4 *Художитков, П. И.* Расчет дальности станционной радиосвязи / П. И. Художитков. − Екатеринбург : УрГУПС, 2006. − 15 с. − URL: https://scbist.com/scb/uploaded/ 36366_1682796762.pdf (дата обращения: 20.09.2025).

5 *Роенков, Д. Н.* Способ оценки надежности сети поездной радиосвязи / Д. Н. Роенков, П. А. Плеханов, Н. В. Яронова // Современные технологии – транспорту. − 2017. − № 3. − С. 461−470.

6 *Польянов, В. В.* Снижение инфраструктурных ограничений радиосвязи на участках обращения длинносоставных поездов / В. В. Польянов // Железная дорога: путь в будущее : Сб. материалов II Междунар. науч. конф. аспирантов и молодых ученых к 80-летию аспирантуры и научного центра «Экономика комплексных проектов и тарифообразования» АО «ВНИИЖТ», Москва, 18 апреля 2024 года. – М. : Инфра-М, 2024. – С. 400−405.

7 *Рогинский, В. Н.* Теория сетей связи : учеб. для вузов связи / В. Н. Рогинский, А. Д. Харкевич, М. А. Шнепс [и др.]. − М. : Радио и связь, 1981. − 192 с.

8 *Polyanov, V. V.* Stochastic timetable disturbances in heavy haul and extra-long train traffic / V. V. Polyanov, V. V. Atuchin, S. A. Bessonenko // T-Comm. – 2025. – Vol. 19, № 2. – P. 53−60.

V. V. POLYANOV, S. A. BESSONENKO

MITIGATING INFRASTRUCTURE LIMITATIONS OF RADIO COMMUNICATION FOR CONTAINER TRAIN OPERATIONS AT CLASSIFICATION YARDS

The features of technology of the reference for handling long container trains resulting in occurrence of infrastuctural restrictions and significant changes in technological processes of railway stations are investigated. One of key among them is the restriction of range a station radio communication at performance shunting of works with structures length up to 130 conditional cars, that creates risks in efficiency and safety of operations, as the traditional systems of communication do not consult with the increased extent of trains. The offered measures allow not only to remove the current restrictions, but also to ensure scalability of system for the future increases length of trains, promoting increase of a general efficiency container transportations on the international transport corridors.

Получено 21.10.2025

УДК 656.212.5:625.1

Е. Н. ПОТЫЛКИН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ugkr@bsut.by

РАСЧЕТ СРЕДНЕГО ПЕРИОДА ВРЕМЕНИ МЕЖДУ ПОДАЧАМИ ВАГОНОВ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ ПУТЬ НЕОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ

Представлена методика расчета среднего периода времени между подачами вагонов на железнодорожный путь необщего пользования в условиях использования

подвижного состава грузоотправителей, грузополучателей. Решение задачи выполнено на основании недетерминированной модели, что позволяет учесть случайную составляющую во взаимодействии железнодорожного транспорта общего и необщего пользования.

Решение задачи взаимодействия железнодорожных путей необщего пользования со станциями примыкания через расчетный интервал времени, а не через число подач-уборок характеризуется наличием следующих преимуществ:

– возможность определить числа вагонов в составе конкретной подачи-уборки, что особенно актуально в условиях использования системы тарификации услуг по подаче, уборке подвижного состава, основанной на взимании платы за конкретное число поданных или убранных вагонов;

– учитываются современные условия работы железнодорожного транспорта, которые характеризуются ростом числа вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке, возможностью привлечения новых перевозчиков на железнодорожную сеть. В условиях, когда подачи-уборки в одни сутки могут выполняться разными перевозчиками, издержки грузовладельца, связанные с этими операциями, будут разными в течение суток. Это обосновывает построение целевой функции, учитывающей издержки на одну конкретную подачу-уборку, а не за сутки;

– исходя из положений теории запасов возможна синхронизация отправления (прибытия) составов с мест необщего пользования через равный интервал времени. Это позволит учесть многономенклатурность прибывающих и отправляемых грузов с мест необщего пользования и интенсивность спроса на них.

При этом решение задачи исходя из первого условия возможно:

– с разделением на технологические операции, выполняемые в каждом элементе системы путей общего и необщего пользования. В таком случае издержки грузовладельца будут рассчитаны для различных вариантов системы путей общего и необщего пользования с учетом всех возможных операций. Пытаясь достигнуть цели повышения точности расчетов за счет учета всех возможных операций в системе, следует иметь в виду, что теоретически исследование выполняется в расчетной усредненной модели. Поэтому рассматриваемый подход будет наиболее эффективен для реальных железнодорожных путей необщего пользования;

– с обобщением технологических операций в системе путей общего и необщего пользования без разделения по модулям и внутри них. Такой способ наиболее целесообразен для расчетной усредненной модели. Кроме того, результаты, полученные согласно рассматриваемому подходу, незначительно отличаются от предыдущего способа.

При выполнении подачи-уборки вагонов на фронты погрузки-выгрузки в качестве обслуживающего устройства выступает маневровый локомотив, а в качестве требования – подача-уборка вагонов. Имея в виду случайный характер работы маневровых средств, необходимо учитывать вероятностный характер возникновения простоев и их стоимость. Следовательно загрузка локомотивов должна быть экономически оправдана и обеспечивать минимум суммарных затрат на непроизводительные простои:

$$F = [\rho^2 \lambda_р N_ф T(c_{вч} + c_{фч}) / (1-\rho) + \rho^2 \lambda_в T c_{вч} / (1-\rho) + (1-\rho) c_{лч}]t \to \min, \quad (1)$$

где ρ – относительная загрузка обслуживающего устройства,

$$\rho = t_{об} / TM, \quad (2)$$

$t_{об}$ – средняя продолжительность обслуживания требования, ч/требование; T – средний интервал времени между поступлениями требований, ч/требование; M – число маневровых локомотивов, обслуживающих железнодорожный путь необщего пользования $\lambda_р$ – расчетная средневзвешенная интенсивность потока вагонов на фронты погрузки-выгрузки грузового района, ваг./ч,

$$\lambda_p = \sum_{i=1}^{N_ф} \lambda_i \frac{\lambda_i}{\lambda_в}, \quad (3)$$

$N_ф$ – количество фронтов погрузки-выгрузки, задействованных в перезарядке; λ_i – интенсивность потока вагонов на i-й фронт погрузки-выгрузки, ваг./ч; $\lambda_в$ – общая интенсивность потока вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ваг./ч,

$$\lambda_в = \sum_{i=1}^{N_ф} \lambda_i; \quad (4)$$

$c_{вч}$, $c_{фч}$, $c_{лч}$ – удельная расходная ставка, отнесенная соответственно на один вагоно-час, фронто-час, локомотиво-час; t – период времени, для которого определяются затраты, ч.

В формуле (1) принято, что поток требований подчиняется закону Пуассона, а продолжительность обслуживания на фронте распределена по показательному закону.

При поступлении вагонов на железнодорожный путь необщего пользования они могут попадать под сдвоенные операции. Вагоны инвентарного парка под сдвоенную операцию направляются по регулировочному заданию, а грузоотправителей, грузополучателей – в соответствии с заявкой (инструкцией) оператора (собственника) подвижного состава. Вагоны, на которые отсутствует инструкция на движение в порожнем состоянии и не произведена оплата за порожний рейс, направляются в отстой. Как известно, коэффициент сдвоенных операций определяется по формуле

$$К_{сдв} = \frac{U_п + U_в}{U_в + U_{нед}}, \quad (5)$$

где $U_п$, $U_в$ – соответственно суточная погрузка и выгрузка, вагонов; $U_{нед}$ – недостаток порожних вагонов.

Коэффициент сдвоенных операций принято рассчитывать для станции, но эта величина также может быть определена и для железнодорожного пути необщего пользования. При расчете $К_{сдв}$ для станции учитываются вагоны, которые могут быть поданы из-под выгрузки на месте общего либо необщего пользования, примыкающем к станции, на это же или другое место общего либо необщего пользования станции. При расчете $К_{сдв}$ для железнодорожного пути необщего пользования рассматривается перестановка подвижного состава из-под выгрузки под погрузку в его пределах.

В формуле (5) знаменатель ($U_в + U_{нед}$) соответствует числу поданных на путь необщего пользования вагонов за сутки, ваг./сут,

$$U_в + U_{нед} = 24\lambda_в. \quad (6)$$

Подставив уравнение (6) в формулу (5), получим

$$К_{сдв} = \frac{U_п + U_в}{24\lambda_в}, \quad (7)$$

Откуда

$$К_{сдв} = \frac{U_п + U_в}{24К_{сдв}}, \text{ ваг./ч.} \quad (8)$$

Коэффициент сдвоенных операций для маневровых районов нецелесообразно рассматривать ввиду того, что в большинстве случаев они проектируются для обслуживания конкретных цехов предприятий, на которых, как правило, осуществляется либо погрузка, либо выгрузка. Исключительными являются случаи, когда в пределах одного маневрового района выполняется перестановка вагонов из-под выгрузки под погрузку. Такой вариант может быть характерен для фронтов, где выполняется погрузка и выгрузка в одинаковый тип подвижного состава. Например, крытые вагоны подаются к складу, где осуществляется выгрузка одного вида тарно-штучных грузов, затем в этот же подвижной состав грузится другой вид тарно-штучных грузов.

Влияние коэффициента сдвоенных операций на продолжительность маневровой работы на железнодорожном пути необщего пользования может быть отражено через общую интенсивность потока вагонов, от которой зависит количество вагонов в составе подачи-уборки со станции. При обработке подвижного состава в маневровых районах, то есть выполнении перезарядки фронтов, следует использовать не $\lambda_в$, а конкретные интенсивности потоков вагонов на *i*-е фронты, либо средневзвешенную интенсивность потока, умноженную на количество фронтов, задействованных в перезарядке. Таким обра-

зом, $\lambda_в$ используется в пределах элементов «станция примыкания – станция заводская» системы путей общего и необщего пользования, а $\lambda_р$ – в пределах «станция заводская – маневровые районы – фронты погрузки-выгрузки». Указанное положение учтено в целевой функции (1). В ней второе слагаемое представляет собой затраты, связанные с простоем вагонов в составе подачи-уборки по причине загруженности локомотива. Здесь $\rho^2/(1-\rho)$ – средняя величина очереди из подач-уборок; $\lambda_в T$ – средний размер подачи-уборки.

В случае возникновения задержки подачи вагонов на фронты соответственно такое же время будут простаивать перевозочные средства на местах погрузки-выгрузки, что учитывается в целевой функции F первым слагаемым, где $\lambda_р T$ – расчетное средневзвешенное значение величины группы вагонов на фронте грузового района, $\rho^2/(1-\rho)$ – средняя величина очереди, а поскольку в модели рассматривается весь железнодорожный путь необщего пользования, то учтено еще и количество фронтов в нем $N_ф$.

Третье слагаемое целевой функции отражает затраты, связанные с непроизводительными простоями локомотивов $(1-\rho)c_{лч}t$.

При этом суммарная продолжительность обслуживания требования (подачи-уборки) определяется не числом локомотивов, работающих на железнодорожном пути необщего пользования, а распределением подвижного состава по грузовым (маневровым) районам и фронтам погрузки-выгрузки. Продолжительность обслуживания требования (подачи-уборки вагонов) в общем виде включает в себя: подачу вагонов со станции примыкания на железнодорожный путь необщего пользования, расформирование прибывшего состава, подборку вагонов, подачу подвижного состава на фронты погрузки-выгрузки, перезарядку фронтов, уборку перевозочных средств на пути накопления, окончание формирования, уборку вагонов на станцию примыкания, ч:

$$t_{об} = t_п^с + t_с + t_{сб} + t_п + t_{пз} + t_{уб} + t_{оф} + t_{уб}^с, \qquad (9)$$

где $t_п^с$, $t_{уб}^с$ – продолжительность соответственно подачи и уборки вагонов со (на) станции примыкания, ч,

$$t_п^с = [(\alpha_{рт} + \beta_{рт} m_{пу})v_с / 2 + 0{,}06 l_{пу}^с / v_с] / 60, \qquad (10)$$

$\alpha_{рт}$, $\beta_{рт}$ – нормативные коэффициенты; $m_{пу}$ – количество вагонов в составе подачи-уборки,

$$m_{пу} = \lambda_в T; \qquad (11)$$

$v_с$ – скорость движения маневрового состава между станцией и железнодорожным путем необщего пользования, км/ч; $l_{пу}^с$ – длина полурейса при подаче либо уборке вагонов со (на) станции примыкания, м; $t_с$ – продолжительность сортировки вагонов, ч,

$$t_с = (Ag + Б\lambda_в T) / 60, \qquad (12)$$

А, Б – нормативные коэффициенты; g – количество групп формирования; $t_{сб}$ – продолжительность сборки вагонов, ч,

$$t_{сб} = (1{,}8p_{сб} + 0{,}3\lambda_в T)/60, \qquad (13)$$

$p_{сб}$ – количество путей, с которых переставляются вагоны; $t_п$, $t_{уб}$ – продолжительность соответственно подачи и уборки вагонов в грузовые (маневровые) районы, ч;

$$t_п = m\left[\left(\alpha_{рт} + \beta_{рт}\frac{\lambda_р T N_ф}{m}\right)v/2 + 0{,}06 l_{пу}/v\right]/60, \qquad (14)$$

m – число грузовых районов на железнодорожном пути необщего пользования; v – скорость движения маневрового состава в грузовом районе, км/ч; $l_{пу}$ – длина полурейса при подаче либо уборке вагонов в грузовой район, м; $t_{пз}$ – продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки, ч. На практике в m грузовых районах возможны случаи, когда выставочный путь у фронтов может быть либо занят временно размещенными вагонами, либо не занят.

Продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки, ч, рассчитывается следующим образом:
для первого случая

$$t_{пз}^{впз} = \left\{3{,}6 + Ap_p + 1{,}8g_{ср} + 1{,}3\left[\frac{m_{пу}}{m}(0{,}3 + Б) + \lambda_p \frac{T}{g_{ср}^{-1}}\left(\frac{3}{5} + Б\right)\right](0{,}03p_p - \right.$$

$$\left. - 0{,}135)\left(1{,}41 - 0{,}17\frac{N_ф}{m}\right) + \left(0{,}087\frac{L_п}{p_p} + 10{,}2\right)\left(0{,}16\frac{N_ф}{m} + 0{,}44\right)\right\}/60; \qquad (15)$$

для второго случая

$$t_{пз}^{впз} = \left\{1{,}8(p_p + 1) + А(g_{ср} + 1) + \left[\frac{m_{пу}}{m}(0{,}3 + Б) + \lambda_p T g_{ср}(0{,}6 + Б)\right](0{,}013p_p + \right.$$

$$\left. + 0{,}037)\left(0{,}075\frac{N_ф}{m} + 0{,}76\right) + 1{,}3\frac{mp_p}{N_ф}\left(0{,}055\frac{L_п}{p+1} + 7{,}62\right)\left(0{,}31\frac{N_ф}{m}0{,}078\right)\right\}/60, \qquad (16)$$

где $g_{ср}$ – среднее число групп вагонов, которые задействованы в расстановке, сборке вагонов у фронтов погрузки, выгрузки в грузовом районе, групп/ман. район; p_p – число путей, на которые поступают вагоны в процессе их расстановки, сборки у фронтов погрузки, выгрузки; $L_п$ – суммарная длина путей у фронтов погрузки-выгрузки, задействованных в перезарядке, м.

Пусть доля грузовых районов, где выставочный путь у фронтов занят (отсутствует), равна $\alpha_з$. В таком случае продолжительность перезарядки фронтов погрузки-выгрузки железнодорожного пути необщего пользования

$$t_{пз} = m\alpha_з t_{пз}^{впз} + m(1 - \alpha_з)t_{пз}^{впз}. \qquad (17)$$

На любом элементе системы путей общего и необщего пользования возможно направление вагонов грузоотправителей, грузополучателей во временное размещение (отстой). По этой причине в формулах расчета продол-

жительности маневровых операций следует учесть долю таких вагонов в общем потоке α_0 и вероятность направления такого подвижного состава в отстой p_0. Следовательно, количество отцепов увеличится на $g\alpha_0 p_0$, а количество сортируемых вагонов – на $\lambda_в T\alpha_0 p_0$.

Приняв, что продолжительность подачи равна продолжительности уборки вагонов $t_п$, = $t_{уб} = t_{пу}$, $t_п^c = t_{уб}^c = t_{пу}^c$, подставив выражения (10)–(16) в целевую функцию (1) и продифференцировав его, следует разрешить уравнение dF/dT относительно T. В результате получено выражение четвертой степени. С помощью метода Феррари, а также формулы Кардано найдено оптимальное значение среднего периода времени между подачи вагонов на железнодорожный путь необщего пользования, ч/подачу,

$$T = -\frac{a}{4} + \frac{1}{2}\cdot\left[2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)+\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}+\right.$$

$$\left.+\,2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)-\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}\right]^{\frac{1}{2}}\pm$$

$$\pm\,\frac{1}{2}\cdot\left[2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)+\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}+\right.$$

$$\left.+\,2\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)-\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}\right]-$$

$$-\,4\cdot\left\{q\cdot\left(4\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)+\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}+\right.\right.$$

$$+\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)-\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}\Bigg)^{-1}+$$

$$+\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)+\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}+$$

$$+\sqrt[3]{-\left(\frac{rp}{6}-\frac{q^2}{16}-\frac{p}{54}\right)-\sqrt{\frac{\left(\frac{rp}{3}-\frac{q^2}{8}-\frac{p}{27}\right)^2}{4}-\frac{\left(r+\frac{p^2}{12}\right)^3}{27}}}+\frac{p}{2}\Bigg\}\Bigg]^{\frac{1}{2}}, \quad (18)$$

где

$$p=b-\frac{3a^2}{8}; \quad (19)$$

$$q=\frac{a^3}{8}-\frac{ab}{2}+c; \quad (20)$$

$$r=-\frac{3a^4}{256}+\frac{a^2b}{16}-\frac{ca}{4}+d; \quad (21)$$

$$a=\frac{2X}{Z-M}; \quad (22)$$

$$b=\frac{X^2MH+ZX^2H+2MZXc_{\text{лч}}-M^2Xc_{\text{лч}}-Z^2Xc_{\text{лч}}}{Z^3H-Z^2HM}; \quad (23)$$

$$c=\frac{2MX^2c_{\text{лч}}}{Z^3H-Z^2HM}; \quad (24)$$

$$d=-\frac{X^3c_{\text{лч}}}{Z^3H-Z^2HM}; \quad (25)$$

$$X=\frac{1}{60}\Bigg\{\alpha_{\text{рт}}v_{\text{с}}+0,12\frac{l_{ny}^c}{v_{\text{с}}}+2\text{A}g(1+\alpha_{\text{о}}p_{\text{о}})+3,6p_{\text{сб}}+2m\left(\alpha_{\text{рт}}v+0,12\frac{l_{ny}}{v}\right)+m(1-\alpha_{\text{з}})\times$$

$$\times\left[1,8(p_{\text{р}}+1)+\text{A}(g_{\text{ср}}+1)+1,3\frac{m}{N_{\text{ф}}}\left(0,055\frac{L_{\text{п}}}{p_{\text{р}}+1}+7,62\right)\cdot\left(0,31\frac{N_{\text{ф}}}{m}+0,078\right)\right]+$$

$$+ m\alpha_{з}\left[3,6+\text{А}p_{р}+1,8g_{ср}+\left(0,087\frac{L_{п}}{p_{р}}+10,2\right)\cdot\left(0,16\frac{N_{ф}}{m}+0,44\right)\right]\Bigg\}; \quad (26)$$

$$Z=\frac{1}{60}\{\beta_{рт}\lambda_{в}v_{с}+\lambda_{в}(0,6+2\text{Б})\cdot(1+\alpha_{о}p_{о})+\beta_{рт}\lambda_{р}N_{ф}v+$$

$$+ m(1-\alpha_{з})\left[\frac{\lambda_{в}}{m}(0,3+\text{Б})+\lambda_{р}(0,6+\text{Б})\right]\cdot(0,0013p_{р}+0,037)\cdot\left(0,075\frac{N_{ф}}{m}+0,76\right)+$$

$$+ 1,3m\alpha_{з}\left[\frac{\lambda_{в}}{m}(0,3+\text{Б})+\lambda_{р}(0,6+\text{Б})\right]\cdot(0,03p_{р}+0,135)\cdot\left(1,41-0,17\frac{N_{ф}}{m}\right)\Bigg\}; \quad (27)$$

$$H=\lambda_{р}N_{ф}(c_{фр}+c_{вч})+\lambda_{в}c_{вч}. \quad (28)$$

При этом должно выполняться условие

$$M\neq\frac{X}{T}+Z. \quad (29)$$

Обобщая представленный материал, следует сделать следующие выводы:

1 Одним из главных параметров, характеризующих взаимодействие станций примыкания с железнодорожными путями необщего пользования, является средний интервал времени между подачами-уборками вагонов.

2 Решение задач взаимодействия через средний временной интервал, а не через число подач-уборок имеет ряд преимуществ, позволяющих учесть современные условия работы железнодорожного транспорта, которые характеризуются наличием вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке, возможностью привлечения новых перевозчиков на железнодорожную сеть.

3 Исходя из условия обеспечения минимума суммарных затрат на непроизводительные простои вагонов, локомотива, фронтов погрузки-выгрузки получена формула расчета оптимального среднего периода времени между подачами вагонов со станции примыкания на железнодорожный путь необщего пользования.

4 Отличительными особенностями полученной зависимости является отражение влияния в явном виде доли вагонов грузоотправителей, грузополучателей в общем потоке $\alpha_{о}$ и вероятности направления такого подвижного состава во временное размещение $p_{о}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 *Еловой, И. А.* Методы и модели повышения эффективности взаимодействия железнодорожного транспорта общего и необщего пользования : монография / И. А. Еловой, Е. Н. Потылкин ; М-во трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь, Белорус. гос. ун-т трансп. – Гомель : БелГУТ, 2023. – 210 с.