

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТРЕБНОГО ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПРИВАТНЫХ ВАГОНОВ

Особую актуальность в условиях увеличения доли частных вагонов приобретают задачи выбора оптимальных режимов взаимной работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта. В связи с этим для обоснования выбора режима взаимодействия в части распределения частных вагонов, направляемых во временное размещение, между железнодорожными путями общего и необщего пользования необходимо знать потребную вместимость путей. Разработана методика расчета потребной длины железнодорожных путей для временного размещения частного подвижного состава в условиях множественности операторов вагонного парка.

**В** настоящее время условия работы железнодорожного транспорта характеризуются повышением доли вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке. Данное обстоятельство нашло отражение в изменении структуры вагонопотока, поступающего на железнодорожные пути необщего пользования, при обслуживании которого вагоны инвентарного парка имеют приоритет, а частный подвижной состав всё чаще направляется во временное размещение. Большинство грузоотправителей, грузополучателей размещают свой подвижной состав на путях необщего пользования, количества и длины которых зачастую не хватает, что требует строительства новых железнодорожных путей. Для этого надо установить необходимое путевое развитие для временного размещения подвижного состава.

Для определения продолжительности размещения вагонов рассмотрено 2 варианта компенсации неравномерности при организации работы по вывозу продукции с мест погрузки: 1) содержание запаса порожних вагонов; 2) содержание дополнительных складских емкостей. Вагонопоток, следующий передаточными поездами с технической станции в адрес грузовых фронтов, характеризуется интенсивностью поступления вагонов, которые в среднем находятся на пути необщего пользования в течение времени  $T_{\text{нах}}$ . При этом интенсивность входящего на путь необщего пользования потока равна сумме интенсивностей входящего потока на каждый грузовой фронт. Современные рыночные условия заставляют производство быть клиентоориентированным, поэтому интенсивность производства продукции  $\lambda_{\text{п}}$

должна быть равна интенсивности спроса на нее  $\lambda_{\text{с}}$ . Однако по скоропортящимся и ряду других грузов возможна порча продукции, потери от несохранных перевозок и др. Поэтому среднее предложение, как правило, больше среднего спроса [14, с. 183]. В рассматриваемой модели принимается  $\lambda_{\text{п}j} = \lambda_{\text{с}j}$  (рисунок 1).

Поскольку интенсивность поступления вагонов и средняя продолжительность их нахождения на пути необщего пользования являются случайными величинами, они могут отклоняться от своих средних значений. В связи с этим максимальное количество вагонов, которое может поступить на путь необщего пользования, можно определить по формуле

$$m_{\text{max}} = \sum_{j=1}^{N_{\text{гф}}} \lambda_{\text{с}j} T_{\text{нах}} K'_{\text{нер}}, \tag{1}$$

где  $N_{\text{гф}}$  – количество фронтов погрузки на пути необщего пользования,

$$1 \leq N_{\text{гф}} \leq N_{\text{гф}}^{\text{max}}, \tag{2}$$

$N_{\text{гф}}^{\text{max}}$  – общее количество грузовых фронтов на пути необщего пользования;  $K'_{\text{нер}}$  – коэффициент неравномерности вагонопотоков на железнодорожных участках,

$$K'_{\text{нер}} = 1 + v_{\text{тп}}, \tag{3}$$

$v_{\text{тп}}$  – коэффициент вариации колебаний транспортного потока.

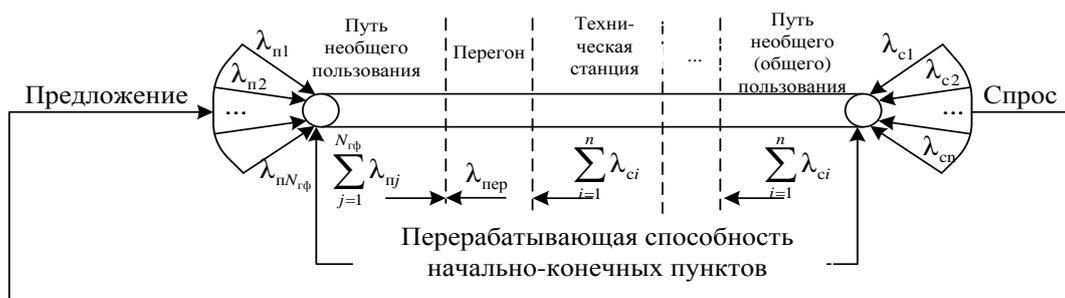


Рисунок 1 – Схема канала движения ресурсов с использованием железнодорожного транспорта в системе «спрос – предложение»

Продолжительность нахождения вагонов на пути необщего пользования

$$T_{\text{нах}} = \varphi_{\text{пмп}} \theta, \quad (4)$$

где  $\varphi_{\text{пмп}}$  – доля оборота вагона, приходящаяся на его нахождение на железнодорожном пути необщего пользования;  $\theta$  – оборот приватного подвижного состава, ч.

Как видно из рисунка 2, в последние годы заметна тенденция к увеличению  $\varphi_{\text{пмп}}$  [4].

Значение коэффициента вариации колебаний транспортно-потока определяется в соответствии с [2, с. 163] в зависимости от продолжительности расчетного периода и интенсивности потока.

Из всего числа вагонов во временном размещении будет находиться

$$m = (1 - \rho)m_{\text{max}}, \quad (5)$$

где  $\rho$  – коэффициент полезного использования вагона во времени на пути необщего пользования.

$$0 \leq \rho \leq 1. \quad (6)$$

Коэффициент  $\rho$  отражает степень полезного использования вагона во времени, то есть если вагон находился на пути необщего пользования в течение некоторого промежутка времени  $t$ , то в течение времени  $(1 - \rho)t$  вагон находился во временном размещении. Формула (4) применима для 1-го рассматриваемого варианта компенсации неравномерности (наличие запаса порожних вагонов). При этом к числу затрат, вызванных временным размещением подвижного состава, можно отнести: а) затраты на содержание подвижного состава

З<sub>ис</sub>; б) затраты, связанные с занятием железнодорожных путей подвижным составом, находящимся в отстое З<sub>сп</sub>.

В случае, когда для компенсации неравномерности используются дополнительные складские емкости (вариант 2), технология организации работы предполагает возможность образования очередей из групп вагонов, ожидающих обслуживания. При этом в складских емкостях  $j$ -го грузового фронта требуется дополнительно хранить накапливающуюся продукцию в объеме

$$\Delta Q_j = n_{\text{тр}}^{\text{оч}} m_{\text{ср}}^{\text{гп}j} P_{\text{с}j}, \quad (7)$$

где  $n_{\text{тр}}^{\text{оч}}$  – величина очереди из групп вагонов, групп ваг./очередь;  $m_{\text{ср}}^{\text{гп}j}$  – число вагонов в группе в составе передачи в адрес  $j$ -го грузового фронта, ваг./группа;  $P_{\text{с}j}$  – статическая нагрузка на вагон при перевозке продукции, погруженной на  $j$ -м грузовом фронте, т/ваг.

При интенсивности спроса на  $j$ -й вид продукции  $\lambda_{\text{с}j}$ , ваг./сут, на  $j$ -й грузовой фронт за сутки прибывает  $\lambda_{\text{с}j} \cdot 1$  вагонов. Данный поток может прибывать в  $N_{\text{пер}j}$  передачах. Вероятность прибытия вагонов в передаточных поездах в адрес  $j$ -го грузового фронта

$$p_j = \frac{\lambda_{\text{с}j}}{N_{\text{тф}} \sum_{j=1} \lambda_{\text{с}j}}; \quad (8)$$

$$\sum_{j=1}^{N_{\text{тф}}} p_j = 1. \quad (9)$$

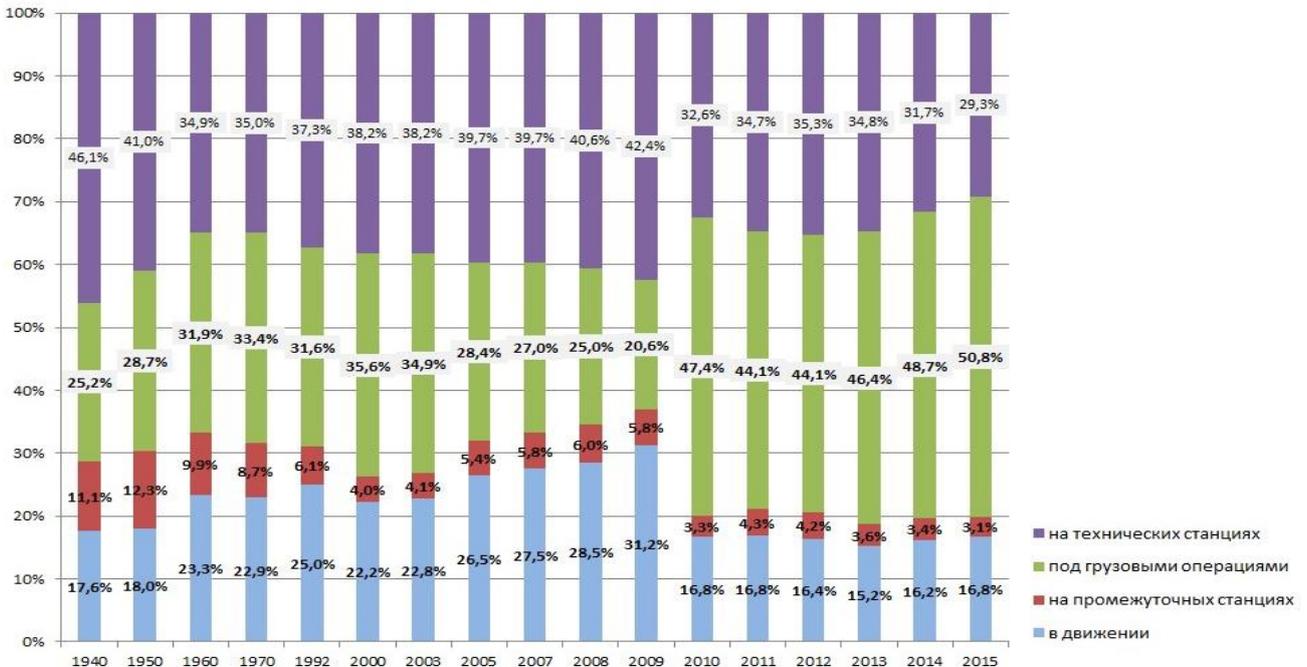


Рисунок 2 – Структура оборота грузового вагона

В таком случае средневзвешенное число передач, в которых прибывают вагоны в адрес  $j$ -го грузового фронта, можно определить по формуле

$$N = \sum_{i=1}^{N_{\text{пер}j}} i p_{ji}. \quad (10)$$

Следует отметить, что режимы взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта могут различаться в зависимости от продолжительности их работы в течение суток (таблица 1).

Таблица 1 – Режимы взаимодействия магистрального и промышленного железнодорожного транспорта

Режим работы		Пути необщего пользования	
		круглосуточный	некруглосуточный
Железнодорожной станции	круглосуточный	Круглосуточный	Некруглосуточный
	некруглосуточный	Некруглосуточный	Некруглосуточный

Если станция и путь необщего пользования взаимодействуют в течение  $T_{сут}$  ч/сут, тогда среднее число вагонов в группе в составе передачи в адрес  $j$ -го грузового фронта

$$m_{cp}^{грj} = \frac{\lambda_{cj}}{N} \cdot \frac{T_{сут}}{24}, \quad (11)$$

а средневзвешенное количество вагонов в группе для всего пути необщего пользования

$$m_{cp}^{гр} = \sum_{j=1}^{N_{гф}} p_j m_{cp}^{грj} = \sum_{j=1}^{N_{гф}} \frac{\lambda_{cj}}{\sum_{j=1}^{N_{гф}} \lambda_{cj}} m_{cp}^{грj}. \quad (12)$$

При неизменной перерабатывающей способности грузового фронта увеличение  $m_{cp}^{гр}$  может повлечь образование очередей из групп вагонов  $n_{гр}^{оч}$ . Поскольку в качестве требования в рассматриваемой модели выступает группа вагонов в составе передачи в адрес грузового фронта, а обслуживающим устройством является путь необщего пользования, то размер очереди зависит от вероятности отсутствия временного размещения вагонов на железнодорожных путях необщего пользования  $\rho$ :

$$n_{гр}^{оч} = \frac{\rho^2 (v_c^2 + v_{обсл}^2)}{2(1-\rho)}, \quad (13)$$

где  $v_c$  – коэффициент вариации интенсивности общего спроса на все виды продукции, отгружаемой на пути необщего пользования;  $v_{обсл}$  – коэффициент вариации продолжительности нахождения вагонов на пути необщего пользования.

Анализ собранных статистических данных показал, что каждый путь необщего пользования имеет свое значение  $v_{обсл}$ , которое, как правило, изменяется в пределах от 0,2 до 0,4.

Вместимость дополнительных складских емкостей, выраженная в тоннах для всего пути необщего пользования,

$$\Delta Q = \sum_{j=1}^{N_{гф}} \Delta Q_j. \quad (14)$$

Если выразить через средневзвешенные величины,

$$Q = N_{гф} m_{cp}^{гр} n_{гр}^{оч} P_{ст}, \quad (15)$$

где  $P_{ст}$  – средневзвешенная статическая нагрузка на вагон на пути необщего пользования,

$$P_{ст} = \sum_{j=1}^{N_{гф}} p_j P_{стj}. \quad (16)$$

При этом к числу затрат, вызванных привлечением дополнительных складских емкостей можно отнести: а) затраты на хранение грузов в объеме  $Q$  ( $Z_{xp}$ ); б) затраты от иммобилизации средств в запасах ( $Z_{им}$ ).

Составлена целевая функция, включающая затраты по вариантам

$$E = Z_{xp} + Z_{им} + Z_{пс} + Z_{сп} \rightarrow \min. \quad (17)$$

Затраты на хранение грузов определяются по формуле

$$Z_{xp} = Q c_{xp} t, \quad (18)$$

где  $c_{xp}$  – плата за хранение 1 т груза в течение 1 часа, ден.ед./т·ч;  $t$  – период времени, для которого определяются затраты.

Затраты от иммобилизации средств в запасах можно рассчитать следующим образом:

$$Z_{им} = \frac{Q \Pi_{им} i_{им} t}{24 T_{год}}, \quad (19)$$

где  $\Pi_{им}$  – стоимость оборотных средств, ден.ед./т;  $i_{им}$  – процент по депозиту, 1/год; 24 – количество часов в сутках, ч/сут;  $T_{год}$  – количество дней в году, сут/год.

Затраты на содержание подвижного состава

$$Z_{пс} = m c_{пс} t, \quad (20)$$

где  $c_{пс}$  – стоимость содержания вагона, ден.ед./ваг·ч.

Затраты, связанные с занятием железнодорожных путей подвижным составом, можно определить по формуле

$$Z_{сп} = m c_{сп} t, \quad (21)$$

где  $c_{сп}$  – плата за занятие железнодорожных путей одним вагоном, ден.ед./ваг·ч.

Выражение (18) можно представить следующим образом:

$$E = Q c_{xp} t + \frac{Q \Pi_{им} i_{им} t}{24 T_{год}} + m c_{пс} t + m c_{сп} t \rightarrow \min. \quad (22)$$

$$E = N_{гф} m_{cp}^{гр} P_{ст} \frac{\rho^2 (v_c^2 + v_{обсл}^2)}{2(1-\rho)} \cdot \left( c_{xp} t + \frac{\Pi_{им} i_{им} t}{24 T_{год}} \right) + (1-\rho) \sum_{j=1}^{N_{гф}} \lambda_{cj} T_{нах} K'_{нер} (c_{пс} t + c_{сп} t) \rightarrow \min. \quad (23)$$

С учетом равенств (7)–(9) после дифференцирования целевой функции по  $\rho$  получено

$$\rho = 1 - \frac{1}{1 + \frac{\sum_{j=1}^{N_{гф}} \lambda_{cj} T_{нах} K'_{пер} (c_{сп} + c_{пс})}{\frac{N_{гф} T_{сут}}{24} \left( \sum_{j=1}^{N_{гф}} \frac{\lambda_{cj}^2}{\sum_{i=1}^{N_{перj}} ip_{ji}} \right) \frac{(v_c^2 + v_{обсл}^2)}{2} P_{ст} \left( c_{хр} + \frac{\Pi_{им} i_{им}}{24 T_{год}} \right)}}}. \quad (24)$$

При равномерном законе распределения вероятности прибытия вагонов в передаточных поездах получается

$$\rho = 1 - \frac{1}{1 + \frac{48 T_{нах} N_{пер} K'_{пер} (c_{сп} + c_{пс})}{N_{гф} T_{сут} (v_c^2 + v_{обсл}^2) P_{ст} \left( c_{хр} + \frac{\Pi_{им} i_{им}}{24 T_{год}} \right)}}}. \quad (25)$$

Таким образом, определен оптимальный коэффициент полезного использования вагона во времени на пути необщего пользования по критерию минимума затрат по рассматриваемым вариантам. Стоит отметить, что значение полученного коэффициента уменьшается с увеличением значения коэффициента вариации интенсивности спроса на продукцию и повышается с ростом количества передач вагонов на путь необщего пользования (рисунок 3).

Продолжительность временного размещения вагонов

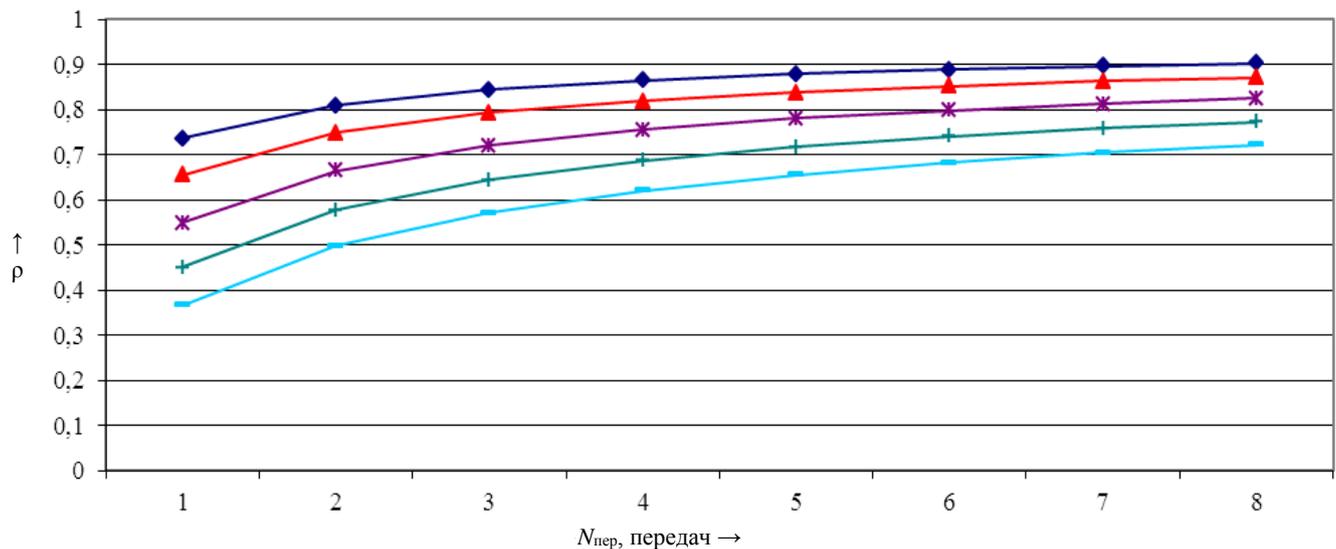


Рисунок 3 – Зависимость оптимального коэффициента полезного использования вагона во времени на пути необщего пользования от количества передач вагонов при различных значениях коэффициента вариации спроса на продукцию.

—  $v_c = 0,1$ ; —  $v_c = 0,3$ ; —  $v_c = 0,5$ ; —  $v_c = 0,7$ ; —  $v_c = 0,9$

Анализ графика, представленного на рисунке 4, показал, что увеличение интенсивности спроса и оборота вагонов грузоотправителей, грузополучателей влечет необходимость содержания большего путевого развития для временного размещения подвижного состава.

Полученные зависимости могут быть использованы при определении путевого развития путей необщего

$$T_1 = T_{нах} (1 - \rho), \quad (26)$$

$$T_1 = \frac{\Phi_{ПНП} \theta}{\sqrt{1 + \frac{48 T_{нах} N_{пер} K'_{пер} (c_{сп} + c_{пс})}{N_{гф} T_{сут} (v_c^2 + v_{обсл}^2) P_{ст} \left( c_{хр} + \frac{\Pi_{им} i_{им}}{24 T_{год}} \right)}}}. \quad (27)$$

Для определения количества железнодорожных путей для временного размещения вагонов следует рассчитать их требуемую суммарную полезную длину

$$L = l_{ваг}^{сп} N_{ваг}, \quad (28)$$

где  $l_{ваг}^{сп}$  – средняя длина вагона, м/ваг;  $N_{ваг}$  – количество вагонов, находящихся во временном размещении на железнодорожных путях необщего пользования:

$$N_{ваг} = \sum_{j=1}^{N_{гф}} \lambda_{cj} T_1, \quad (29)$$

$$L = \frac{\sum_{j=1}^{N_{гф}} \lambda_{cj} l_{ваг}^{сп} \Phi_{ПНП} \theta}{\sqrt{1 + \frac{48 T_{нах} N_{пер} K'_{пер} (c_{сп} + c_{пс})}{N_{гф} T_{сут} (v_c^2 + v_{обсл}^2) P_{ст} \left( c_{хр} + \frac{\Pi_{им} i_{им}}{24 T_{год}} \right)}}}. \quad (30)$$

Графическая интерпретация зависимости представлена на рисунке 4.

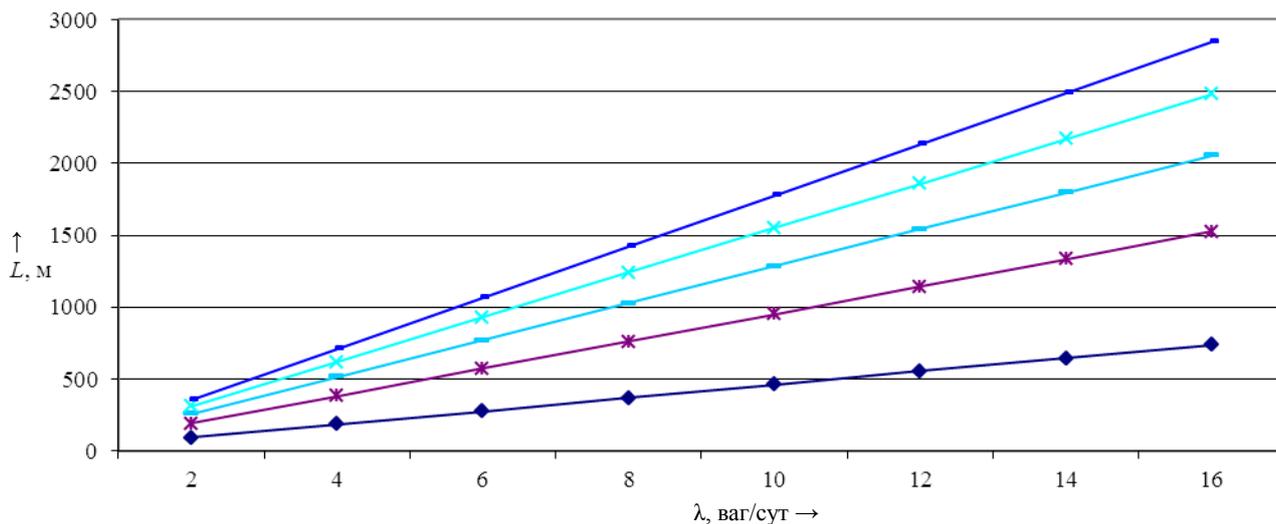


Рисунок 4 – Зависимость суммарной полезной длины путей от интенсивности спроса на продукцию при различных значениях оборота приватного вагона:

◆  $\theta = 4$  сут; \*  $\theta = 12$  сут; —  $\theta = 20$  сут; —×  $\theta = 28$  сут; —  $\theta = 32$  сут

Обобщая представленный материал, можно сделать следующие выводы:

1) современный этап развития железнодорожного транспорта характеризуется увеличением доли вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке, что особенно обостряет проблему их временного размещения на железнодорожных путях, а также ставит вопрос о целесообразности организации работы на путях необщего пользования с использованием запаса порожних вагонов для реагирования на оперативные изменения условий работы;

2) в процессе решения поставленных задач получена формула для определения оптимального коэффициента полезного использования вагона во времени на пути необщего пользования по критерию минимума затрат. В соответствии с ней оптимальный коэффициент принимает значения от 0,55 до 0,93 при изменении коэффициента вариации интенсивности спроса на продукцию в пределах от 0,1 до 0,5, что свидетельствует об адекватности представленной модели и ее соответствии реальности;

3) установлены аналитические зависимости суммарной полезной длины железнодорожных путей, необхо-

димых для временного размещения вагонов, от их интенсивности спроса на продукцию и оборота подвижного состава. Например, при обороте вагона, равном 20 суткам, увеличение на интенсивности спроса на 2 ваг./сут приводит к изменению полезной длины путей, необходимых для размещения вагонов на 256 м.

#### Список литературы

- 1 Григорюк, В. Ф. Оптимизация взаимодействия пунктов погрузки и выгрузки вагонов / В. Ф. Григорюк. – М. : Транспорт, 1986. – 79 с.
- 2 Правдин, Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М. : Транспорт, 1987. – 249 с.
- 3 Типовой технологический процесс работы сортировочной участковой станции Белорусской железной дороги: СТП БЧ 15–249–2012. – Введ. 2012–12–12. – Минск : Белорусская ж. д., 2012. – 241 с.
- 4 Хусаинов, Ф. Оборот вагона – главный миф железных дорог [Электронный ресурс]. / Ф. Хусаинов // Информационное агентство РЖД Партнер.ru – 2017. – Режим доступа : [http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/oborot-vagona-glavnyi-mif-zheleznykh-dorog/?sphrase\\_id=16479](http://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/news/oborot-vagona-glavnyi-mif-zheleznykh-dorog/?sphrase_id=16479). – Дата доступа : 21.07.2017.

Получено 24.01.2018

**E. N. Potylkin.** Definition of consumer travel development for temporary placement of private wagons.

Particularly topical in the face of increasing the share of private wagons are the tasks of choosing the optimal modes of mutual operation of the main and industrial railway transport. In this regard in order to justify the choice of the mode of cooperation regarding the distribution of private wagons sent to temporary accommodation, between the railway routes of general and non-public use, it is necessary to know the required capacity of the tracks. A methodology for calculating the required length of railroad tracks for the temporary placement of private rolling stock in conditions of the multiplicity of operators of the car fleet has been developed.