

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

УДК 656.21.4 : 629.46

И. А. ЕЛОВОЙ^{1*}, Е. Н. ПОТЫЛКИН^{2*}

^{1*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246653, тел. +37 (529) 734 11 40, эл. почта ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X

^{2*}Каф. «Управление грузовой и коммерческой работой», Белорусский государственный университет транспорта, ул. Кирова, 34, Гомель, Республика Беларусь, 246653, тел. +37 (529) 808 77 87, эл. почта gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА ДЛЯ ОТСТОЯ МЕЖДУ ПУТЯМИ ОБЩЕГО И НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Цель. Особую актуальность в условиях увеличения доли частных вагонов приобретают задачи выбора оптимальных режимов взаимной работы путей общего и необщего пользования. Поэтому целью настоящей работы является разработка подхода к обоснованию выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения вагонов, направляемых в отстой, между железнодорожными путями общего и необщего пользования. **Методика.** Для достижения поставленной цели использованы методы научного анализа и синтеза, теории графов, а также экспериментально-статистические методы составления моделей. **Результаты.** Получена зависимость потребной вместимости железнодорожных путей, в которой учитывается доля частных вагонов в общем парке, поступающих на места необщего пользования. Предложена схема выбора места размещения вагонов для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. **Научная новизна.** Задача в такой постановке до настоящего времени не решена, что и определяет актуальность и новизну исследования в данном направлении. Полученная формула по определению потребной вместимости железнодорожных путей, в отличие от существующих способов ее расчета, учитывает влияние случайного характера обслуживания перевозочных средств на местах необщего пользования, а также доли частных вагонов в общем парке. Предложен метод выбора места размещения частного подвижного состава, используемый для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. Отличительной особенностью представленного метода является учет интересов грузовладельца, как стороны, в наибольшей степени заинтересованной в эффективной взаимной работе железнодорожного транспорта общего и необщего пользования. **Практическая значимость.** На основании результатов исследования могут быть получены рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта в части распределения вагонов, направляемых для отстоя, между железнодорожными путями общего и необщего пользования. Это позволит уменьшить издержки грузовладельцев за счет минимизации экономических и временных потерь и, как следствие, сделать услуги железнодорожного транспорта более привлекательными для клиентуры, что приведет к повышению его конкурентоспособности на рынке транспортных услуг.

Ключевые слова: железнодорожный путь необщего пользования; частный вагон; размещение; режим взаимодействия

Введение

Взаимодействие железнодорожного транспорта и других отраслей производства и, прежде

всего, железных дорог с организациями-грузовладельцами, собственниками подвижного состава, промышленными предприятиями в зна-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

чительной мере определяет уровень развития транспортного комплекса страны. Как известно, серьезные недостатки в практике взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта наносят значительный ущерб экономике государства, приводят к нарушениям ритмичности и сроков доставки грузов, к вынужденным изменениям технологического процесса производства предприятий, к дополнительным трудовым затратам на излишнюю погрузочную работу, к перепростоям подвижного состава. Устранение этих недостатков является важным резервом освоения объема перевозок, снижения транспортных издержек участников перевозочного процесса [8].

Проблема эффективной организации работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта всегда была в центре внимания теории и практики эксплуатации. Теоретические основы вопросов взаимодействия путей общего и необщего пользования разработаны академиком В. Н. Образцовым в 50-е годы прошлого столетия. В период с середины до конца 20-го века в этом направлении проводились исследования такими учеными, как В. М. Акулиничев, Н. П. Берлин, О. В. Билогуров, А. К. Головнич, А. Т. Дерibas, А. В. Комаров, Л. С. Крохин, В. А. Кудрявцев, В. К. Мироненко, В. Я. Негрей, А. Д. Омельченко, В. В. Повороженко, Н. В. Правдин, И. Б. Сотников, А. А. Смехов, Г. А. Циркунов, П. А. Яновский, В. П. Ярошевич и др. [7, 8, 11, 13]. Среди современных ученых, занимающихся данной проблематикой, можно выделить на постсоветском пространстве Р. В. Вернигору, Д. Н. Казаченко, П. В. Бех, Г. И. Нестеренко, И. А. Елового, Л. С. Жарикову, Н. В. Халипову, И. А. Баранкову [2–5, 14, 15, 16], в странах дальнего зарубежья М. Bababeik, М. М. Nasiri, А. А. Khaled, Jin M., L. Mussone, Z. Zhang [17–20].

Поездная и грузовая работа железных дорог стран Содружества Независимых Государств в последние годы испытывает затруднения в связи с переизбытком вагонных парков на ряде полигонов сети. Так, в период роста грузовых перевозок, начиная с 2003 года, российский парк грузовых вагонов увеличивался темпами, в среднем в 4,3 раза опережающими темпы прироста протяженности приемо-отправочных и сортировочных путей станций.

Это привело к тому, что с началом спада перевозок нахождение на сети невостребованных пустых вагонов вызвало многочисленные нарушения взаимодействия работы станций и участков, невосполнимые потери пропускной способности, неоправданные расходы. В связи с чем профессорами А. Ф. Бородиным и Е. А. Сотниковым в [1] разработана методика оценки взаимосвязей между вместимостью путевого развития полигонов, емкостью вагонных парков, пропускной способностью и качественными показателями эксплуатационной работы и оценка возможностей отстоя частных вагонов на станциях. Хотя рациональные соотношения вместимости путей и рабочего парка вагонов определяются для путей станционных парков (приемо-отправочных, сортировочных, сортировочно-отправочных, погрузочно-выгрузочных, выставочных), внепарковых станционных путей (главных в пределах станций, соединительных, ходовых, вытяжных, а также путей для отстоя вагонов и проч.), однако данный расчет для железнодорожных путей необщего пользования методикой не предусмотрен. Поэтому актуальными остаются проблемы определения потребной вместимости путей необщего пользования в современных условиях, а также распределения путевых емкостей для отстоя подвижного состава между железнодорожным транспортом общего и необщего пользования.

Цель

Исследованию взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта всегда уделялось повышенное внимание, как со стороны практиков, так и со стороны ученых-транспортников. Рост интереса к этим проблемам со стороны участников перевозочного процесса в настоящее время обусловлен развитием конкуренции в сфере оперирования грузовыми вагонами и ростом количества собственников подвижного состава на фоне неизменного состояния инфраструктуры путей необщего пользования, унаследованной от Советского Союза. Поэтому целью настоящей работы является разработка подхода к обоснованию выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения отстоя вагонов между железнодорожными путями общего и необщего пользования.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Методика

Для досягнення поставленої мети при проведенні даного дослідження використано методи наукового аналізу та синтезу, теорії графів, а також експериментально-статистичні методи складання моделей.

Результати

В наші часи на залізничних дорогах країн СНГ спостерігається зростання кількості приватного рухомого складу та його частки в загальному парку вагонів. Зміна структури вагонопотоку, невідповідність технології обслуговування місць необщого користування їх технічному оснащенню, значне збільшення кількості операторів рухомого складу привели до розміщення приватного рухомого складу на залізничних путях. Основні причини зростання приватних вагонів наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Причини та місце зростання приватного рухомого складу

Table 1

Causes and location of private rolling stock parking

Місце тимчасового розміщення	Причини тимчасового розміщення вагонів	
	завантажених	порожніх
Залізнична станція	Доставка вантажу «точно в строк»	За угодою на тимчасове розміщення порожніх вагонів
Залізничний шлях необщого користування	Наявність пріоритету в обслуговуванні інвентарних вагонів	1) наявність пріоритету в обслуговуванні інвентарних вагонів; 2) угода на тимчасове розміщення звантажених вагонів; 3) не узгодженість перевезень за тарифами

Приватні вагони розмістити можна як на шляхах загального, так і необщого користування. При цьому власник інфраструктури за установлену плату може надавати в оренду залізничні шляхи власнику рухомого складу [10]. Однак, кількість таких шляхів обмежена, крім того вони територіально розподілені по мережі Білоруської залізничної дороги.

Для встановлення потрібної ємності залізничних шляхів необхідно визначити середній простій вагонів.

На шляху необщого користування за добу надходить вагонів в кількості

$$m_{\text{сут}} = 24\lambda, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність надходження вагонів, ваг/ч.

Потрібна ємність шляхів необщого користування при заданній інтенсивності становить

$$m = \lambda t_{\text{cp}}, \quad (2)$$

де t_{cp} – середній простій вагонів на шляхах необщого користування, ч.

При рівномірному способі обліку простою вагонів, який застосовується, як правило, на місцях загального, необщого користування з вагооборотом 50 і більше вагонів в добу,

$$t_{\text{cp}} = \frac{B}{O_{\text{н}} + \Pi} = \frac{B}{O_{\text{к}} + Y}, \quad (3)$$

де B – вагоно-години перебування вагонів на шляхах необщого користування, ваг-ч; $O_{\text{н}}$ – залишок вагонів на початок звітної доби, вагонів; Π – кількість надійшлих на шлях необщого користування вагонів, вагонів; $O_{\text{к}}$ – залишок вагонів на кінець звітної доби, вагонів; Y – кількість зниклих з шляхів необщого користування вагонів, вагонів.

Отримане значення t_{cp} представляє собою середню тривалість перебування вагонів на шляхах необщого користування, включаючи приватні та інвентарні залізничні перевізні засоби. Якщо частка приватних вагонів в загальному парку становить α_c , то інтенсивність їх надходження на місця необщого користування

$$\lambda_c = \lambda \alpha_c, \quad (4)$$

відповідно для рухомого складу інвентарного парку

$$\lambda_{\text{и}} = \lambda(1 - \alpha_c), \quad (5)$$

Следовательно, потрібна ємність залізничних шляхів для обслуговування вагонів приватного парку

$$m_c = \lambda \alpha_c t_{\text{cp}}^c, \quad (6)$$

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

инвентарного парка

$$m_i = \lambda(1 - \alpha_c) t_{cp}^H, \quad (7)$$

где t_{cp}^c, t_{cp}^H – средняя продолжительность нахождения вагонов на путях необщего пользования соответственно вагонов частного и инвентарного парков, ч.

Вагоно-часы нахождения вагонов на путях необщего пользования определяются по формуле

$$B = \sum t_i m_i, \quad (8)$$

В практике работы места необщего пользования для маневровых локомотивов, как и фронты погрузки – выгрузки обычно предназначены для потоков вагонов, разных по принадлежности. При поступлении N входящих потоков с разными приоритетами среднее время пребывания по требованию рассчитывается как k -го приоритета в системе

$$t_k = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\rho_i}{\mu_i} (v_{вхi}^2 + v_{обслi}^2)}{(1 - \sum_{j=1}^{k-1} \rho_j)(1 - \sum_{j=1}^k \rho_j)} + \frac{1}{\mu_k}, \quad (9)$$

где ρ_i – загрузка обслуживающего устройства требованиями i -го потока; $v_{вхi}$ – коэффициент вариации входящего i -го потока; $v_{обслi}$ – коэффициент вариации продолжительности обслуживания i -го потока; μ_i – интенсивность обслуживания заявки i -ого потока, ваг/ч,

$$\mu_i = \frac{1}{t_{обслi}}, \quad (10)$$

где $t_{обслi}$ – загрузка обслуживающего устройства требованиями i -го потока [6].

Для определения закономерностей изменения коэффициентов вариации входящего потока и обслуживания на примере промышленного предприятия рассмотрена продолжительность временных составляющих схемы доставки при взаимодействии магистрального и промышленного железнодорожного транспорта. В результате обработки эмпирических данных определены основные статистические показатели исследуемых случайных величин, которые сведены в таблицы 2, 3.

Таблица 2

Числовые характеристики интервалов времени между подачами вагонов в цеха предприятия

Table 2

Numerical characteristics of the time intervals between car supply to the shop floor of the enterprise

Показатель	Количественные характеристики цехов			
	Карбо-мид-II	Сульфат	Бензол	Мазут
Математическое ожидание, мин	454,4	332,2	641	560
Дисперсия выборки,	89 121	$64 \cdot 10^3$	$104 \cdot 10^3$	$155 \cdot 10^3$
Объем выборки	144	241	256	158
Коэффициент вариации	0,66	0,76	0,50	0,70
Выборочная оценка b_1	$2,1 \cdot 10^{-15}$	$7,6 \cdot 10^{-16}$	$3,6 \cdot 10^{-16}$	$4,8 \cdot 10^{-16}$
Выборочная оценка b_2	$9,9 \cdot 10^{-11}$	$-3,3 \cdot 10^{-10}$	$-4 \cdot 10^{-11}$	$9,5 \cdot 10^{-12}$

Таблица 3

**Числовые характеристики продолжительности ожидания
уборки вагонов из цехов предприятия**

Table 3

**Numerical characteristics of the waiting time for cars removal
from the shop floors of the enterprise**

Показатель	Значения числовых характеристик для цехов			
	Карбо-мид-II	Сульфат аммония	Бензол	Мазут
Математическое ожидание, мин	35,97	73,3	33,0	29
Дисперсия выборки	947,2	4 823,3	906	317
Объем выборки	138	224	215	179
Коэффициент вариации	0,86	0,95	0,91	0,61
Выборочная оценка b_1	$3,77 \cdot 10^{-9}$	$1,45 \cdot 10^{-11}$	$4,65 \cdot 10^{-9}$	$7,6 \cdot 10^{-8}$
Выборочная оценка b_2	$2,34 \cdot 10^{-6}$	$1,44 \cdot 10^{-8}$	$2,85 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-5}$

Для того чтобы установить, к какому закону распределения следует отнести случайные величины, использованы области в плоскости β_1 и β_2 для различных распределений, которые определяются на основании выборочных оценок b_1 и b_2 :

$$\sqrt{b_1} = \frac{m_3}{(m_2)^{3/2}}; \quad (11)$$

$$b_2 = \frac{m_4}{(m_2)^2}, \quad (12)$$

где m_2, m_3, m_4 – соответственно второй, третий, четвертый центральные моменты относительно математического ожидания [9].

Далее полученные результаты выборочных оценок b_1, b_2 , могут быть представлены на графике, как точка А с координатами $(b_1; b_2)$ [12]. При этом, если точка А будет находиться на достаточно близком расстоянии от кривой или области, представленной на графике, то это распределение может быть использовано для описания эмпирических данных.

В ходе выполнения расчетов получены значения выборочных оценок b_1 и b_2 . Точки, полученные из комбинаций значений b_1 и b_2 , нане-

сенные на график, оказались в критической области, что позволяет сделать вывод о том, что исследуемые случайные величины принимают недетерминированные значения.

При применении такого метода описания эмпирических данных необходимо учитывать два важных ограничения. Во-первых, для любого множества данных b_1 и b_2 являются лишь оценками и подвержены колебаниям от выборки к выборке, эти оценки очень чувствительны к небольшому числу крайних значений, поэтому данный метод необходимо использовать с осторожностью, особенно, когда число наблюдений невелико, например, меньше 200. Во-вторых, в общем случае форма распределения не определяется однозначно его нормированными показателями асимметрии и островершинности [11].

Большие возможности для описания колебаний случайных величин обеспечивает система кривых Пирсона, задаваемая дифференциальным уравнением:

$$\frac{dP(x)}{dx} = \frac{x - a}{b_0 + b_1x + b_2x^2} P(x), \quad (13)$$

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

где a, b_0, b_1, b_2 – постоянные параметры распределения, которые вычисляются методом моментов [11].

Основные типы кривых Пирсона представлены на номограмме для определения типа кривой в зависимости от параметров β_1 и β_2 [11]. Определение параметров β_1 и β_2 аналогично расчету ранее рассмотренных b_1, b_2 . Точки, полученные из комбинаций β_1 и β_2 , нанесенные на номограмму, оказались отдаленными от основных типов кривых Пирсона, представленных на ней. Это свидетельствует о том, что изучаемые временные элементы схемы доставки грузов принимают недетерминированные значения, а отклонения от их средних значений носят случайный характер. Данное положение было подтверждено после применения программных пакетов Microsoft Excel, Statgraphics к рассматриваемым случайным величинам.

Кроме того, анализ собранных статистических данных показал, что каждое место необщего пользования имеет свое значение коэффициентах $v_{обсл}$, которое, как правило, изменяется в пределах от 0,2 до 0,4 [9].

Рассмотрен случай, когда на пути необщего пользования поступает 2 транспортных потока: вагоны частного, инвентарного парков. При одинаковой интенсивности обработки поступающих требований ($\mu_c = \mu_{ин} = \mu$) средняя загрузка устройства, обслуживающего потоки частных вагонов

$$\rho_c = \frac{\lambda \alpha_c}{\mu} = \rho \alpha_c, \quad (14)$$

инвентарных

$$\rho_{ин} = \frac{\lambda(1 - \alpha_c)}{\mu} = \rho(1 - \alpha_c). \quad (15)$$

Следовательно, средняя продолжительность пребывания частных вагонов в системе

$$t_i^c = t_{обслc} \left[1 + \frac{\rho(v_{вхc}^2 + v_{обслc}^2)}{(1 - \rho)(1 - \rho \alpha_c)} \right], \quad (16)$$

инвентарных

$$t_i^{ин} = t_{обсл_{ин}} \left[1 + \frac{\rho(v_{вх_{ин}}^2 + v_{обсл_{ин}}^2)}{(1 - \rho)} \right], \quad (17)$$

где $v_{вхc}, v_{вх_{ин}}$ – коэффициент вариации входящего потока вагонов соответственно частного и инвентарного парков; $v_{обслc}, v_{обсл_{ин}}$ – коэффициент вариации продолжительности обслуживания потока вагонов соответственно частного и инвентарного парков.

На основании формул (2), (3), (6), (7), (16), (17) установлено, что необходимая вместимость железнодорожных путей для обслуживания вагонов частного парка составляет

$$m_c = \frac{\sum m_i^c t_{обсл_{ин}i} \left[1 + \frac{\rho(v_{вхc}^2 + v_{обслc}^2)}{(1 - \rho)(1 - \rho \alpha_c)} \right]}{O_{ин}^c + \Pi^c} \cdot \lambda \alpha_c, \quad (18)$$

инвентарного

$$m_{ин} = \frac{\sum m_i^{ин} t_{обсл_{ин}i} \left[1 + \frac{\rho(v_{вх_{ин}}^2 + v_{обсл_{ин}}^2)}{(1 - \rho)} \right]}{O_{ин}^{ин} + \Pi^{ин}} \cdot \lambda(1 - \alpha_c), \quad (19)$$

где $O_{ин}^c, O_{ин}^{ин}$ – остаток соответственно частных и инвентарных вагонов на начало отчетных суток, вагонов; $\Pi^c, \Pi^{ин}$ – количество прибывших на пути необщего пользования соответственно частных и инвентарных вагонов.

Общая необходимая вместимость

$$m = m_c + m_{ин}. \quad (20)$$

Примерный график зависимости необходимой вместимости железнодорожных путей от доли частных вагонов в общем потоке при различных средних значениях коэффициента вариации входящего потока $v_{вх}$ представлен на рисунке 1.

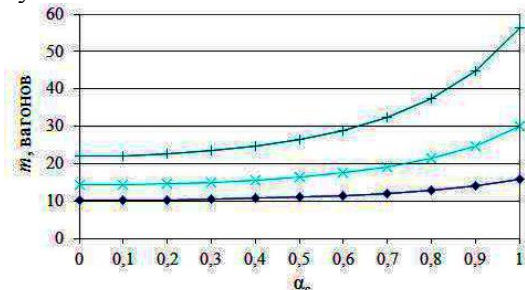


Рис. 1. График зависимости необходимой вместимости путей от доли частных вагонов в общем потоке

Fig. 1. The dependence graph of the required capacity of the tracks on the share of private cars in the total flow

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Как видно из рисунка 1, рост доли частных вагонов в общем потоке влечет увеличение суммарной потребной длины железнодорожных путей. Расчетная потребная вместимость железнодорожных путей может оказаться больше имеющейся в наличии на местах необ-

щего пользования. В таком случае часть частных вагонов следует направлять в отстой, на пути общего пользования. На рисунке 2 представлены варианты временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей.

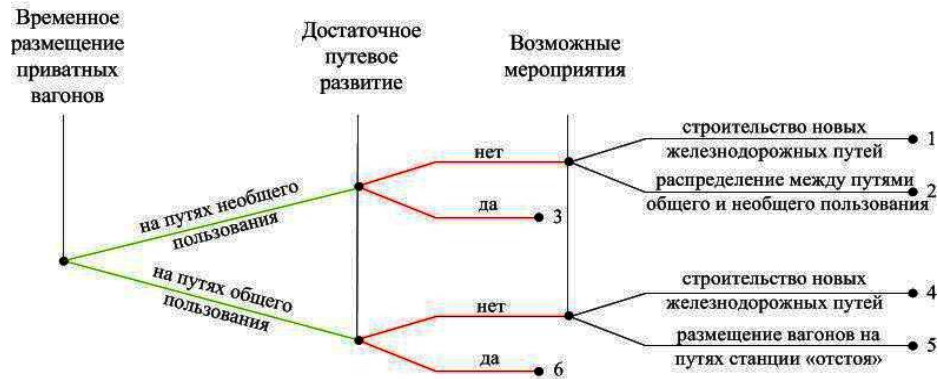


Рис. 2. Варианты временного размещения вагонов грузоотправителей, грузополучателей

Fig. 2. Temporary location options of cars of consignors, consignees

В соответствии с рисунком 2 частные железнодорожные перевозочные средства разместить можно на путях общего, необщего пользования. Использование технологических путей общего и необщего пользования для отстоя вагонов грузоотправителей, грузополучателей вызывает дополнительную маневровую работу по причине временной невозможности их использования по назначению или их специализации. Распределение частного подвижного состава, направляемого в отстой, между железнодорожными путями общего и необщего пользования требует корректировки организации взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, то есть изменения или выбора другого режима их взаимодействия. Причем в современных условиях работы железнодорожного транспорта при обосновании выбора режима следует учитывать издержки грузовладельца в пределах логистической схемы доставки. Решение задачи по выбору режима взаимной работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с позиции распределения вагонов, направляемых в отстой между железнодорожными путями общего и необщего пользования, позволит свести к минимуму маневровую работу, простои вагонов, а также транспортно-логистические издержки в целом. В соответ-

ствии с рисунком 2 разработана схема выбора места временного размещения вагонов и, соответственно, режима взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, которая представлена на рисунке 3.

Согласно представленной на рисунке 3 схеме выбор режима взаимодействия осуществляется на основании расчетов его основных параметров в соответствии с функцией оптимизации. При этом учитывается имеющееся в наличии путевое оснащение и целесообразность его дальнейшего использования. Функция оптимизации должна учитывать интенсивность поступления потока вагонов на железнодорожные пути необщего пользования, загрузку обслуживающих устройств, неравномерность процессов выполнения операций в пределах логистической схемы доставки. Таким образом, целевая функция, которая представляет собой минимальные издержки в пределах логистической схемы доставки продукции на одну тонну груза, в общем виде выглядит следующим образом:

$$F=f(\rho, \lambda, K_{\text{нер}}) \rightarrow \min, \quad (21)$$

где ρ – средняя загрузка маневровых локомотивов, обслуживающих место необщего пользования; λ – интенсивность поступления потока вагонов на ППП, ваг/ч; $K_{\text{нер}}$ – коэффициент неравномерности.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

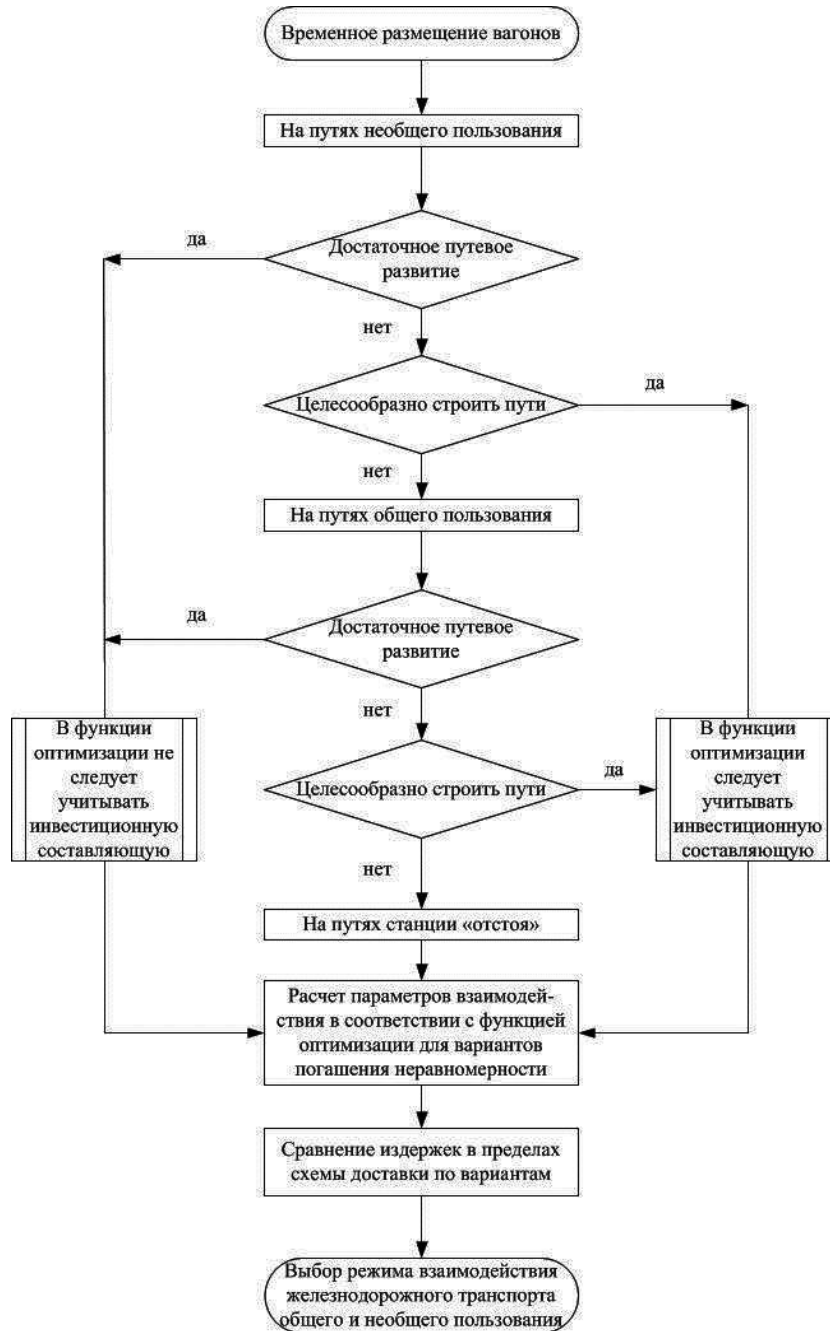


Рис. 3. Схема выбора места временного размещения частного подвижного состава

Fig. 3. Scheme for choosing the place of temporary location of private rolling stock

Руководствуясь представленной на рисунке 3 схемой, могут быть получены рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта, а именно, варианты распределения вагонов, направляемых во временное размещение между железнодорожными путями общего и необщего пользования.

Научная новизна и практическая значимость

Следует отметить, что задача в представленной постановке до настоящего времени не решена, чем и определяется новизна исследования в данном направлении. Получена форму-

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

ла по определению потребной вместимости железнодорожных путей, в отличие от существующих способов ее расчета, учитывает влияние случайного характера обслуживания перевозочных средств на местах необщего пользования, а также доли частных вагонов в общем парке. Предложен метод выбора места размещения частного подвижного состава, используемый для обоснования выбора режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта с учетом имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего развития. Отличительной особенностью представленного метода является учет интересов грузовладельца, как стороны, в наибольшей степени заинтересованной в эффективной взаимной работе железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Практическая значимость работы состоит в том, что на основании результатов исследования можно получить рекомендации по выбору режима взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта в части распределения вагонов, направляемых для отстоя между железнодорожными путями общего и необщего пользования. Это позволит уменьшить издержки грузовладельцев за счет сведения к минимуму экономических и временных потерь и, как следствие, сделает услуги железнодорожного транспорта более привлекательными для клиентуры, что приведет к повышению его конкурентоспособности на рынке транспортных услуг

Выводы

По результатам представленных в работе исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Изменение структуры вагонопотока, несоответствие технологии обслуживания мест необщего пользования техническому оснащению, регулирование частных вагонов экспедитором, а не диспетчерским аппаратом – все это привело к возникновению факторов, обуславливающих неверное размещение подвижного состава на железнодорожных путях.

2. Выявлены причины отстоя частного подвижного состава, основными из которых являются: наличие приоритета в обслуживании железнодорожных перевозочных средств инвентарного парка, доставка грузов «точно в срок», заключение договора на размещение пустых вагонов грузоотправителей, грузополучателей, отсутствие окончательно согласованных тарифов на перевозки.

3. Разработан граф вариантов отстоя частного подвижного состава, в соответствии с которым железнодорожные перевозочные средства разместить можно на путях общего, необщего пользования. Распределение частных вагонов, направляемых для размещения между железнодорожными путями общего и необщего пользования, требует корректировки организации взаимодействия промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, то есть изменения существующего выбора другого режима их взаимодействия.

4. Предложена схема выбора места размещения вагонов и соответственно режима взаимной работы промышленного и магистрального железнодорожного транспорта, отличительной особенностью которой является то, что выбор режима взаимодействия осуществляется на основании расчетов его основных параметров в соответствии с функцией оптимизации имеющегося в наличии путевого оснащения и целесообразности его дальнейшего применения.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бородин, А. Ф. Рациональное соотношение вместимости путей станций и вагонных парков с учетом увеличения доли частных вагонов / А. Ф. Бородин, Е. А. Сотников // Ж.-д. трансп. – 2011. – № 3. – С. 8–19.
2. Вернигора, Р. В. Проблемы функционирования железнодорожных подъездных путей Украины в современных условиях / Р. В. Вернигора // Вост.-Европ. журн. передовых технологий. – 2012. – Т. 4, № 3 (58). – С. 64–68.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

3. Еловой, И. А. Интегрированные логистические системы доставки ресурсов: теория, методология, организация / И. А. Еловой, И. А. Лебедева ; под науч. ред. В. Ф. Медведева. – Минск : Право и экономика, 2011. – 461 с.
4. Жарикова, Л. С. Совершенствование системы расчета элементов простоя вагонов на станциях в увязке с определением срока доставки : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08 / Жарикова Лариса Сергеевна ; Сибирский гос. ун-т путей сообщ. – Новосибирск, 2016. – 24 с.
5. Козаченко, Д. Н. Определение расчетных объемов работ для магистральных и промышленных железнодорожных станций / Д. Н. Козаченко, А. И. Верлан, А. В. Горбова // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 3 (57). – С. 45–57. doi: 10.15802/stp2015/46049.
6. Костевич, Л. С. Исследование операций. Теория игр : учеб. пособие / Л. С. Костевич, А. А. Лапко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск : Выш. шк., 2008. – 368 с.
7. Оптимизация процессов грузовой работы // А. А. Смехов [и др.]. – Москва : Транспорт, 1973. – 264 с.
8. Повышение качества транспортного обслуживания народного хозяйства / А. В. Комаров [и др.] ; под общ. ред. А. В. Комарова и В. С. Кравченко. – Москва : Транспорт, 1988. – 205 с.
9. Потылкин, Е. Н. Закономерности технологических параметров в логистических системах доставки грузов с использованием железнодорожных путей необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Наука и транспорт. Вестн. Белор. гос. ун-та трансп. – 2016. – № 2. – С. 51–53.
10. Потылкин, Е. Н. Конкурентоспособность схем доставки грузов с использованием железнодорожных путей необщего пользования / Е. Н. Потылкин // Проблемы и перспективы развития транспортного комплекса : материалы Междунар. заоч. науч.-практ. конф. (Минск, 1–15 дек. 2015 г.) / М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. науч.-исслед. ин-т трансп. «Транстехника». – Минск, 2016. – С. 110–114.
11. Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – Москва : Транспорт, 1987. – 249 с.
12. Хан, Г. Статистические модели в инженерных задачах / Г. Хан, С. Шапиро. – Москва : Мир, 1969. – 393 с.
13. Циркунов, Г. А. Расчет временных параметров технологического процесса пограничной перегрузочной станции : пособие по курсовому и дипломному проектированию / Г. А. Циркунов, И. А. Еловой, В. С. Зайчик. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 38 с.
14. Шляхи підвищення конкурентоспроможності залізничного транспорту в сучасних умовах / П. В. Бех, Г. І. Нестеренко, С. І. Музикіна, О. В. Лашков, М. І. Музикін // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 5 (59). – С. 25–39. doi: 10.15802/stp2015/55349.
15. Barankova, I. Automated control system of a factory railway transport based on ZigBee / I. Barankova, U. Mikhailova, G. Lukianov // 2016 2nd Intern. Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM) (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016). – Chelyabinsk, 2017. doi: 10.1109/icieam.2016.7910923.
16. Khalipova, N. V. International logistics systems design and effectiveness evaluation / N. V. Khalipova // Наука та прогрес транспорту. – 2015. – № 4 (58). – P. 142–152. doi: 10.15802/STP2015/49222.
17. Mussone, L. An analytical approach to calculate the capacity of a railway system / L. Mussone, R. W. Calvo // European Journal of Operational Research. – 2013. – Vol. 228. – Iss. 1. – P. 11–23. doi: 10.1016/j.ejor.2012.12.027.
18. Train design and routing optimization for evaluating criticality of freight railroad infrastructures / A. A. Khaled, M. Jin, D. B. Clarke, M. A. Hoque // Transportation Research Part B: Methodological. – 2015. – Vol. 71. – P. 71–84. doi: 10.1016/j.trb.2014.10.002.
19. Vulnerability evaluation of freight railway networks using a heuristic routing and scheduling optimization model / M. Bababeik, M. M. Nasiri, N. Khademi, A. Chen // Transportation. – 2017. – P. 1–28. doi: 10.1007/s11116-017-9815-x.
20. Zhang, Z. A quantitative approach for assessing the critical nodal and linear elements of a railway infrastructure / Z. Zhang, X. Li, H. Li // International Journal of Critical Infrastructure Protection. – 2015. – Vol. 8. – P. 3–15. doi: 10.1016/j.ijcip.2014.11.001.

І. О. ЄЛОВИЙ^{1*}, Є. М. ПОТИЛКІН^{2*}

^{1*}Каф. «Управління вантажною та комерційною роботою», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 734 11 40, ел. пошта ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X

^{2*}Каф. «Управління вантажною та комерційною роботою», Білоруський державний університет транспорту, вул. Кірова, 34, Гомель, Республіка Білорусь, 246653, тел. +37 (529) 808 77 87, ел. пошта gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243

РОЗПОДІЛ РУХОМОГО СКЛАДУ ДЛЯ ВІДСТОЮ МІЖ ШЛЯХАМИ ЗАГАЛЬНОГО ТА НЕЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Мета. Особливої актуальності в умовах збільшення частки приватних вагонів набувають завдання вибору оптимальних режимів взаємної роботи шляхів загального і не загального користування. Тому метою цієї роботи є розробка підходу до обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального та промислового залізничного транспорту з позиції розподілу вагонів, які направляються у відстій, між залізничними коліями загального й не загального користування. **Методика.** Для досягнення поставленої мети використано методи наукового аналізу, теорії графів, техніко-економічних розрахунків і математичної статистики, а також експериментально-статистичні методи складання моделей. **Результати.** Отримано залежність потрібної місткості залізничних шляхів, в якій враховується частка приватних вагонів загальному парку, що надходять на місця незагального користування. Запропоновано схему вибору місця розміщення вагонів для обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального й промислового залізничного транспорту з урахуванням наявного колійного оснащення та доцільності його подальшого розвитку. **Наукова новизна.** Дане завдання в такій постановці до теперішнього часу не вирішене, що й визначає актуальність та новизну дослідження в даному напрямку. Отримана формула по визначенню потрібної місткості залізничних колій, на відміну від існуючих способів її розрахунку, враховує вплив випадкового характеру обслуговування приватних перевізних засобів на місцях незагального користування, а також частку вагонів вантажовідправників, вантажоодержувачів у загальному парку. Запропоновано метод вибору місця розміщення приватного рухомого складу, який використовується для обґрунтування вибору режиму взаємодії магістрального і промислового залізничного транспорту з урахуванням наявного колійного оснащення та доцільності його подальшого розвитку. Відмінною особливістю представленого методу є врахування інтересів вантажовласника, як сторони, найбільшою мірою зацікавленої в ефективній взаємній роботі залізничного транспорту загального і не загального користування. **Практична значимість.** На підставі результатів дослідження можуть бути отримані рекомендації по вибору режиму взаємодії магістрального і промислового залізничного транспорту в частині розподілу вагонів, які направляються у відстій, між залізничними коліями загального і не загального користування. Це дозволить зменшити витрати вантажовласників за рахунок мінімізації економічних і тимчасових втрат і, як наслідок, зробити послуги залізничного транспорту більш привабливими для клієнтури, що призведе до підвищення його конкурентоспроможності на ринку транспортних послуг.

Ключові слова: залізнична колія незагального користування; приватний вагон; розміщення; режим взаємодії

І. А. YELOVOY^{1*}, Y. N. POTYLKIN^{2*}

^{1*}Dep. «Freight and Commercial Work Management», Belarusian State University of Transport, Kirov St., 34, Gomel, Republic of Belarus, 246653, tel. + 37 (529) 734 11 40, e-mail ugkr@belsut.gomel.by, ORCID 0000-0001-9178-563X

^{2*}Dep. «Freight and Commercial Work Management», Belarusian State University of Transport, Kirov St., 34, Gomel, Republic of Belarus, 246653, tel. +37 (529) 808 77 87, e-mail. gkrt@inbox.ru, ORCID 0000-0003-3872-8243

ROLLING STOCK DISTRIBUTION FOR PARKING BETWEEN PUBLIC AND NON-PUBLIC RAILWAY TRACKS

Purpose. The tasks of selecting the optimal modes of mutual operation of the public and non-public tracks are particularly relevant in the context of increasing the share of private cars. Therefore, the aim of this paper is to develop an approach to the justification of the choice of the interaction mode between mainline and industrial railway transport from the position of cars distribution sent to parking between public and non-public railway tracks.

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

Methodology. To achieve this purpose, authors used the methods of scientific analysis and synthesis, graph theory, as well as experimental and statistical methods of modeling. **Findings.** Dependence of the required capacity of railway tracks was obtained. It takes into account the share of private cars in the general park arriving at places of non-public use. We proposed a scheme for choosing the place of location of cars to justify the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport, taking into account the available track equipment and the expediency of its further development. **Originality.** The task in this formulation has not been solved to date, which determines the relevance and originality of research in this direction. The resulting formula for determining the required capacity of railway tracks takes into account the influence of the random nature of servicing of private conveyances at places of non-public use, as well as the share of carriages of consignors, consignees in the general park. We proposed the method for choosing the location of private rolling stock, used to justify the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport, taking into account the available track equipment and the expediency of its further development. A distinctive feature of the presented method is the consideration of the interests of the cargo owner, as a party most interested in the effective mutual work of public and non-public railway tracks. **Practical value.** Based on the results of the study recommendations can be received on the choice of the mode of interaction between the main and industrial railway transport in the part of the cars distribution sent to parking between public and non-public railway tracks. This will reduce the costs of cargo owners by minimizing economic and time losses and, as a result, make railroad services more attractive to customers, which will lead to an increase in its competitiveness in the transport services market.

Keywords: non-public railway track; private car; location; mode of interaction

REFERENCES

- Borodin, A. F., & Sotnikov, Y. A. (2011). Ratsionalnoe sootnoshenie vmeshtimosti putey stantsiy i vagonnykh parkov s uchetom uvelicheniya doli privatnykh vagonov. *Zheleznodorozhnyy transport*, 3, 8-19. (in Russian)
- Vernigora, R. V. (2012). Problemy funktsionirovaniya zheleznodorozhnykh podezdnykh putey Ukrainy v sovremennykh usloviyakh. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4, 3(58), 64-68. (in Russian)
- Yelovoy, I. A. & Lebedeva, I. A. (2011). *Integrirovannyye logisticheskie sistemy dostavki resursov: teoriya, metodologiya, organizatsiya*. Minsk: Pravo i ekonomika (in Russian)
- Zharikova, L. S. (2016). Sovershenstvovanie sistemy rascheta elementov prostoya vagonov na stantsiyakh v uvyazke s opredeleniem sroka dostavki. (*Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk*). Sibirskiy gosudarstvennyy universitet putey soobshcheniya, Novosibirsk. (in Russian)
- Kozachenko, D. M., Verlan, A. I., & Horbova, O. V. (2015). Calculated volumes determination of work for main-line and industrial railway stations. *Science and Transport Progress*, 3(57), 45-57. doi: 10.15802/stp2015/46049. (in Russian)
- Kostevich, L. S., & Lapko, A. A. (2008). *Issledovanie operatsiy. Teoriya igr: uchebnoe posobie*. Minsk: Vyshjeshhaja shkola. (in Russian)
- Smekhov, A. A., Lazarev, H. M., Deribas, A. G., & Babushkin, G. F. et. al. (1973). *Optimizatsiya protsessov gruzovoy raboty*. Moscow: Transport. (in Russian)
- Komarov, A. V., & Kravchenko, V. S. (eds). (1988). *Povyshenie kachestva transportnogo obsluzhivaniya narodnogo khozyaystva*. Moscow: Transport. (in Russian)
- Potylkin, E. N. (2016). Zakonomernosti tekhnologicheskikh parametrov v logisticheskikh sistemakh dostavki gruzov s ispolzovaniem zheleznodorozhnykh putey neobshchego polzovaniya. *Nauka i transport. Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta transporta*, 2, 51-53. (in Russian)
- Potylkin, E. N. (2015). Konkurentosposobnost skhem dostavki gruzov s ispolzovaniem zheleznodorozhnykh putey neobshchego polzovaniya. *Problemy i perspektivy razvitiya transportnogo kompleksa: materialy Mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Minsk, 1-15 December, 2015 y.)*, 110-114. Minsk: Belorusskiy nauchno-issledovatel'skiy institut transporta «Transtekhnika». (in Russian)
- Pravdin, N. V., Dykanyuk, M. L., & Negrey, V. Ya. (1987). *Prognozirovanie gruzovykh potokov*. Moscow: Transport. (in Russian)
- Khan, G., & Shapiro, S. (1969). *Statisticheskie modeli v inzhenernykh zadachakh*. Moscow: Mir. (in Russian)
- Tsirkunov, G. A., Yelovoy, I. A., & Zaychik, V. S. (2000). *Raschet vremennykh parametrov tekhnologicheskogo protsessu pogranichnoy peregruzochnoy stantsii: posobie po kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu*. Gomel: BelGUT. (in Russian)
- Bech, P. V., Nesterenko, G. I., Muzykina, S. I., Lashkov, O. V., & Muzykin, M. I. (2015). Ways to increase competitiveness of railway transport in modern conditions. *Science and Transport Progress*, 5(59), 25-39. doi: 10.15802/stp2015/55349. (in Ukrainian)

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ ЗАСОБІВ ТРАНСПОРТУ

15. Barankova, I., Mikhailova, U., & Lukianov, G. (2017). Automated control system of a factory railway transport based on ZigBee. *2016 2nd International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)* (Chelyabinsk, Russia, 19–20 May 2016). Chelyabinsk. doi: 10.1109/icieam.2016.7910923. (in English)
16. Khalipova, N. V. (2015). International logistics systems design and effectiveness evaluation. *Science and Transport Progress*, 4(58), 142-152. doi: 10.15802/STP2015/49222. (in English)
17. Mussone, L., & Calvo, R. W. (2013). An analytical approach to calculate the capacity of a railway system. *European Journal of Operational Research*, 228, 1, 11-23. doi: 10.1016/j.ejor.2012.12.027. (in English)
18. Khaled, A. A., Jin, M., Clarke, D. B., & Hoque, M. A. (2015). Train design and routing optimization for evaluating criticality of freight railroad infrastructures. *Transportation Research Part B: Methodological*, 71, 71-84. doi: 10.1016/j.trb.2014.10.002. (in English)
19. Bababeik, M., Nasiri, M. M., Khademi, N. & Chen, A. (2017). Vulnerability evaluation of freight railway networks using a heuristic routing and scheduling optimization model. *Transportation*, 1-28. doi: 10.1007/s11116-017-9815-x. (in English)
20. Zhang, Z., Li, X., & Li, H. (2015). A quantitative approach for assessing the critical nodal and linear elements of a railway infrastructure. *International Journal of Critical Infrastructure Protection*, 8, 3-15. doi: 10.1016/j.ijcip.2014.11.001. (in English)

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. Д. Н. Козаченко (Украина)

Поступила в редколлегию: 06.12.2017

Принята к печати: 23.03.2018