

УДК 656.4.014.76

Е. Н. ПОТЫЛКИН, научный сотрудник, Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ПОТРЕБНАЯ ВМЕСТИМОСТЬ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПУТЕЙ ДЛЯ ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВАГОНОВ

В условиях увеличения доли собственных вагонов в общем парке особую актуальность приобретают задачи выбора рациональных режимов взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования, что требует определения потребной вместимости железнодорожных путей для временного размещения подвижного состава. Предложен способ расчета вместимости путей, отличительной особенностью которого является учет как неравномерности потока вагонов, так и продолжительности временного размещения вагонов.

Взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в современных условиях их работы, как правило, рассматривают по следующим аспектам:

- технологический;
- информационный;
- инфраструктурный.

Указанные аспекты существуют одновременно, неразрывно и в совокупности отражают особенности совместной работы железнодорожных станций и путей необщего пользования.

С точки зрения технологии взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования в соответствии с действующими нормативно-правовыми актами Белорусской железной дороги осуществляется по уведомлениям. В то же время ввиду сложившейся практики на крупных промышленных предприятиях существуют режимы через равные интервалы времени, а также по расписанию. В этих случаях актуальным остается вопрос организации погрузки продукции из производства в перевозочные средства, используя последние для погашения среднесуточной неравномерности.

Информационное взаимодействие железнодорожного транспорта общего и необщего пользования должно обеспечивать оперативность предоставления и анализа информации для выполнения маневровых операций, грузовой и коммерческой работы, организации временного размещения вагонов, планирования работы станции примыкания и железнодорожного пути необщего пользования.

Взаимодействие с позиции инфраструктуры подразумевает организацию работы магистрального и промышленного железнодорожного транспорта по распределению подвижного состава между железнодорожными путями общего и необщего пользования с учетом обеспечения непрерывного и бесперебойного перевозочного процесса, ускорения оборачиваемости транспортных средств и минимизации издержек грузовладельцев, операторов собственного вагонного парка.

При рассмотрении взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования с позиции инфраструктуры исследуется путевое оснащение станции и железнодорожного пути необщего пользования с учетом продолжительности нахождения вагонов на путях.

В качестве примера рассмотрена продолжительность нахождения вагонов различной формы собственности на железнодорожном пути необщего пользования 4 рудоуправления ОАО «Беларуськалий» при перевозках технических калийных удобрений. Гистограммы распределения продолжительности нахождения приведены на рисунке 1.

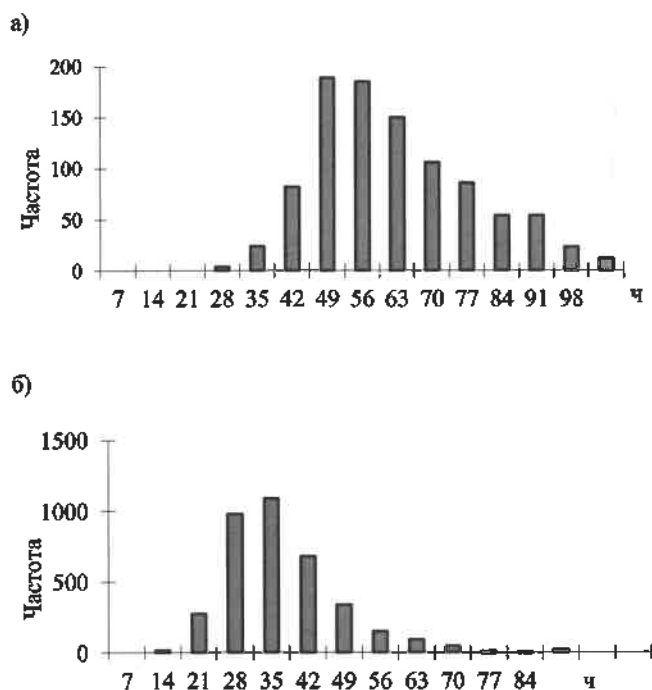


Рисунок 1 – Гистограммы распределения продолжительности нахождения вагонов:
а – собственных; б – инвентарных

Характерно, что в зависимости от принадлежности подвижного состава продолжительность нахождения на железнодорожном пути необщего пользования имеет существенный размах. Как видно из рисунка 1, наибольший размах характерен для продолжительности обработки собственных вагонов. При этом математическое ожидание для инвентарного подвижного состава составило 37 часов, а для собственного – 59 часов. Всё это свидетельствует о повышении неравномерности, а также самой продолжительности нахождения подвижного состава на железнодорожных путях необщего

пользования при использовании для перевозок грузов собственных вагонов.

Продолжительность нахождения вагонов на железнодорожных путях наряду с интенсивностью вагонопотока является основным параметром, оказывающим влияние на потребное путевое развитие в местах зарождения, погашения грузопотоков.

В условиях увеличения уровня неравномерности особую актуальность приобрели задачи определения степени влияния продолжительности нахождения вагонов на потребную вместимость путей мест необщего пользования, а также разработки новых подходов определения потребного путевого развития железнодорожных путей необщего пользования в условиях роста собственного вагонного парка.

В современных условиях поступление вагонов к месту погрузки, выгрузки, как и продолжительность нахождения вагонов в пункте зарождения, погашения грузопотоков, имеет вероятностный характер. В рассматриваемой ситуации имеется система двух случайных величин: m – потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования за время нахождения подвижного состава, ваг.; T_{\max} – продолжительность нахождения вагонов в пункте отправления (назначения), ч.

Расчет вместимости путей следует производить в вагонах. При этом под вместимостью железнодорожных путей при решении данной задачи понимается:

- для погрузочных, выгрузочных, погрузочно-выгрузочных путей – размер одновременной подачи на фронты, расположенные на этих путях;
- для приемо-отправочных, сортировочных, вытяжных (выставочных) путей у фронтов погрузки-выгрузки – полезная длина железнодорожного пути.

Вместимость соединительных, ходовых, вытяжных, очистных, ремонтных путей при решении задачи не учитывается, поскольку возможное продолжительное их занятие нарушает технологический процесс работы железнодорожного пути необщего пользования и железнодорожной станции примыкания.

Общее время нахождения вагона на железнодорожном пути необщего пользования представляет собой сумму большого числа случайных величин, например, таких как расформирование передачи, накопление подачи, подача и другие, а также ожидания выполнения операций. В силу центральной предельной теоремы теории вероятности распределение общей продолжительности приближается к нормальному закону. Кроме того, анализ продолжительности обработки вагонов на железнодорожных путях необщего пользования Республики Беларусь показал, что нормальный закон достаточно хорошо описывает колебания времени обработки (см. рисунок 1).

В связи с колебаниями продолжительности обслуживания вагонов на местах необщего пользования потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования будет также описываться некоторой дифференциальной кривой плотности вероятности.

Пусть условная плотность нормального закона распределения для потребной вместимости m при заданном значении t имеет вид

$$f_1(m/t) = \frac{1}{\delta_m \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(m - \lambda t)^2}{2\delta_m^2} \right], \quad (1)$$

где λ – средняя интенсивность потока вагонов, ваг./сут; δ_m – среднее квадратическое отклонение вместимости путей железнодорожного пути необщего пользования за время нахождения подвижного состава, ваг.

Пусть время нахождения подвижного состава также распределено по нормальному закону

$$f_2(t) = \frac{1}{\delta_t \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(t - \bar{t})^2}{2\delta_t^2} \right], \quad (2)$$

где \bar{t} – средняя продолжительность нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования, сут; δ_t – среднее квадратическое отклонение продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования, сут.

Совместная плотность случайных величин (t, m) равна произведению плотности одной из них на условную плотность другой при заданном значении первой [2]. После подстановки $f_1(m/t)$ и $f_2(t)$ получено

$$f_3(t, m) = f_2(t) f_1(m/t) = \frac{1}{2\pi \delta_m \delta_t} \exp \left\{ -\frac{1}{2} \left[\frac{(t - \bar{t})^2}{\delta_t^2} + \frac{(m - \lambda t)^2}{\delta_m^2} \right] \right\}. \quad (3)$$

Безусловная плотность случайной величины m определяется из уравнения

$$f(m) = \int_{-\infty}^{\infty} f_3(t, m) dt. \quad (4)$$

В развернутом виде после преобразований получено

$$f(m) = \frac{1}{\sqrt{a} \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(m - \lambda \bar{t})^2}{2a} \right], \quad (5)$$

где $a = \delta_m^2 + \delta_t^2 \lambda^2$.

График зависимости приведен на рисунке 2.

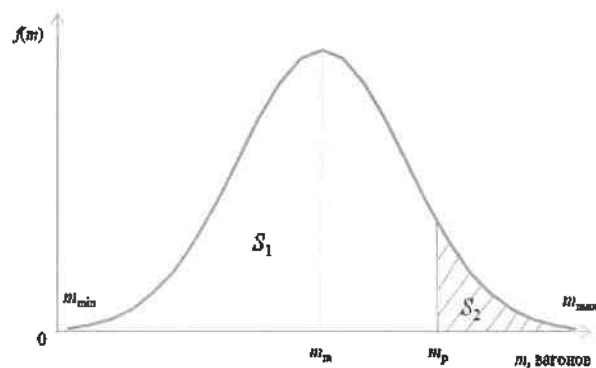


Рисунок 2 – Закон распределения потребной вместимости путей на железнодорожном пути необщего пользования

Максимальная ордината кривой плотности вероятности нормального распределения соответствует среднему значению потребной вместимости путей на

железнодорожном пути необщего пользования $m_m = \lambda t$ за год. Все значения m правее точки m_m характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость путей

превышает среднесуточное значение за год. К таким случаям относятся все точки кривой, расположенной выше линии m_m (рисунок 3).

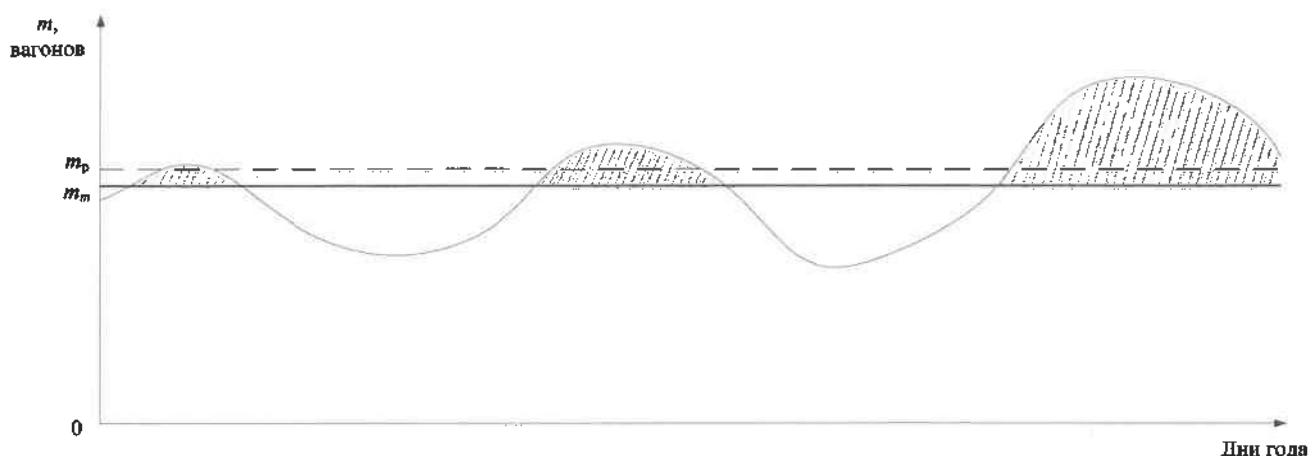


Рисунок 3 – Распределение потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования в течение года

Значение потребной вместимости m_p , равное его наличной вместимости путей, считается расчетным. Тогда все значения m в интервале $m_{\min} - m_p$ характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость железнодорожного пути необщего пользования меньше наличной вместимости. При $m < m_p$ наличного путевого развития пути необщего пользования хватает для принятия вагонов и работы с ними. Если $m = m_p$, то наступает момент, когда обслуживание подвижного состава на месте необщего пользования производится с задействованием всех резервов технического и технологического оснащения. Значения m в интервале $m_p - m_{\max}$ характеризуют случаи, когда ожидаемая потребная вместимость железнодорожного пути необщего пользования больше его наличного путевого развития. При $m > m_p$ путь необщего пользования не может справиться с поступающим в его адрес потоком вагонов, поэтому часть вагонопотока в размере $(m - m_p)$ направляется на пути станции примыкания. За нахождение вагонов на железнодорожных путях общего пользования по причинам, зависящим от грузоотправителя, грузополучателя с него взыскивается плата в размере: 50 % от платы за пользование вагонами для собственного подвижного состава; 100 % — для инвентарного. Кроме того в настоящее время за нахождение вагонов инвентарного парка на железнодорожных путях необщего пользования 24 часа и свыше уплачивается неустойка за все время нахождения подвижного состава. В связи с этим на практике в первую очередь обслуживаются вагоны инвентарного парка.

Все рассматриваемые интервалы значений m на протяжении года чередуются в различной последовательности (см. рисунок 3). При этом интервалы характеризуются следующими расчетными параметрами: r_1 — число суток в году с ожидаемой потребной вместимостью железнодорожного пути необщего пользования, изменяющейся от минимального до расчетного значения включительно; r_2 — число суток в году с ожидаемой потребной вместимостью железнодорож-

ного пути необщего пользования выше расчетного значения; M_1, M_2 — часть годового поступления вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ожидаемого за время r_1 и r_2 соответственно, ваг.; m_1, m_2 — ожидаемая потребная вместимость путей железнодорожного пути необщего пользования за время r_1 и r_2 соответственно, ваг. [1],

$$m_1 = \frac{M_1}{r_1}; \quad (6)$$

$$m_2 = \frac{M_2}{r_2}. \quad (7)$$

Часть годового поступления вагонов, ваг., на железнодорожный путь необщего пользования, ожидаемого за время r_1, r_2 , сут,

$$M_1 = 365 \int_{-\infty}^{m_p} mf(m)dm; \quad (8)$$

$$r_1 = 365 \int_{-\infty}^{m_p} f(m)dm; \quad (9)$$

$$M_2 = 365 \int_{m_p}^{+\infty} mf(m)dm; \quad (10)$$

$$r_2 = 365 \int_{m_p}^{+\infty} f(m)dm. \quad (11)$$

После выгрузки собственные порожние вагоны могут быть направлены во временное размещение.

Для временного размещения вагонов могут быть использованы следующие пути.

1 *Вытяжные (выставочные) пути у фронтов погрузки-выгрузки на железнодорожном пути необщего пользования.* В случае занятия выставочного пути отстоем вагонов технология обслуживания мест необщего пользования изменяется. В соответствии с рисунком 4 вместо [сборки → сортировки → сборки] выполняется [сборка → сортировка → сборка → сортировка].

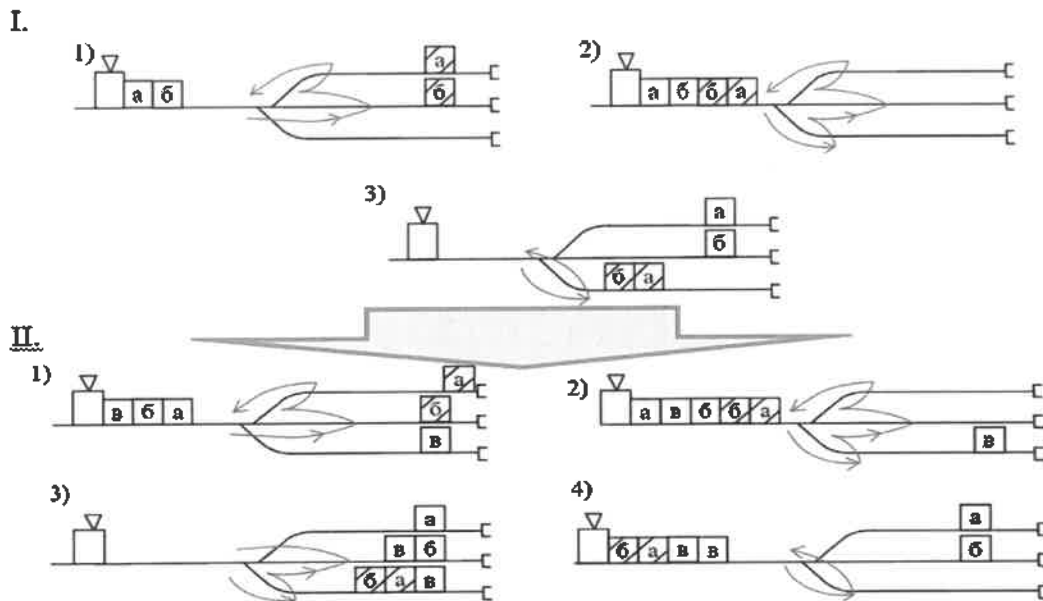


Рисунок 4 – Последовательность расстановки-сборки вагонов у фронтов погрузки а, б: I – при отсутствии отстоя вагонов на выставочном пути; II – при наличии отстоя вагонов (в) на выставочном пути

Продолжительность маневровых операций, мин: для первого случая

$$T_{\text{перез}} = 1,8(p+1) + A(g_{\text{ср}} + 1) + (m_{\text{пу}}(0,3 + Б) + m_{\text{гр}}g_{\text{ср}}(0,6 + Б))(0,0131p + 0,0368)(0,0745N_{\phi} + 0,7612) + 1,3 \frac{p}{N_{\phi}} (0,0552 \frac{L_{\text{под}}}{p+1} + 7,6169)(0,3074N_{\phi} + 0,0779); \quad (12)$$

для второго –

$$T_{\text{перез}} = 3,6 + Ap + 1,8g_{\text{ср}} + 1,3(2m_{\text{пу}})(0,3 + Б) + m_{\text{гр}}g_{\text{ср}}(0,3 + Б) + Б)(0,0289p - 0,1345)(-0,1713N_{\phi} + 0,7612) + 1,3 \frac{p}{N_{\phi}} (0,0552 \frac{L_{\text{под}}}{p+1} + 1,4091)(0,087 \frac{L_{\text{под}}}{p} + 10,215)(0,1609N_{\phi} + 0,4369). \quad (13)$$

Продолжительность дополнительной маневровой работы в i -м маневровом районе, мин (грузовом пункте) в случае занятия вытяжного пути у фронтов погрузки-выгрузки временно размещенными вагонами

$$t_{\text{дмр}i} = T_{\text{перез}i} - T_{\text{перез}i} \quad (14)$$

2 Пути отстоя либо пути со скользящей специализацией станции «Заводская» на железнодорожном пути необщего пользования. Поступившие для временного размещения вагоны направляются на пути отстоя. В случае, если путевого развития парка отстоя недостаточно, то размещение вагонов осуществляется на путях станции «Заводская» со скользящей специализацией. При нехватке общей вместимости путей вагоны направляются на станцию примыкания [3].

3 Пути станции примыкания со скользящей специализацией. Направленные в отстой вагоны, которые не были

размещены на путях необщего пользования, отстаиваются на путях станции примыкания. Распределение подвижного состава между железнодорожным путем необщего пользования и станцией примыкания приведено на рисунке 5.

В соответствии с рисунком 5 потребная вместимость путей m_2 может быть удовлетворена с помощью распределения подвижного состава между железнодорожными путями необщего и общего пользования. При этом на железнодорожном пути необщего пользования используется вся наличная вместимость путей m_p , на станции примыкания – $m_2 - m_p$.

Как отмечалось ранее, за время нахождения собственных вагонов на путях общего пользования издержки грузоотправителя (грузополучателя) составляют 50 % от платы за пользование вагонами инвентарного парка. При этом, как правило, возникают затруднения при выполнении маневровой работы вследствие использования путей не в соответствии с их специализацией, в том числе незанятых участков путей накопления. В таком случае на местах необщего пользования возникает дополнительная маневровая работа $t_{\text{дмр}i}$ на путях общего пользования – $t_{\text{дмр}2}$.



Рисунок 5 – Распределение подвижного состава между железнодорожными путями необщего и общего пользования

Технологическое время на формирование многогруппного состава, мин, включает в себя сортировку вагонов для подборки по группам и расстановку их в составе в соответствии с требованиями Правил технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь и сборку подобранных групп вагонов с разных путей в один состав

$$T_{\phi} = T_c + T_{\text{сб}} \quad (15)$$

Технологическое время на сортировку вагонов, мин, определяется по формулам

$$T_c = Ag + Bm_c; \quad (16)$$

$$T_{\text{сб}} = 1,8p + 0,3m_{\text{сб}}. \quad (17)$$

Следовательно, продолжительность дополнительной маневровой работы на путях станции примыкания, приходящейся на один отправляемый состав,

$$t_{\text{дмр}2} = A1 + B(m_2 - m_p) + 1 \cdot 1,8 + 0,3(m_2 - m_p). \quad (18)$$

4 Пути на станции отстоя. При организации временного размещения вагонов на путях станции отстоя оператор подвижного состава и перевозчик вступают в договорные отношения на отстой перевозочных средств за определенную плату. Для обеспечения отстоя вагоны следует переместить с технической станции на станцию отстоя, а также выполнить операции по снятию съемного оборудования с вагонов.

В соответствии с рисунком 2 с целью уменьшения вероятности того, что вагоны будут направлены во временное размещение на пути общего пользования, следует увеличивать наличную вместимость путей мест необщего пользования m_p . В случае уменьшения m_p путевого развития уже может не хватить для обработки поступающего вагонопотока. Это приведет к возникновению дополнительной маневровой работы, нахождению вагонов на путях общего пользования и росту издержек грузовладельца за данное нахождение вагонов. При этом сокращение наличной вместимости путей мест необщего пользования сопровождается уменьшением приведенных издержек на содержание и строительство железнодорожных путей. Таким образом, следует определить значение m_p^* , позволяющее достигнуть минимума издержек:

$$\Pi = I_{\text{дмр}} + I_{\text{ст}} + I_{\text{пр}} = f(m_p) \rightarrow \min, \quad (19)$$

где $I_{\text{дмр}}$ – издержки на дополнительную маневровую работу, ден. ед.; $I_{\text{ст}}$ – приведенные издержки содержание путей, ден. ед.; $I_{\text{пр}}$ – издержки, связанные с размещением собственных порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, ден. ед.

Графическая интерпретация задачи приведена на рисунке 6.

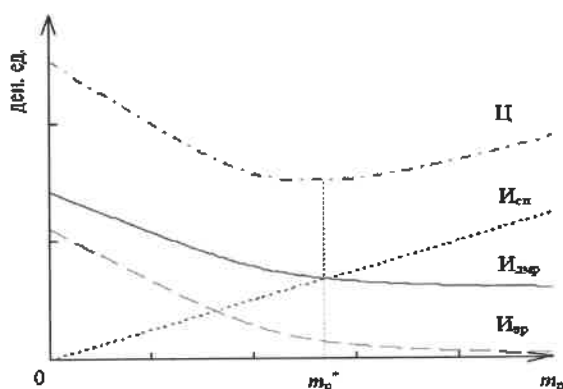


Рисунок 6 – График целевой функции

Издержки на дополнительную маневровую работу, ден. ед.,

$$I_{\text{дмр}} = c_{\text{лок-ч}} N_{\text{л}} t_{\text{дмр}}, \quad (20)$$

где $c_{\text{лок-ч}}$ – стоимость локомотиво-часа работы маневрового локомотива, ден. ед./лок. ч; $N_{\text{л}}$ – количество локомотивов, обслуживающих путь необщего пользования; $t_{\text{дмр}}$ – продолжительность дополнительной маневровой работы, мин,

$$t_{\text{дмр}} = \sum_i^{N_{\text{пр}}} N_{\text{пу}i} t_{\text{дмр}1i} + \sum_j^{N_{\text{от}}} t_{\text{дмр}2j}, \quad (21)$$

$N_{\text{пр}}$ – количество маневровых районов, где на вытяжных путях у фронтов погрузки-выгрузки временно размещены вагоны; $N_{\text{пу}i}$ – количество подач-уборок на i -й маневровый район, где на вытяжных путях у фронтов погрузки-выгрузки временно размещены вагоны; $N_{\text{от}}$ – количество отправляемых составов со станции примыкания, в том числе передач, подач.

Приведенные издержки на строительство и содержание путей, ден. ед.,

$$I_{\text{ст}} = c_{\text{ст}} m_p / l_{\text{в}}, \quad (22)$$

где $c_{\text{ст}}$ – приведенная стоимость содержания 1 м пути, ден. ед./м; $l_{\text{в}}$ – длина условного вагона, м/ваг.

Издержки, связанные с размещением собственных порожних вагонов на железнодорожных путях общего пользования, $I_{\text{пр}}$ составляют 50 % от платы за пользование вагонами инвентарного парка.

Отличительной особенностью представленного способа определения вместимости железнодорожных путей является учет вероятностного характера и возможных отклонений не только интенсивности потока вагонов, но и продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования.

Произведены расчеты потребной вместимости m_p^* железнодорожного пути необщего пользования, при которой достигается минимум издержек, связанных с временным размещением вагонов. На основании выполненных расчетов получены зависимости потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования от средней продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования при различных значениях влияющих параметров. Пример графической интерпретации полученной зависимости при средней интенсивности потока вагонов 100 ваг./сут приведен на рисунке 7.

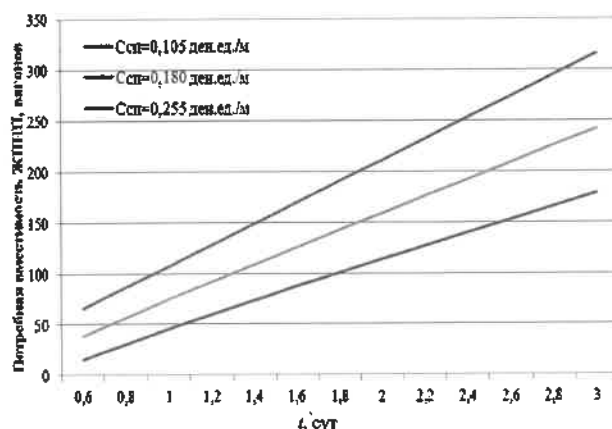


Рисунок 7 – Зависимость потребной вместимости железнодорожного пути необщего пользования от влияющих параметров

Применение представленных разработок на реальных железнодорожных путях необщего пользования Республики Беларусь (ОАО «Беларуськалий», ОАО «Гродно Азот» и др.) позволило установить, что их взаимодействие с железнодорожными станциями приемыкания с обеспечением минимальных затрат, связанных с временным размещением собственных порожних вагонов, возможно при средней продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования до 1,4 суток. Строительство данных железнодорожных путей необщего пользования осуществлялось во времена существования СССР в условиях, когда регулирование общим парком вагонов выполнялось диспетчерским аппаратом, что позволяло достигнуть минимальных значений продолжительности нахождения вагонов на местах необщего пользования. В настоящее же время данное значение может варьироваться в еще больших пределах. Это обусловлено значительными изменениями, происходящими в последние годы, касательно структуры вагонного парка по принадлежности, а также оперирования собственными перевозочными средствами частными компаниями-операторами подвижного состава. Следовательно, при проектировании новых и реконструкции уже функционирующих железнодорожных путей необщего пользования следует учитывать существующие в настоящее время условия работы железнодорожного транспорта.

Таким образом, обобщая весь представленный материал, можно сделать следующие выводы.

1 Условия работы железнодорожного транспорта в период, когда происходило строительство множества железнодорожных путей необщего пользования, которые функционируют сейчас, значительно отличаются от условий, сложившихся в настоящее время, в вопросах нормативно-правового характера, структуры вагонно-

го парка по принадлежности, оперирования вагонным парком и др.

2 Формирование новых условий работы происходило на фоне неизменного состояния инфраструктуры железнодорожных путей необщего пользования. Как следствие, в последние годы особенно острой стала проблема нехватки путевого развития, которая вызывает затруднения в маневровой работе, повторные сортировки, временное размещение вагонов на путях как необщего, так и общего пользования.

3 Предложен способ определения потребной вместимости железнодорожных путей необщего пользования, позволяющий достигнуть минимума суммарных затрат грузовладельца, связанных с временным размещением собственных вагонов. Отличительной особенностью представленного способа расчета является учет вероятностного характера и возможных отклонений как интенсивности потока вагонов, так и продолжительности нахождения вагонов на железнодорожном пути необщего пользования.

4 Разработанный способ определения потребной вместимости железнодорожных путей целесообразно использовать при проектировании новых, а также реконструкции существующих железнодорожных путей необщего пользования.

Список литературы

1 Грунтов, П. С. Методика расчёта надёжности, оптимальной мощности парков и грузовых фронтов станций : учеб. пособие / П. С. Грунтов, В. П. Ярошевич. – Гомель : БелИИЖТ, 1971. – 68 с.

2 Еловой, И. А. Эффективность логистических транспортно-технологических систем (теория и методы расчетов). В 2 ч. / И. А. Еловой. – Гомель : БелГУТ, 2000. – 536 с.

3 Пивштейн, Д. И. Совершенствование планирования и анализа показателей использования технических средств железнодорожного транспорта / Д. И. Пивштейн // Труды ЦНИИ МПС. – 1971. – № 418. – С. 1–192.

Получено 20.06.2020

E. N. Potylkin. The research of income of the Belarusian railway when operating the wagon of the inventory park outside the Republic of Belarus.

In the context of an increase in the share of own wagons in the general fleet, the problems of choosing rational modes of interaction between main and industrial rail transport are of particular relevance, which requires determining the required capacity of railway tracks for temporary placement of rolling stock. A method for calculating the capacity of tracks is proposed, the distinguishing feature of which is to take into account both the uneven flow of cars and the duration of their sludge.