОВ НА СТАЦИОННЫХ ПРИЕМООТПРАВОЧНЫХ ПУТЯХ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕМЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ПРОДОЛЬНОГО ПРОФИЛЯ

Рассмотрены направления совершенствования методики расчета норм закрепления подвижного состава на станционных железнодорожных путях с переменным продольным профилем для разнородного подвижного состава, выявлены основные проблемы закрепления составов грузовых поездов, установлено наличие существенных различий в условной длине закрепляемых составов поездов с фактическим количеством физических вагонов. Разработана авторская схема алгоритма расчета норм закрепления подвижного состава, позволяющая повысить точность расчетов, наглядность результатов и безопасность станционных технологических процессов.

В связи с развитием экипажной части подвижного состава и снижением величин сопротивлений в узлах трения колесных пар вагонов возникает более актуальной становится проблема закрепления составов поездов на приемоотправочных путях железнодорожных станций. Объясняется это тем, что оборудованные роликовыми подшипниками вагоны потеряли способность самостоятельного удержания на станционных путях, которые, как известно, в основном сооружались для подшипников скольжения под профиль 0–2,5 ‰. Проблема усложняется для горных условий Северо-Кавказской железной дороги, имеющей крутые продольные профили станционных путей. Например, при весе состава 4000 тс на подшипниках скольжения действующая на него движущая сила от уклона 2,5 ‰ составляла 10 тс, а удерживающая сила от сопротивления вагонов была равна 18 тс. В результате состав удерживался с запасом в 8 тс. При оборудовании вагонов роликовыми подшипниками состав весом 4000 тс удерживается на пути с тем же уклоном с силой всего 4 тс.

Самым распространенным и простым средством закрепления подвижного состава на сети дорог является тормозной башмак. Укладка тормозных башмаков производится вручную и его значительный вес (до 7 кг) является существенным недостатком. В настоящее время существующие методические указания по расчету норм закрепления требуют совершенствования в части методики определения количества тормозных башмаков из-за переменных параметров продольных профилей путей приема и отправления (рисунок 1), ввода в эксплуатацию новых типов подвижного состава, имеющих различную базу и длину.

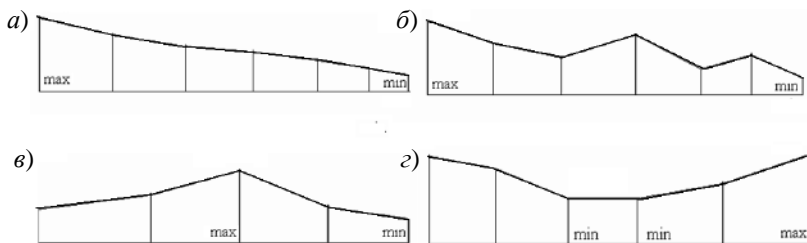


Рисунок 1 – Виды продольных профилей железнодорожных путей:
a – монотонный; *б* – пилообразный; *в* – выпуклый; *з* – вогнутый

Известно, что продольные профили железнодорожных путей подразделяются на монотонные, пилообразные (ломаные), выпуклые («гора»), вогнутые («яма») [1]. На примере путевого развития сортировочной станции «Л» установлено, что из общего количества приемоотправочных путей примерно половина имеет продольный профиль типа «гора» или «яма», а в оставшейся части пути имеют пилообразный профиль. Только 10–15 % путей имеют монотонный продольный профиль.

Согласно [2], а также инструкции по движению поездов и технико-распорядительному акту станции должны выполняться следующие условия:

- поезд, прибывший на станцию, останавливается так, чтобы локомотив находился непосредственно у границы полезной длины пути (выходного или маршрутного светофора, предельного столбика, изолирующего стыка), и расстояние от этой границы до первого вагона было не более длины поездного локомотива, так как именно от этой точки начинается расчет среднего уклона и нормы закрепления состава поезда;

- состав поезда, выставаемый для отправления, устанавливается от границы полезной длины пути на расстоянии, не более длины поездного локомотива;

- при маневрах вагоны устанавливаются непосредственно у границы полезной длины пути в той его стороне, где работает маневровый локомотив;

- в случаях прибытия на станцию поезда, не вмещающегося в границах полезной длины пути (длинносоставного, повышенной длины), средний уклон рассчитывается с учетом занятия этим составом части стрелочной горловины станции.

Для закрепления подвижного состава на железнодорожных путях при выполнении условий, определенных инструкцией по движению поездов, используются тормозные башмаки, а также стационарные устройства, предназначенные для закрепления вагонов, или другие устройства закрепления. При этом необходимо руководствоваться следующими правилами:

- при расположении подвижного состава на горизонтальных железнодорожных путях и путях с уклонами до 0,5 % включительно закрепление производится при помощи двух тормозных башмаков, укладываемых по одному тормозному башмаку с каждой стороны для закрепления любого количества вагонов (состава, группы вагонов или одиночного вагона);

- на железнодорожных путях с уклонами более 0,5 % нормы закрепления определяются для одиночных вагонов, либо составов или групп вагонов по формуле

$$K = n(1,5i + 1) / 200, \quad (1)$$

где K – потребное количество тормозных башмаков, шт; n – количество осей закрепляемой группе, шт; i – средняя величина уклона пути железнодорожного пути, на котором производится закрепление вагонов, %; $(1,5i + 1)$ – количество тормозных башмаков на каждые 200 осей.

В случае укладки тормозных башмаков под порожние вагоны смешанного состава, состоящего из разнородных по весу вагонов, либо под вагоны с нагрузкой менее 15 т брутто на ось, которые не являются самыми тяжелыми в группе, либо под вагоны с неизвестной нагрузкой на ось, применяется рекомендуемая [3] формула

$$K = n(4i + 1) / 200. \quad (2)$$

В настоящее время количество тормозных башмаков, необходимое для закрепления подвижного состава, как правило, определяется при помощи автоматизированной системы расчета норм закрепления. В случае получения количества тормозных башмаков, отличного от целого, результат округляется до большего целого числа. Существует правило увеличения нормы закрепления подвижного состава, определенного при помощи вышеуказанных формул в 1,5 раза (в случае закрепления подвижного состава на железнодорожных путях с сильно замасленными поверхностями рельсов, на железнодорожных путях погрузки наливных грузов, очистки и промывки цистерн и т. п.).

Нормы закрепления составов поездов или групп вагонов при полном использовании полезной длины железнодорожного пути с переменным продольным профилем, определяются по средней величине уклона данного железнодорожного пути. В случае, если закрепление подвижного состава производится на отдельных участках железнодорожных путей, то нормы закрепления тормозными башмаками должны рассчитываться исходя из фактической величины уклона данного участка.

Однако на практике существующий способ определения норм закрепления подвижного состава имеет такие недостатки, как многовариантность расчетов, вызывает появление ошибки при вводе данных, слабый учет местных технологических особенностей работы станции, отсутствие методики определения количества тормозных башмаков, необходимых для закрепления подвижного состава, состоящего из разнородных вагонов. Эти недостатки увеличивают риски несанкционированного движения подвижного состава.

Рассмотрим некоторый путь, имеющий профиль «гора» (рисунок 2).

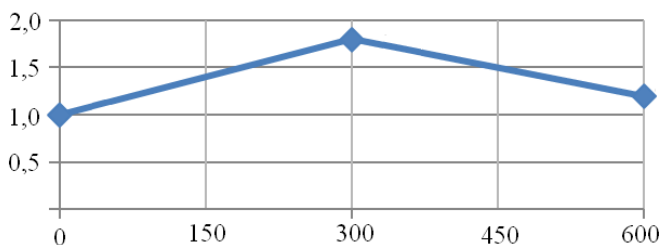


Рисунок 2 – Вариант продольного профиля приемоотправочного пути

При условии расположения подвижного состава в нечетной горловине существующий способ расчета дает результаты, определяющие необходимое для закрепления подвижного состава количество тормозных башмаков (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – Расчет количества тормозных башмаков для закрепления грузового поезда

Сторона закрепления	Количество тормозных башмаков	Количество осей	
		Норма по формуле (1)	Норма по формуле (2)
<i>из полувагонов длиной 14 м</i>			
С нечетной стороны	1	50	22
	2	100	44
	3	284	66
	4	–	88
	5	–	110
	6	–	284
С четной стороны	0	114	114
	1	194	154
	2	274	194
	3	284	234
	4	–	274
<i>из 8-осных цистерн</i>			
С нечетной стороны	1	50	22
	2	100	44
	3	374	66
	4	–	88
	5	–	110
	6	–	132
	7	–	374
С четной стороны	0	150	150
	1	230	190
	2	310	230
	3	374	270
	4	–	310
	5	–	350
	6	–	374

Из таблицы 1 видно, что для закрепления состава, состоящего только из полувагонов длиной 14 м общим количеством 144 оси разнородного подвижного состава, необходимо 6 тормозных башмаков с нечетной стороны и 1 тормозной башмак с четной стороны, тогда как для закрепления состава, состоящего только 8-осных цистерн количеством осей равном 144, требуется уже 7 тормозных башмаков с нечетной стороны. С четной стороны закрепление подвижного состава не требуется.

При закреплении полувагонов с нечетной стороны требуется меньшее количество тормозных башмаков, чем для 8-осных цистерн, но для цистерн с четной стороны укладка тормозного башмака уже не требуется, тогда как

для состава из полувагонов требуется укладка одного тормозного башмака. Для состава, состоящего, например, из 40 % полувагонов и 60 % 8-осных цистерн, подобный расчет в настоящее время не производится, и работнику, отвечающему за определение норм закрепления, нечем руководствоваться при принятии соответствующих решений. Если производить закрепление состава из 8-осных цистерн указанного соотношения рода вагонов, то при расположении подвижного состава на переломе профиля существует риск саморасцепа с последующим несанкционированным движением подвижного состава. Если производить закрепление, как для состава из полувагонов, то с нечетной стороны количество укладываемых тормозных башмаков, необходимых для закрепления, оказывается недостаточным.

Результаты выполненного анализа соотношения условных длин поездов, закрепленных на станции, с количеством физических вагонов, из которых состояли прибывшие поезда, представлены в таблице 1. Таким образом, существующая методика расчета закрепления обеспечивает корректный расчет только для 37,4 % поездов. Вероятность нарушений безопасности движения увеличивается с ростом разницы между условной длиной закрепляемого состава и количеством физических вагонов.

Для решения данных проблем предлагается разработать электронный журнал учета закрепления подвижного состава. На основе авторского алгоритма определяются нормы закрепления подвижного состава (рисунок 3) исходя из количества осей и условной длины всего закрепляемого поезда.

Предлагается учитывать следующие условия расчета:

- в случае, когда известно местоположение подвижного состава (закрепление от границы полезной длины пути, в том числе за вычетом длины локомотива) и подвижной состав состоит из разнородных вагонов, различных по длине, алгоритм расчета, заложенный в электронный журнал, использует подсчет фактического значения средней величины участка пути, на котором расположен подвижной состав;

- в случае расположения подвижного состава в произвольном месте пути алгоритмом производится определение наибольшей величины уклона, на котором возможно расположение закрепляемого состава путем перебора элементов продольного профиля пути.

После выбора условия количество тормозных башмаков определяется по формулам (1) и (2). Таким образом, при учете переменных параметров подвижного состава поездов и продольного профиля приемоотправочных путей станции снижаются риски ошибок определения норм закрепления вагонов.

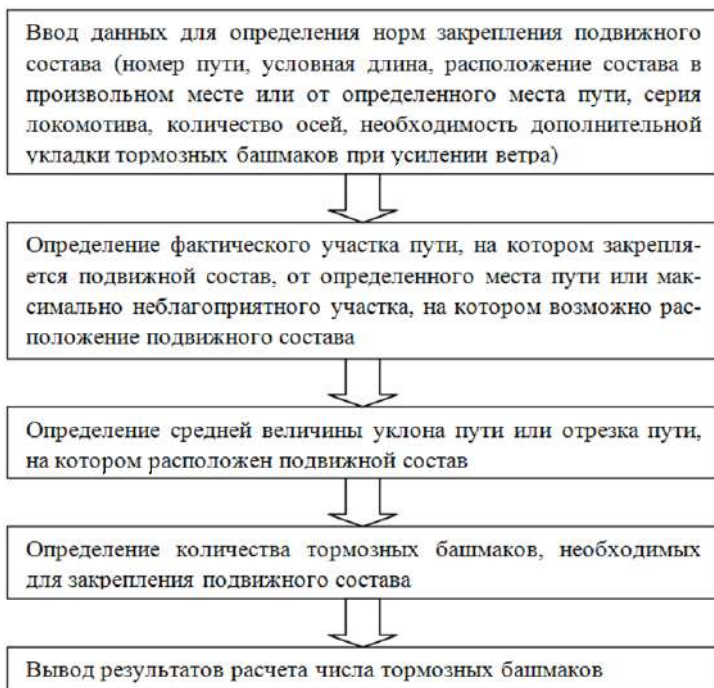


Рисунок 3 – Схема алгоритма расчета закрепления подвижного состава

В алгоритме расчета, заложенном в электронном журнале новой формы, имеется возможность корректировки количества тормозных башмаков, необходимых для закрепления подвижного состава при сильном или штормовом ветре, с автоматической окраской ячеек журнала при несоответствии количества записанных при укладке тормозных башмаков и указанных в докладе об уборке. Если значение уклона пути превышает 2,5 ‰, то выводится предупреждающее сообщение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила и технические нормы проектирования станции и узлов на железных дорогах колеи 1520 мм. – М. : Техинформ, 2001. – 256 с.
2. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации : утв. приказом Минтранса России 21.12.2010 № 286. – М. : ТРАНСИНФО ЛТД, 2016. – 287 с.
3. Методические указания по расчету и применению норм закрепления подвижного состава тормозными башмаками на станционных путях : утв. приказом ОАО «РЖД» 31.01.2005 № ЦДТ-32. – М. : ТЕХИНФОРМ, 2005. – 46 с.

O. N. CHISLOV, A. M. ILIN, O. I. VEREVKINA

CALCULATION OF THE NORMS OF IMMOBILISATION OF TRAINS ON RECEIVING AND DEPARTURE STATION TRACKS UNDER VARIABLE PARAMETERS OF ROLLING STOCK AND PROFILE ELEVATION

The ways of improving the method of calculating the norms of rolling stock immobilization on station tracks with variable elevation profile for heterogeneous rolling stock are considered. The main problems of freight trains immobilization are identified. Significant differences between the conventional length of immobilized trains and the real number of cars are stated. The authors have developed a scheme for calculating the norms for rolling stock immobilizing, which makes it possible to improve the accuracy of calculations, the visibility of the results and the safety of station-based technological processes.

Получено 13.11.2018.

**ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития
железнодорожных станций и узлов. Гомель, 2019**

УДК 656.22 + 06

O. N. ЧИСЛОВ, А. С. КРАВЕЦ

*Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)
o_chislov@mail.ru*

АКТУАЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЗЕРНОВЫХ ГРУЗОВ

Рассматривается транспортно-технологическая система организации перевозок зерновых грузов на полигоне Северо-Кавказской железной дороги. На основании АВС-анализа произведено ранжирование элеваторов по емкости и производительности для выявления возможностей их консолидации и более эффективного использования в транспортных процессах. С помощью гравитационной модели произведено объединение малых элеваторов с более крупными. В результате исследования введен показатель динамики грузовой массы, позволяющий группировать элеваторы в зависимости от поставленной задачи при организации перевозок зерновых грузов.

Развитие отраслей промышленности ставит перед транспортной наукой всё больше задач по рациональному перемещению различных родов грузов и эффективному использованию имеющихся мощностей инфраструктуры. Традиционно для России важной отраслью остается сельское хозяйство, производящее зернопродукты. Отметим, что зерновые грузы являются не

только важным стратегическим продуктом, но и одним из товаров, успешно экспортируемым в больших объемах (таблица 1).

Т а б л и ц а 1 – Ресурсы и использование зерна (без продуктов переработки) по Российской Федерации [1]

В миллионах тонн

Показатель	Период						
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	Январь – март 2018
<i>Ресурсы</i>							
Запасы на начало года	59,0	43,1	52,6	60,2	64,8	77,2	88,7
Производство (валовой сбор в весе и после доработки)	70,9	92,4	105,3	104,8	120,7	135,4	–
Импорт	1,2	1,5	0,9	0,8	1,0	0,7	0,2
Итого ресурсов	131,1	137,0	158,8	165,8	186,5	213,3	88,9
<i>Использование</i>							
Производственное потребление	20,5	20,0	21,0	20,9	22,4	23,5	3,3
Потери	1,1	1,2	1,0	1,1	1,2	1,2	0,2
Экспорт	22,5	19,0	30,1	30,7	33,9	43,3	12,6
Фонд потребления	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,0
Запасы на конец года	43,1	52,2	60,2	64,8	77,2	88,7	59,3

Инфраструктурная цепочка, обеспечивающая доставку зерновых грузов от производителя к потребителю, в том числе в порты для осуществления погрузки на экспорт, включает в себя базисные, перевалочные, фондовые, производственные, портовые, линейные и другие типы элеваторов, с помощью которых осуществляется сушка, сортировка, хранение, накопление, перевалка с одного вида транспорта на другой. Отметим, что на полигоне Северо-Кавказской железной дороги располагаются глубоководные порты Новороссийск и Туапсе, а также малые порты Азово-Черноморского бассейна, через которые осуществляется большой объем экспорта зерна (таблица 2). Для бесперебойной работы портов необходима четкая организация подвода грузов и формирование судовых партий на подходах к ним.

Повышение эффективности функционирования транспортно-технологических систем для зерновых грузов предполагает рациональное размещение различных видов элеваторов, а также повышение качества их работы в пределах конкретных логистических цепочек для того или иного транспортного процесса. Причем, например, логистические цепочки для экспорта и импорта зерновых грузов в части использования различных типов элеваторов существенно отличаются (рисунок 1).

Мощность элеватора определяется большим количеством различных факторов, среди которых важными при формировании транспортного процесса являются интенсивность и возможность погрузки-выгрузки различными видами транспорта, емкость хранилищ E и срок хранения зерна $T_{\text{хр}}$.

Т а б л и ц а 2 – Прогноз экспорта зерна в 2017–2018 гг. [2]

В тысячах тонн

Порт (погранпереход)	2015–2016	2016–2017	2017–2018	2017–2018, %
Малые порты АЧБ	10636	10698	11300	+6
Новороссийск	9781	12241	17200	+41
Туапсе	2183	1557	2700	+73
Тамань	3284	3296	3850	+17
Кавказ	2732	3019	3850	+28
Порты Балтики	1866	1489	2100	+41
Шиповка, Светлый (КЛГ)	1025	822	1100	+34
Порты Прибалтики	841	666	1000	+50
Азербайджан, Грузия	1232	1424	1550	+9
Порты Каспия	1254	1122	2050	+83
Порты Крыма	249	222	240	+8
Прочие направления	693	356	1250	+251
<i>Итого</i>	33910	35423	46090	+30

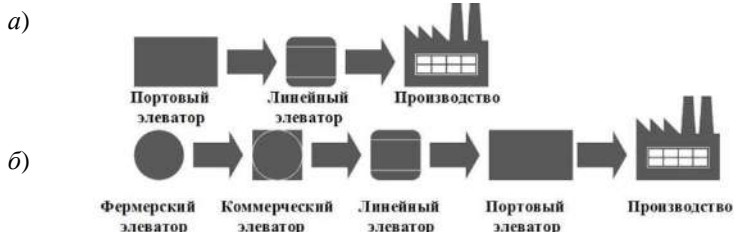


Рисунок 1 – Транспортно-технологическая цепочка импорта и экспорта зерна:
а – импорт; б – экспорт

Отметим, что наиболее длительным сроком хранения зерна обладают фондовые и линейные элеваторы (рисунок 2).

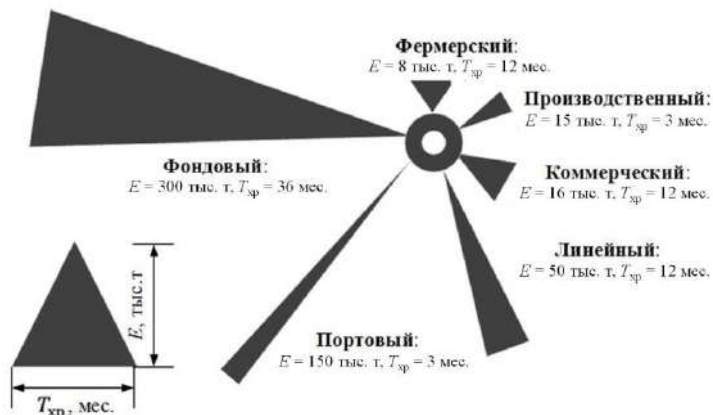


Рисунок 2 – Распределение элеваторов по типам, показателям емкости и длительности хранения зерна

Для организации эффективных цепей поставок кроме непосредственно транспортно-логистических особенностей маршрута необходимо оценить инфраструктурные возможности транспортной системы, которым относятся емкость хранилищ элеваторов, задействованных в конкретном транспортном процессе, их производительность, пропускные способности участков и направлений. Указанные особенности инфраструктуры определяют возможности хранения и предел интенсивности погрузки-выгрузки зерновых грузов, срок транспортировки, что, в свою очередь, определяет характеристики длительности операций, включаемых в логистические транспортные цепочки.

Рассмотрим инфраструктурные особенности транспортировки зерновых грузов Южного региона России. Целью данного исследования является выявление элеваторов (накопительных мощностей), на базе которых возможно создание транспортных зерновых кластеров для организации экспортных перевозок зерновых грузов. Задачи исследования включают ранжирование элеваторов, расположенных на полигоне СКЖД, выявление факторов, определяющих функциональные перспективы зернохранилищ в планируемых цепях поставок, выявление наиболее подходящих для цели исследования объектов инфраструктуры. Решение поставленных задач обеспечивается методами АВС-анализа, выборочным, гравитационным Шеффлера – Вебера и сравнения.

Известно, что в пределах Северо-Кавказской железной дороги, включающей несколько регионов, которые являются крупными производителями зерновых на территории Российской Федерации, расположено большое количество элеваторов различной мощности (рисунок 3). Разнообразие, количество и распыленность элеваторов представляют сложность при выборе наиболее эффективных пунктов накопления груза для последующей его транспортировки в адрес глубоководных и малых портов Юга России, распределения функций с точки зрения их влияния на величину транспортного потока.

Расчетная выборка состоит из сведений о 102 элеваторах, расположенных на полигоне Северо-Кавказской железной дороги и имеющих железнодорожные подъездные пути емкостью от 42 до 300 тыс. т производительностью 360–3180 т/сут (рисунки 4, 5).

Установлено, что зернохранилища большой емкости при небольшой производительности фронтов погрузки позволяют обеспечить длительное хранение партий зерна при малой транспортной подвижности груза, а элеваторы, имеющие большую производительность, оказывают значительное влияние на интенсивность и плотность грузопотоков транспортной сети при их слабой концентрации.

Для выявления наиболее перспективных с точки зрения транспортной логистики элеваторов выполнен соответствующий АВС-анализ [3]. В ходе исследования выявлена независимость параметров производительности и

емкости элеваторов. Чтобы учесть обе указанные характеристики элеваторов, ранжирование с помощью ABC-анализа проведено отдельно по емкости и производительности (таблица 3).

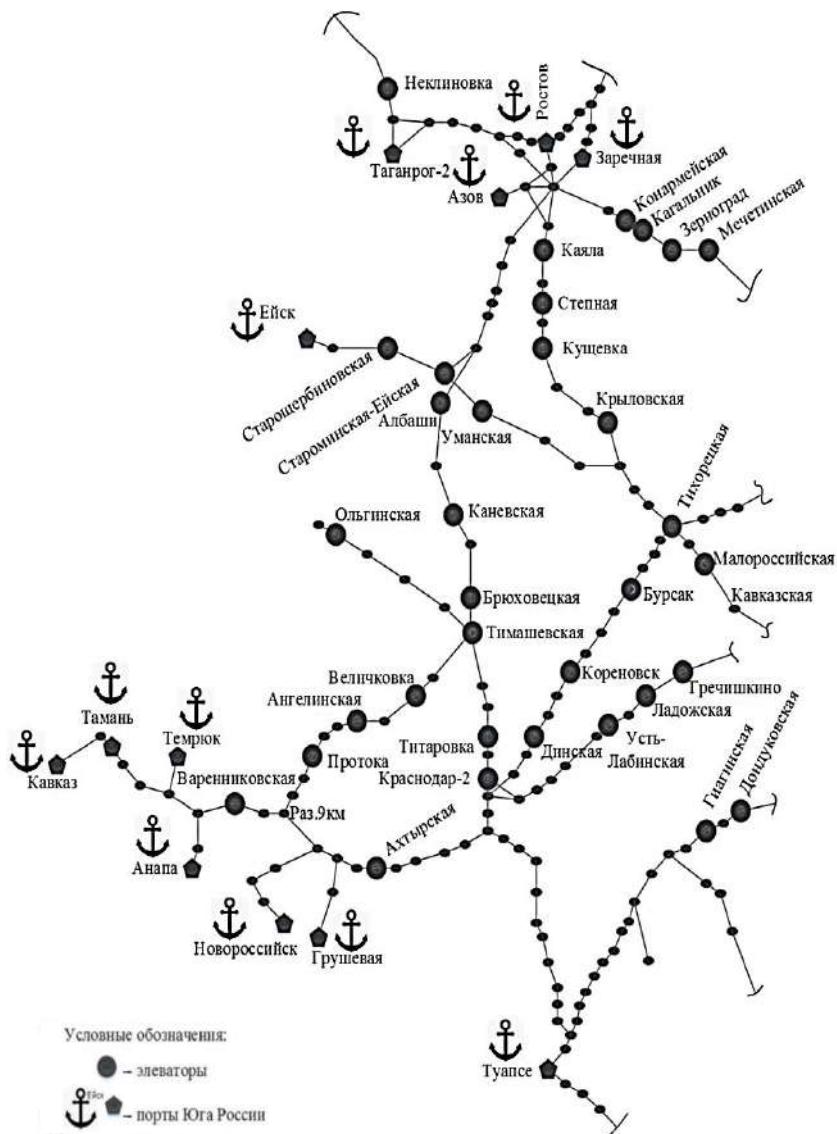


Рисунок 3 – Размещение элеваторов на выделенном полигоне Северо-Кавказской железной дороги

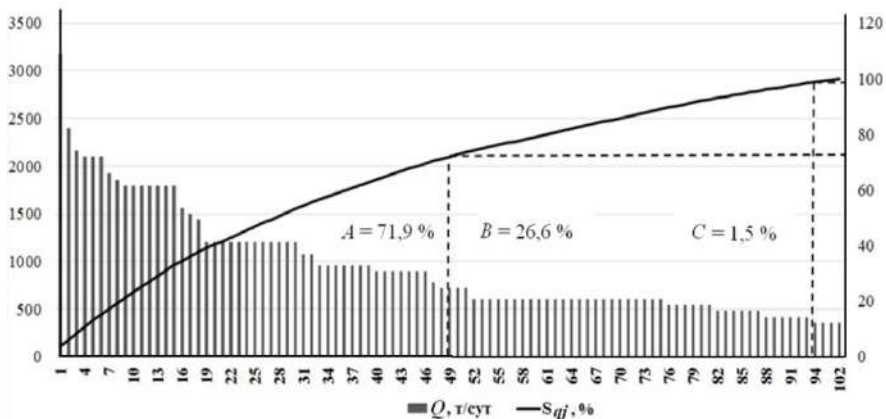


Рисунок 4 – ABC-анализ элеваторов по производительности

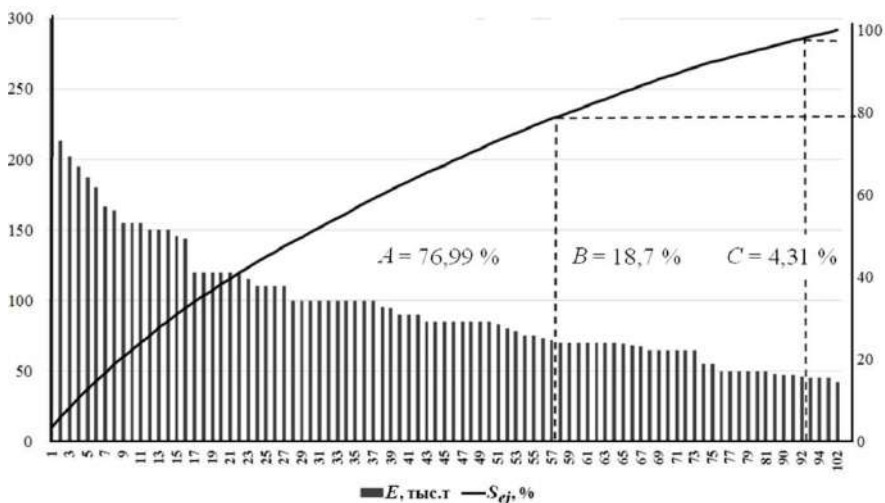


Рисунок 5 – ABC-анализ элеваторов по емкости

В результате ABC-анализа элеваторы разделены на группы: A – крупнейшие и крупные элеваторы; B – средние; C – малые элеваторы. В группе A определились две подгруппы, границу между которыми предлагается определить по наибольшей разнице между соседними значениями выборки:

$$\Delta E_i = E_i - E_{i+1}$$

или

$$\Delta Q_i = Q_i - Q_{i+1},$$

где ΔE_i , ΔQ_i – разница между соседними значениями выборки емкости и производительности соответственно; E_i – емкость i -го элеватора; Q_i – производительность транспортного оборудования i -го элеватора.

Т а б л и ц а 3 – *ABC*-анализ элеваторов на полигоне СКЖД по производительности

Местоположение элеватора на полигоне (станция)	Критерий классификации Q , т/сут	Удельный вес q_j , %	Нарастающий итог, Sq_j , %	Классификационная группа
<i>По производительности</i>				
Белоглинская	3180	3,43	3,43	<i>A</i>
Зеленокумск	2160	2,33	5,76	<i>A</i>
Буденновск	2100	2,27	8,03	<i>A</i>
Крыловская	2100	2,27	10,29	<i>A</i>
...
Георгиевск	720	0,78	72,02	<i>B</i>
Старомарьевская	720	0,77	72,79	<i>B</i>
Сулин	720	0,77	73,57	<i>B</i>
Андреедмитриевка	600	0,65	74,22	<i>C</i>
Варениковская	600	0,64	74,87	<i>C</i>
...
Красная Гвардия	360	0,39	100	<i>C</i>
<i>По емкости</i>				
Целина	300	3,48	3,48	<i>A</i>
Благодарное	213	2,47	5,94	<i>A</i>
Белоглинская	202	2,34	8,29	<i>A</i>
Ипатово	195,1	2,26	10,56	<i>A</i>
...
Прохладная	78	0,90	75,01	<i>B</i>
Пролетарская	75	0,86	75,88	<i>B</i>
Черкесск	75	0,87	76,75	<i>B</i>
Тихорецкая	73	0,85	77,60	<i>C</i>
Уманская	71,7	0,83	78,43	<i>C</i>
...
Гулькевичи	42	0,49	100	<i>C</i>

Для сокращения объема выборки исследуемых объектов и формирования классификационной схемы зерновых кластеров предлагается малые элеваторы группы *C* объединить с крупными групп *A* и *B*. С этой целью использована соответствующая модификация гравитационных моделей Шеффле – Вебера [4].

Для характеристики меры «тяготения» элеваторов используем дробно-степенную функцию гравитационной модели

$$W_{ij} = \alpha \frac{\sum_1^i Q_i \sum_1^j Q_j}{l_{ij}^2},$$

или

$$W_{ij} = \alpha \frac{\sum_1^i E_i \sum_1^j E_j}{l_{ij}^2},$$

где W_{ij} – величина транспортного потока между объектами транспортно-технологической системы, Q_i, Q_j – производительность транспортного обслуживания i -го и j -го элеваторов, l_{ij} – расстояние между i -м и j -м элеваторами, E_i, E_j – емкости i -го и j -го элеваторов, α – коэффициент пропорциональности, который определяется по формуле

$$\alpha = \frac{Q_{\min}}{Q_{\max}}$$

или

$$\alpha = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}.$$

Чем больше величина показателя W_{ij} , тем устойчивее транспортные связи между элеваторами. Пример расчета показателя «тяготения» представлен в таблицах 4 и 5.

Т а б л и ц а 4 – Величины гравитационных связей зернохранилищ для объединения объектов группы С (расчет по производительности)

В тоннах в сутки на км²

Станция отправления	Станция тяготения					
	Каневская	Старо-минская	Уманская	Каяла	Конар-мейская	Неклиновка
Албаши	367,35	864	42,81	4,99	4,55	3,72
	Лихая	Сулин	Шахтная			
Зверев	281,25	349,03	54,69			
	Старо-минская					
Старощербиновская	495,87					
	Ангелинская	Тима-шевская				
Величковка	803,31	426,03				
	Шахтная	Каяла	Конар-мейская	Старо-минская	Албаши	Неклиновка
Хотунок	58,33	11,52	9,64	15,41	1,87	5,14

Т а б л и ц а 5 – Величина гравитационных связей зернохранилищ для объединения объектов группы С (расчет по емкости)

В тысячах тонн на км²

Станция отправления	Станция тяготения				
	Передовая	Темижбекская			
Расшеватка	4,44	1,1			
	<i>Матвеев Курган</i>				
Успенская	8,53				
	<i>Лихая</i>	<i>Тацинская</i>			
Васильевский	0,71	1,01			
	<i>Ахтырская</i>	Протока			
Варениковская	0,89	0,32			
	Тимашевская	<i>Ангелинская</i>			
Величковка	4,44	7,18			
	<i>Прохладная</i>	Наурская			
Докшукино	1,18	0,145			
	<i>Степная</i>	Конармейская	Неклиновка	Албаши	Старо-минская
Каяла	4,8	0,43	0,192	0,07	0,22
	<i>Кавказская</i>	Расшеватка			
Темижбекская	3,36	1,101			
	<i>Шептуховка</i>				
Чертково	3,69				
	<i>Лихая</i>	Шахтная	<i>Сулин</i>		
Зверев	0,69	0,607	3,6		
	<i>Степная</i>	Крыловская			
Кущевка	4,13	1,5			
	<i>Каменная</i>	Васильевский	Зверев	Сулин	Шахтная
Лихая	2,26	0,71	0,69	0,703	0,27
	<i>Мальчевская</i>	Тарасовка			
Миллерово	2,89	2,25			

В таблицах 4 и 5 курсивом выделены станции с максимальным показателем «тяготения».

Анализ гравитационных связей показал наиболее эффективные варианты объединения малых элеваторов (группа С) с более крупными (таблица 6).

На основе объединения зернохранилищ (элеваторов) выполнен сравнительный анализ полученных групп. По соотношению емкости к производительности все исследуемые элеваторы можно разделить на три группы: равные, по емкости выше, чем по производительности; по емкости ниже, чем по производительности.

Таблица 6 – Результаты скорректированного ABC-анализа элеваторов

Показатель	Группа			
	А		В	С
	Крупнейшие	Крупные	Средние	Малые
Емкость, тыс. т	120–300	70–115,8	42–69	20–40
Производительность, т/ч	1440–3180	720–1200	360–600	180–300

Для выделения потенциальных зерновых кластеров (узлов) на базе элеваторов зерновых грузов предлагается использовать элеваторы, которые имеют одинаковые группы, присвоенные в результате ABC-анализа по емкости и производительности, а также те, которые относятся к крупнейшим и крупным. В число таких элеваторов, вошли зернохранилища, расположенные на железнодорожных станциях Ангелинская, Белоглинская, Благодарное, Ипатово, Целина. Крупные элеваторы расположены на железнодорожных станциях Атаман, Ея, Каневская, Коноково, Кума, Курсавка, Лабинская, Малороссийская, Маслов Кут, Моздок, Морозовская, Ремонтная, Сулин, Тимашевская, Трубецкая.

При организации перевозок зерновых грузов особое значение имеет факт сезонности и колебание цен на мировом рынке зерна. В момент повышения цены на зерно резко увеличивается количество заявок на перевозку зерновых грузов. По причине требуемой оперативности организации перевозок зерна на экспорт для хранения партий зерна желательно использовать элеваторы с большой емкостью и производительностью.

Предлагаемый показатель величины динамики грузовой массы определяется коэффициентом $k_{\text{дм}} = E_i / Q_i$, который позволяет рассчитать параметры элеваторов с необходимой пропорцией емкости E и производительности Q . Для различных элеваторов рассчитаны значения динамики грузовой массы (рисунок 6).

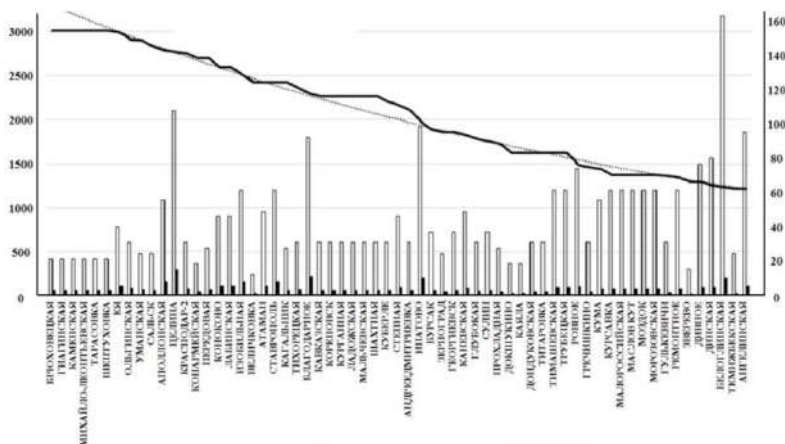


Рисунок 6 – Динамика грузовой массы элеваторов

Сплошной линией на рисунке 6 показана зависимость $k_{\text{дгм}}$ от E и Q , пунктирной – соответствующая сглаженная экспоненциальная кривая. В результате получено, что при

$$\begin{aligned}k_{\text{дгм}(\text{min})} f(E, Q) &= 62,25, \\k_{\text{дгм}(\text{max})} f(E, Q) &= 154,76\end{aligned}$$

большая часть элеваторов имеет по ABC-анализу группы, совпадающие или по емкости выше, чем по производительности.

Таким образом, для анализа инфраструктуры зернохранилищ при организации железнодорожных перевозок необходимо комплексное исследование нескольких определяющих факторов: емкости, производительности и динамики грузовой массы. Это позволит выделить соответствующие региональные области концентрации груза, являющиеся специфическими зерновыми кластерами, и исследовать их с точки зрения транспортно-технологических особенностей организации экспортных перевозок на припортовые грузовые станции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Всероссийская сельскохозяйственная перепись 2016 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gks.ru>. – Дата доступа : 20.10.18.

2 Рубинчик, Е. Рынок железнодорожных перевозок зерна и инфраструктура. Вторая половина сезона рекордов // Зерно России : II сельскохозяйственный форум [Электронный ресурс] / Е. Рубинчик. – Краснодар. – Режим доступа : [http:// www.rusagrotrans.ru/upload/](http://www.rusagrotrans.ru/upload/) Форум. – Дата доступа: 20.10.18.

3 Логистика / В. В. Дыбская [и др.]. – М. : Эксмо, 2013. – 944 с.

4 Числов, О. Н. Модифицированный гравитационный метод в размещении распределительных терминалов портовых железнодорожных транспортно-технологических систем / О. Н. Числов, В. Л. Люц // Инженерный вестник Дона. – 2012. – Т. 23. – № 4–2 (23). – С. 82.

O. N. CHISLOV, A. S. KRAVETS

EFFICIENCY INCREASE ISSUES OF TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL SYSTEMS FOR GRAIN FREIGHT FORWARDING

The transport and technological system for organizing the transportation of grain freight in the area of the North Caucasus Railway is considered. Based on the ABC analysis, the elevators were ranked by capacity and productivity to identify the options for their consolidation and more efficient use in transport processes. Using the gravity model, small elevators were combined with larger elevators. As a result of the study, an indicator of the dynamics of the freight volume was introduced, which allows to group the elevators, depending on the task, when organizing the grain freight transportation.

Получено 22.11.2018.

УДК 656.21

Д. Н. ШКАНДЫБИН

Российский университет транспорта (МИИТ)

dmitriy10-87@mail.ru

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ГРУЗОВОГО ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ДВИЖЕНИЯ

Статья посвящена анализу состояния грузовых перевозок на высокоскоростном железнодорожном транспорте для стран Европейского союза, России и Китая. Показаны перспективы развития сфер грузовых и пассажирских перевозок в соответствии с программами развития стран-участниц. На основе анализа показана экономическая целесообразность реализации проекта.

Грузовые перевозки на железнодорожном транспорте оправдывают себя в том случае, если предъявляются большие партии специализированных грузов (опасных, крупногабаритных, тяжеловесных). При этом пункты погрузки-выгрузки располагаются в непосредственной близости от железнодорожных путей, а доставка осуществляется на большие расстояния с не критичным временем доставки.

В настоящее время товарный рынок представлен широким номенклатурным количеством продукции, не имеющей больших объемов и требующей минимальных сроков доставки. Критерии к доставке изменились с появлением таких торговых платформ, как eBay, AliExpress, Taobao, Banggood, TipyDial и др. Поэтому эффективность современной модели перевозки грузов основывается на высокой скорости доставки, сохранности грузов и сервисе высокого класса, обеспечиваемого строительством современных терминально-логистических комплексов для интермодальных перевозок с роботизированной обработкой грузов, жестких нитках графика движения, конкурентоспособном тарифе по сравнению с другими видами транспорта.

Грузовые поезда высокоскоростных магистралей (ВСМ) способны реализовывать свои преимущества, успешно конкурируют с обычными железнодорожными перевозками и воздушным транспортом. Официальное начало высокоскоростного движения положено в 1964 году в Японии. Максимальная скорость движения составила 200 км/ч. Строительство высокоскоростной магистрали «Токайдо» послужило отправной точкой в мировом развитии высоких скоростей. Спустя годы высокоскоростные магистрали появились в Европе, а в последние годы лидирующие позиции по строительству ВСМ принадлежат Китайской Народной Республике. На Россий-

ских железных дорогах также развивается высокоскоростное движение. Осуществление высокоскоростного грузового движения на участке Москва – Казань, а в перспективе – до Екатеринбурга обеспечит дальнейшую реализацию проекта «Евразия», основными участниками которого станут национальные железнодорожные компании, в числе которых ОАО «Российские железные дороги», компания «Китайские железные дороги», АО НК «Қазақстан темір жолы», ГО «Белорусская железная дорога», ведущие строительные компании и разработчики высокоскоростного подвижного состава России, Китая и Европы, национальные и международные финансовые институты. В рамках подготовки технико-экономического обоснования проекта были проанализированы основные статьи доходов и расходов, возможная структура финансирования, экономическая эффективность, ключевые бюджетные и социально-экономические эффекты от его реализации.

Проведенный анализ грузовых перевозок ВСМ включал оценку тарифной политики с учетом альтернативных вариантов транспортировки автомобильным, воздушным и морским видами транспорта. По предварительным прогнозам при условии реализации проекта ВСМ «Евразия» в 2030 году объем пассажирских перевозок составит около 20,5 млн чел. в год (в том числе 16,8 млн пассажиров на направлениях ВСМ по России и ЕврАзЭС), к 2050 году объемы перевозок пассажиров могут достичь 36,9 млн чел.

Общая протяженность ВСМ «Евразия» в пределах Евразийского экономического сообщества на участке Брест – Достык составляет 4 851 км, в том числе по территории Российской Федерации – 2 366 км. Общие капитальные затраты по проекту составляют 7,08 трлн руб.

Коридор, соединяющий Китай и Европу и проходящий по территории России, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Трассировка соединительного коридора

Сроки реализации проекта, представленные АО «Скоростные магистрали», показаны на рисунке 2.

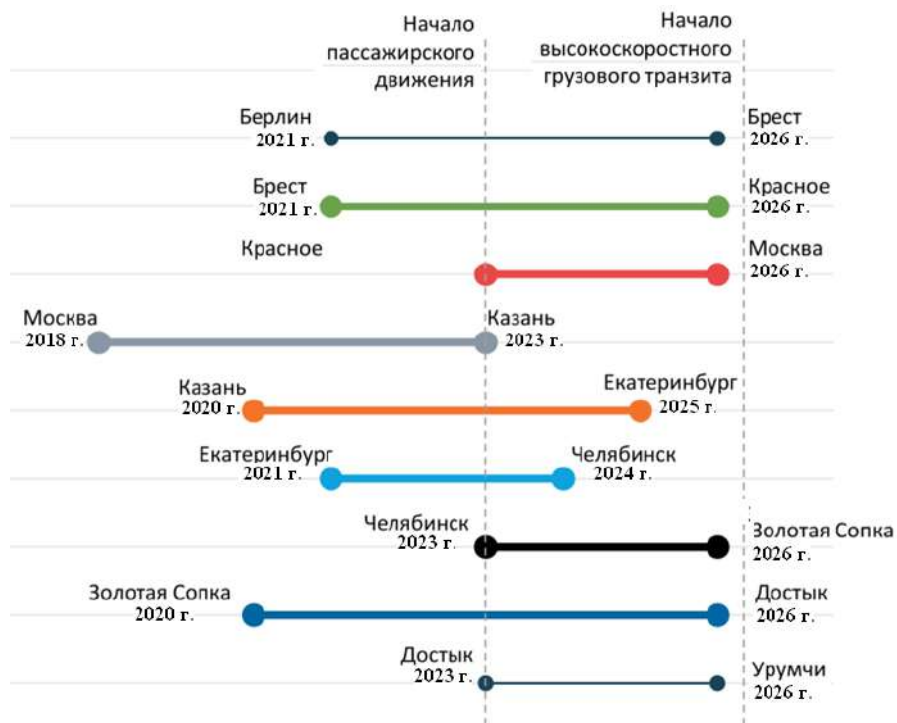


Рисунок 2 – График строительства ВСМ «Евразия»

Данный проект соответствует программам развития стран-участниц:

- России (согласно транспортной стратегии до 2030 г., прогнозу социально-экономического развития до 2030 г., генеральной схеме развития сети железных дорог ОАО «РЖД» на период 2020–2025 гг.);
- Китая, реализующего глобальную инициативу КНР «Один пояс – один путь», подписанную в мае 2015 г. по соглашению между Россией и Китаем в рамках интеграции евразийского пространства;
- европейских государств (на основе четвертого железнодорожного пакета от 2016 г., состоящего из шести законодательных директив, регулирующих Единую европейскую железнодорожную зону).

В настоящее время на участке Пекин – Берлин существует более 16 маршрутов доставки товаров различными видами транспорта. Кратчайший срок доставки приходится на авиатранспорт и не превышает 5 дней. Морской транспорт является самым долгим и достигает 35 дней. По всем направлениям

движения товаров самым низким является тариф на доставку морским транспортом. Тариф на авиаперевозки является самым высоким. Стоимость доставки грузов по ВСМ находится в диапазоне между морским и воздушным видами транспорта. Средние величины тарифов на перевозку грузов по маршруту Пекин – Берлин различными видами транспорта к 2030 году составят, дол./кг:

- морским – 0,11;
- автомобильным – 0,37;
- железнодорожным – 0,47;
- высокоскоростным – 1,46;
- воздушным – 2,24.

Для прогноза каждой группы товаров использовался наибольший показатель из индекса роста ВВП в стране назначения и индекса роста реального дохода населения на период 2017–2050 гг. При этом учитывалось динамическое переключение групп потребительских товаров из категории нечувствительных к срокам доставки в категорию чувствительных в периоде 2017–2030 гг. Для крупных групп потребительских товаров, обладающих ярко выраженной динамикой (мебель, электроника, одежда и обувь, косметика), использовались индивидуальные прогнозные темпы роста на период до 2022–2025 года из независимых источников. В процессе построения прогноза также учитывалась географическая составляющая. В рамках анализа и прогнозирования международной торговли для пар стран ЕС – Россия и Россия – Китай в грузовую базу были включены только те грузы, которые находятся в зоне притяжения ВСМ в европейской части России, так как доставка из Восточной Сибири и Дальнего Востока до ближайшего хаба ВСМ по транссибирской магистрали товаров, чувствительных к срокам доставки, нецелесообразна с точки зрения сроков (маршрут РФ – ЕС), либо с точки зрения логистической составляющей (маршрут Китай – Россия). Для скандинавских стран (Финляндия, Швеция, Норвегия, Дания) было сделано предположение, что грузы переключатся на мультимодальный маршрут через ВСМ до Санкт-Петербурга с последующей перевалкой в порту Санкт-Петербурга и доставкой морем до порта Гетеборг в Швеции по причине большей целесообразности такого способа доставки с точки зрения логистики.

Для анализа потенциала переключения по каждой группе товаров была рассчитана удельная стоимость на килограмм товара и определена необходимость финансирования оборотного капитала на период доставки по каждому из возможных маршрутов различных видов транспорта. К полученному значению был прибавлен нетто-тариф за доставку килограмма товара по каждому из вариантов транспортировки. Таким образом, была получена конечная фактическая стоимость отправки одного килограмма товара для грузоотправителя. На основании ранжирования способов доставки от самого дешевого до самого дорогого была определена вероятность переключения каждой отдельной группы товаров на ВСМ по условию «чем дешевле для

грузоотправителя конкретного товара рассматриваемый маршрут, тем вероятнее использование именно этого маршрута доставки». В результате был получен прогноз грузопотоков потенциально контейнеризируемых товаров и определено вероятное распределение грузопотоков по маршрутам и типам доставки с учетом экономической целесообразности для грузоотправителя. Ожидается, что в 2027 году грузопоток по ВСМ может составить 5,3 млн т, в 2050 году – 11,9 млн т, при этом среднегодовой темп роста составит 3,6 %. Основная часть грузов по ВСМ будет следовать, как ожидается, по маршруту Китай – ЕС.

Таким образом, осуществление проекта «Евразия» приведет:

- к объединению крупнейших высокоскоростных сетей железнодорожного сообщения ЕС и Китая;
- формированию мультимодальных узлов для экспортно-импортных, внутренних и транзитных перевозок;
- переключению грузопотока с автомобильного транспорта во внутреннем сообщении;
- сокращению сроков доставки и способности конкурировать с воздушным и морским видами транспорта в международном сообщении;
- производству специализированного высокоскоростного грузового подвижного состава для ВСМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Высокоскоростной железнодорожный транспорт. Общий курс. В 2 т. Т. 2 / под ред. И. П. Киселёва. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте, 2014. – 308 с.

2 Мишарин, А. С. Высокоскоростной железнодорожный грузопассажирский коридор «Евразия» / А. С. Мишарин. – 2017. – 32 с.

D. N. SHKANDYBIN

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF HIGH SPEED FREIGHT TRANSPORTATION

The article is devoted to the analysis of the state of freight traffic at high-speed railways for the countries of the European Union, Russia and China. The prospects for the development of freight and passenger traffic in accordance with the development programs of the participating countries are shown. The analysis shows the economic feasibility of the project.

Получено 16.09.2018.

УДК 656.21 + 06

Д. Э. ШУЛЬГИНА

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)

daria_shulgina@mail.ru

СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЮЖНОРОССИЙСКИХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Рассмотрена транспортно-технологическая система организации перевозок угля на полигоне Северо-Кавказской железной дороги. Выполнен обзор перспективных грузопотоков угледобывающих узлов. С помощью сетевого графика рассмотрен вариант обслуживания железнодорожных путей необщего пользования шахтного предприятия. В результате исследования маневровой работы введен показатель скорости обслуживания и интегральная функция оценки при организации перевозок угля.

Сегодня Россия является одной из ведущих угледобывающих стран в мире, в том числе из-за высокого уровня обеспеченности угольными ресурсами. В пределах РФ находится 22 угольных бассейна и 129 отдельных месторождений. Балансовые запасы угля в России оцениваются более чем в 270 млрд т, что составляет 19 % от мировых запасов. Общий потенциал сырьевой базы угольной промышленности, включая прогнозные ресурсы, оцениваются в 4,4 трлн тонн. Определяющими факторами развития отрасли остаются спрос на угольную продукцию со стороны внутреннего и международного рынков и осуществляемые угольными компаниями инвестиционные вложения, направленные на расширение этих рынков.

Одной из исторических угольных баз страны является Ростовская область, находящаяся в Северо-Кавказском регионе Южного федерального округа (ЮФО) Российской Федерации. Шахтный фонд Ростовской области представлен 13 шахтами, из которых на шести ведется добыча угля, в том числе 3 шахты ведут добычу угля на глубинах до 500 метров. Глубина ведения горных работ на остальных шахтах достигает 1000 и более метров. Срок эксплуатации четырех шахт составляет от 34 до 70 лет, разработки на шахте Садкинской проводятся в течение 25 лет, на Шерловской-Наклонной – 7.

Общие запасы угля в ЮФО составляют 24,1 млрд т, из них прогнозные – 14,7 млрд т, в том числе разведанные запасы действующих шахт, целесообразные к отработке – около 285 млн т. Кроме того, имеется 10 перспективных участков с запасами 545 млн т, которые признаны экономически целесообразными для строительства новых шахт. Большая часть запасов угля Донецкого бассейна, расположенного на территории Ростовской области,

представлена антрацитами – лучшими в мире по калорийности, доля которых в общих запасах угля составляет более 90 %. Донской антрацит практически не содержит метана и других вредных газов, что позволяет отнести его к разряду уникальных для топливного и химического производства [1–3]. Для разработки месторождений коксующихся углей экономически привлекательными являются разведанные участки: Михайловский, Горняцкий, Западный, Жерновский, Быстрянский, Богураевский-Глубокий.

Многие шахты отработали благоприятные запасы, на которые ориентировались при их строительстве. Поэтому в настоящее время в разработку вовлекают нижележащие и периферийные запасы, что приводит к увеличению протяженности горных выработок и соответствующих коммуникаций. Для сокращения производственных затрат предприятия концентрируют горные работы, переходя на принцип «шахта-лава», что неизбежно ведет к снижению стабильности работы предприятия и возрастанию финансовых рисков.

В угледобывающих узлах согласованность технологии работы шахт транспортной системы особенно важна. При такой массовости и однородности операций даже небольшие сбои и неувязки в работе транспорта приводят к ощутимым потерям. Единый технологический процесс разрабатывается для угольных предприятий с оборотом 50 и более вагонов в сутки. При его разработке учитывается максимальная маршрутизация отправляемого потока. Маршруты формируются на станциях примыкания нескольких шахт.

На подъездных путях угольной промышленности доля погрузки в общей грузовой работе составляет 87–88 %, а выгрузки 12–13 % [5, 6], поэтому с этих мест необщего пользования отправляется большое количество груженых вагонов, а поступает в основном порожний вагонопоток. Обычно группы вагонов загружают на нескольких шахтах и затем формируют маршруты, в которых отправляется примерно 70 % угля. Шахты, обслуживаемые одним подъездным путем, выдают обычно уголь двух-трех марок. Наличие разных марок осложняет погрузку и формирование маршрутов и увеличивает объем маневровой работы. При открытом способе добычи угля применяют три варианта транспортной схемы:

- загрузки в угольном разрезе непосредственно в вагоны;
- загрузки в специализированный подвижной состав предприятия, который вывозит его на обогатительную фабрику, а после обогащения грузят в вагоны;
- подачи транспортерами из разрезов в бункеры с последующей погрузкой в вагоны. При транспортировке уголь обогащают путем отбора породы.

Железнодорожные пути необщего пользования угольной промышленности имеют протяженность от 1 до 30 км в зависимости от числа обслуживаемых пунктов погрузки, размеров отправляемого угля и способов добычи. Общая длина путей на крупных карьерах достигает 200 км. Объем внутренних технологических перевозок довольно значителен. Из шахт и разрезов

уголь перевозят на обогатительные фабрики и далее загружают в вагоны магистрального железнодорожного транспорта (рисунок 1).

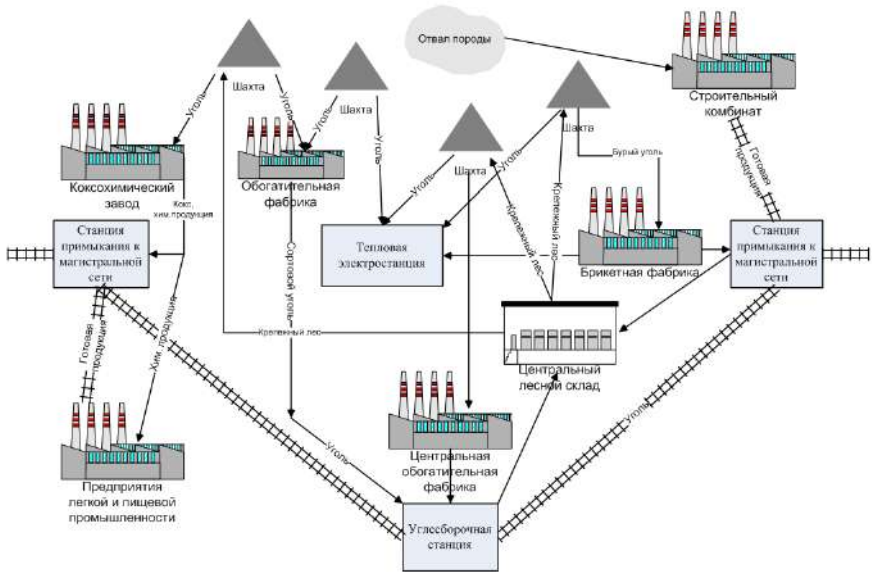


Рисунок 1 – Схема транспортно-производственного потока угледобывающего узла

Процессы взаимодействия станции примыкания и пути необщего пользования угольной промышленности можно представить в виде сетевого графика (рисунок 2), позволяющего в графической форме представить производственный процесс, выразить последовательность и логическую взаимосвязь отдельных работ, составляющих процесс, выявить критические работы.

Так как железнодорожный узел угледобывающей промышленности обслуживает многопараметрические транспортные потоки, то скорость их обслуживания определяет временная и пространственная неравномерности размещения производств, график движения поездов, план формирования и т. п. Определим критерий оценки скорости обслуживания на основе временной характеристики использования элементов транспортных подсистем по времени и длительности их занятия, определяемых из сетевых графиков обслуживания. Если система работает динамично, имеет резервы пропускной и перерабатывающей способности, то непроизводительные простои подвижного состава и механизмов сведены к минимуму. Если в узле имеются нерациональные связи, недостаточная мощность станционных и производственных устройств, то продолжительность нахождения подвижного состава в узле значительно возрастает, так как увеличивается очередь и уменьшается скорость обслуживания.

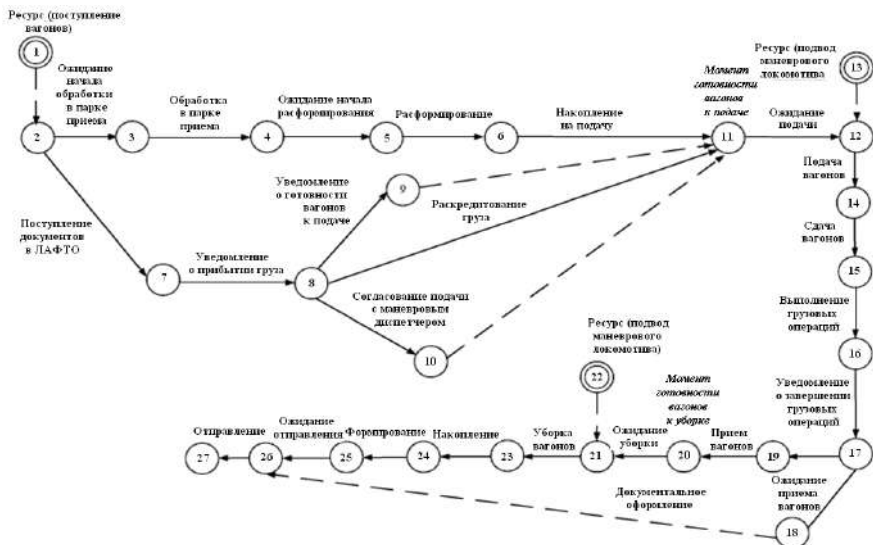


Рисунок 2 – Сетевой график обслуживания железнодорожных путей необщего пользования

Для целей исследования может использоваться коэффициент скорости обслуживания [5]

$$k_3 = \prod_{i=1}^n \frac{t_{\text{общ}}^i}{t_{\text{тех}}^i},$$

где $i = 1, n$ – количество транспортных подсистем, участвующих в передаче вагонопотока; $t_{\text{общ}}^i$ – общее время нахождения вагонопотока в i -й транспортной подсистеме узла с учетом времени ожидания обслуживания; $t_{\text{тех}}^i$ – время непосредственной обработки вагонопотока в i -й подсистеме.

$$t_{\text{общ}}^i = t_{\text{тех}}^i + t_{\text{ож}}^i,$$

где $t_{\text{ож}}^i$ – продолжительность ожидания технологических операций.

$$t_{\text{общ}}^i = t_{\text{пр}}^i + t_{\text{ож.расф}}^i = t_{\text{расф}}^i + t_{\text{поб}}^i + t_{\text{ож.под}}^i + t_{\text{под}}^i + t_{\text{гр.оп}}^i + t_{\text{ож.уб}}^i + t_{\text{уб}}^i + t_{\text{нак}}^i + t_{\text{форм}}^i + t_{\text{ок.форм}}^i + t_{\text{дон}}^i + t_{\text{ож.отп}}^i + t_{\text{отпр}}^i.$$

Повышение скорости транспортного обслуживания достигается за счет совершенствования взаимодействия сетевых и промышленных станций узла с подъездными путями шахтных предприятий, рационализации размещения транспортно-технологических объектов и концентрации производств с гру-

зовыми фронтами, создания высокомеханизированных обогатительных фабрик, учета перспективного развития.

Важнейшим составляющим в узле является организация маневровой работы (МР). Для формирования модели подсистемы МР можно применить критерий уровня организации подсистемы, который выражается через интегральный безразмерный показатель, оценивающий количественную и качественную стороны организации технологического процесса. Этот критерий включает параметры:

- продолжительности межоперационных интервалов. При прохождении вагонопотоком отдельных фаз технологической обработки неизбежно возникают временные задержки. Коэффициент, характеризующий долю межоперационных интервалов в общем времени нахождения вагонов в подсистеме МР и отражающий уровень ее организации

$$\omega = \frac{\sum_{i=1}^n B\tau_i}{N_{cp} t_{cp}},$$

где $B\tau_i$ – среднее количество вагоно-часов ожидания операций в i -й фазе за сутки; n – число фаз обслуживания в подсистеме; t_{cp} – среднее время нахождения вагонов в подсистеме за сутки; N_{cp} – среднее число вагонов, перерабатываемое подсистемой за сутки;

- продолжительности технологических операций. Этот параметр зависит от принятого варианта организации работы, технических характеристик и количества элементов в подсистеме. Следовательно, подсистему местной работы характеризует суммарное время выполнения технологических операций во всех фазах, приходящихся на один вагон, переработанный подсистемой.

$$t_{tex}^{1\text{вар}} = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m t_{ij}}{N_{cp}},$$

где t_{ij} – время выполнения в i -й фазе подсистем местной работы j -й технологической операции; m – количество технологических операций;

- удельных приведенных расходов по подсистеме, определяемых по формуле

$$C^{1\text{вар}} = \frac{\sum_{k=1}^z \sum_{i=1}^n (\mathcal{E}_{ki} + E_n K_{ki})}{N_{cp}},$$

где \mathcal{E}_{ki} – эксплуатационные расходы по k -му элементу i -й фазы; E_n – норма дисконта; K_{ki} – капитальные затраты на k -й элемент i -й фазы; z – количество элементов в i -й фазе.

Для перехода к интегрированному показателю вводятся безразмерные

значения параметров маневровой работы по формулам:

$$\omega' = \frac{\omega}{\omega_{opt}}; t' = \frac{t_{\text{тех}}^{1 \text{ вар}}}{t_{\text{тех } opt}^{1 \text{ вар}}}; C' = \frac{C^{1 \text{ вар}}}{C_{opt}^{1 \text{ вар}}}.$$

В числителе принимаются параметры анализируемого варианта подсистемы, в знаменателе – эталонные значения параметров.

При использовании значений весовых коэффициентов, интегральный показатель уровня организации маневровой подсистемы

$$F_{MP} = 0,25\omega' + 0,05t' + 0,70C' \rightarrow \min.$$

Таким образом, подсистема маневровой работы угледобывающего узла, имеющая наименьшее значение данной целевой функции, оказывается наиболее эффективной при рациональной величине скорости транспортно-технологического обслуживания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Промышленность в России / Росстат. – М., 2008. – 384 с.
- 2 Чедвик, Д. Мировая угольная промышленность / Д. Чедвик // Уголь. – 2002. – № 12. – С. 23–38.
- 3 Никифоров, В. С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика : учеб. пособие для вузов / В. С. Никифоров. – М. : ТрансЛит, 2007. – 233 с.
- 4 Акулиничев, В. М. Организация перевозок на промышленном транспорте : учеб. / В. М. Акулиничев. – М. : Высш. шк., 1983. – 247 с.
- 5 Числов, О. Н. Комплексные методы рационального размещения элементов транспортно-технологических систем в железнодорожных узлах : [монография] / О. Н. Числов // Рост. гос. ун-т путей сообщения. Ростов н/Д, 2009. – 294 с.
- 6 Мищенко, Н. Г. Теоретические основы повышения эффективности взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта: методология формирования и механизмы управления : [монография] / Н. Г. Мищенко. – Ростов н/Д : Рост. гос. ун-т путей сообщения, 2005. – 202 с.

D. E. SHULGINA

MODERN ASPECTS OF THE ORGANIZATION OF COAL TRANSPORTATION BY RAIL IN SOUTH RUSSIA

Transport and technological system of coal freight forwarding in the area of the North Caucasus Railway was considered. Prospective freight flows of coal-mining centers were reviewed. With the help of the network schedule, the option of servicing non-public railways of a mine enterprise was considered. The shunting operation research resulted in the introduction of the service rate indicator and the integral evaluation function in the organization of coal transportation.

Получено 18.11.2018.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ НАУЧНЫХ СТАТЕЙ

Научная статья в сборнике «Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов» должна отражать результаты собственных исследований, обобщения практического опыта или системный аналитический обзор материала в некоторой конкретной области проектирования инфраструктуры отдельных пунктов. Работа должна быть передана в цифровом виде на адрес электронной почты

vlasiuk.ta@gmail.com

ответственного секретаря редакции сборника трудов с указанием в поле «Тема» назначения высылаемого материала: «В сборник Правдина».

Формат бумаги – А5, междустрочный интервал – одинарный. Страницы должны иметь поля: верхнее – 1,7 см, левое и правое – по 1,6 см, нижнее – 2,1 см. Текст статьи печатается шрифтом Times New Roman, размер – 10 пт (в таблицах – 9, в подстрочных сносках – 8), выравнивание – по ширине. Отступ начала каждого абзаца составляет 0,5 см.

Информация, предваряющая статью, включает:

- УДК;
- инициалы, фамилия и место работы автора(ов) (с пропуском свободной строки после УДК), прописным курсивом;
- адрес электронной почты;
- название статьи (с пропуском свободной строки после адреса электронной почты, жирным прописным шрифтом);
- краткую аннотацию (размер шрифта – 9 пт.).

Следует обратить внимание на смысловое содержание аннотации, являющейся основой для автоматизированных систем информационного поиска в сети Интернет. Поэтому аннотация должна точно отражать содержание научной статьи, чтобы по ней читатель смог получить правильное представление о сути и полученных результатах авторской работы. В тексте аннотации следует употреблять синтаксические словосочетания, свойственные языку научных и технических документов, избегать сложных грамматических конструкций, использовать значимые слова из текста статьи. Аннотация к статье должна быть информативной, не должна содержать исторических справок, описаний ранее опубликованных работ, общеизвестных для специалистов положений, дублировать текст самой статьи. Объем аннотации – не более 150 слов.

Пример оформления всего текстового блока, предваряющего статью, приведен ниже. Текст статьи начинается после аннотации с пропуском свободной строки. Материал статьи должен содержать краткое введение, посвящающее читателя в излагаемую проблемную область, основную часть и заключение. Все три позиции не выделяются заглавиями, но должны быть четко прослеживаемыми по содержанию.

УДК 656.2 : 656.21 + 06

И. В. РУЧКИН

*Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС)
raynard.blackmore@yandex.ru*

**ВАРИАНТ ОБОСНОВАНИЯ НИТОК ГРАФИКА
ПЕРЕДАТОЧНОГО ДВИЖЕНИЯ НА СТАНЦИЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ
ПРОМЫШЛЕННОГО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

Изучается динамика количественных и качественных показателей предприятий промышленного железнодорожного транспорта (ППЖТ) на полигоне Северо-Кавказской железной дороги. Представляется статистический анализ вагонопотоков, по рассчитанным частотам поступления вагонов и ниткам графика передаточного движения построены гистограммы подач-уборок. Определены значения интегральной функции оценки транспортной работы ППЖТ.

Рисунки в статье должны быть переданы по электронной почте отдельными файлами в формате .jpg. Допускается выполнять иллюстрации к статье в цветном виде, но без полутонов. Исключение составляют цветные фотографии хорошего качества, которые также могут использоваться для иллюстраций в статье. В черно-белом виде все рисунки должны быть строго контрастными без использования серого цвета. Данное требование относится также к текстовым блокам в рисунках, которые должны печататься шрифтом Times New Roman. Сложные рисунки с большим количеством текстовой информации (структурные и блок-схемы алгоритмов) необходимо высылать не только в растровом формате .jpg, но и в каком-либо векторном для возможной последующей редакции (.crd, .ppt, .vsd) без дополнительной переписки с автором.

Формулы должны набираться с использованием встроенного модуля Word Equation или с использованием других средств, обеспечивающих доступ к их редактированию в любых версиях текстового редактора. Особо следует обратить внимание на использование переменных с нижними или верхними индексами (в том числе и в текстовых блоках рисунков), которые должны быть начертаны в строгом соответствии с принятыми требованиями (правильные индексы с четким позиционированием относительно самой переменной, латиница – курсивом, русские и греческие символы – прямо, соразмерность текста и математических символов суммы, произведения, квадратного корня, обыкновенной дроби, интеграла и пр.).

Объем научной статьи должен быть не менее 0,35 п. л.

Завершается научная статья списком использованной литературы (шрифт – Times New Roman, размер – 9 пт) в строгом соответствии с ГОСТ Р 7.05-2008. После библиографического списка и пропуска свободной стро-

ки следует информационный блок на английском языке (инициалы и фамилия автора, название статьи, аннотация). Далее указывается дата получения редакцией статьи от автора (шрифт – Times New Roman, размер – 8 пт с пропуском пустой строки после аннотации на английском языке).

Пример оформления информационного блока, завершающего статью, приведен ниже.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Таха, Х. А.* Введение в исследование операций : пер. с англ./ Х. А. Таха. – 7-е изд. – М. : Вильямс, 2005. – 912 с.

2 *Правдин, Н. В.* Основы взаимодействия видов транспорта (примеры и расчёты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. А. Подкопаев; под ред. Н. В. Правдина. – М. : Транспорт, 1989. – 208 с.

3 *Сидяков, В. А.* О задачах развития промышленного железнодорожного транспорта на период до 2030 года / В. А. Сидяков // Промышленный транспорт XXI век. – 2008. – № 2. – С. 3–6.

I. V. RUCHKIN

OPTIONS JUSTIFICATION OF TRAIN PATHS OF TRANSFER TRAFFIC SCHEDULE AT THE STATIONS OF THE ENTERPRISES OF INDUSTRIAL RAILWAY TRANSPORT

The dynamics of quantitative and qualitative indicators of enterprises of industrial railway transport (EIRT) in the area of the North Caucasus Railway is studied. A statistical analysis of railcar flows is presented, and histograms of arrivals and departures are plotted using the calculated frequencies of cars arrival and train paths of the transfer schedule. The values of the integral function of the EIRT transport operation assessment are determined.

Получено 06.11.2018.

Текст статьи и рисунки в электронном виде упаковываются в архив с именем автора (например, *ruchkin_art.rar*).

Кроме материалов по статье должен быть подготовлен и выслан на адрес редакции сборника соответствующий перечень сопроводительных документов (в архиве, например, *ruchkin_inf.rar*):

- договор на опубликование статьи, подписанный автором, в виде цветного изображения исходного документа в формате .jpg (исходный файл представлен на сайте БелГУТа);

- рецензия доктора наук по профилю специальности или научного руководителя (для аспирантов) в виде цветного изображения исходного документа в формате .jpg с подписью рецензента, заверенной печатью отдела кадров;

- скан отчета результатов работы программы антиплагиат.

Научное издание

**ПРОБЛЕМЫ ПЕРСПЕКТИВНОГО РАЗВИТИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

Международный сборник научных трудов

Редактор А. А. П а в л ю ч е н к о в а
Технический редактор В. Н. К у ч е р о в а

Подписано в печать 25.09.2019. Формат 60×84 1/16.
Бумага офсетная. Гарнитура Times New Roman. Печать на ризографе.
Усл. печ. л. 9,53. Уч.-изд. л. 10,02. Тираж 100 экз.
Зак. № 3773. Изд. № 40.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский государственный университет транспорта.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/361 от 13.06.2014.
№ 2/104 от 01.04.2014.
№ 3/1583 от 14.11.2017.
Ул. Кирова, 34, 246653, г. Гомель