ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.21

И. А. ЕЛОВОЙ, М. М. КОЛОС, Е. Н. ПОТЫЛКИН
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель
ugkr@bsut.by

РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ПРИ ДОСТАВКЕ ПОРОЖНИХ ВАГОНОВ РАЗЛИЧНЫХ СОБСТВЕННИКОВ

Рассмотрены основные положения расчета параметров процесса взаимодействия железнодорожных станций на путях общего и необщего пользования в условиях наличия вагонов различной принадлежности. Сформированы различные варианты целевых функций, учитывающих как детерминированную, так и случайную составляющую транспортного процесса.

Современный этап развития железнодорожного транспорта на пространстве СНГ характеризуется переходом от вагонов железных дорог (перевозчиков) к подвижному составу грузоотправителей, грузополучателей (приватным); формированием рынка вагонов и соответствующих ему структур (бирж); увеличением доли специализированных вагонов с целью улучшения сохранности перевозимых грузов, повышения уровня механизации и автоматизации погрузочно-разгрузочных работ и сокращения соответствующих издержек и др. В этих условиях актуальность определения оптимальных параметров железнодорожных станций с учетом появления рисков как в процессе перевозки, так и в начально-конечных пунктах [1].

Вышеперечисленные обстоятельства порождают потребность в разработке методического обеспечения, учитывающего не только детерминированную, но и случайную составляющую в процессах выполнения технологических операций на железнодорожном транспорте общего и необщего пользования. В связи с этим предлагается методическое обеспечение расчета параметров железнодорожного транспорта, базирующееся на детерминированных и недетерминированных целевых функциях, учитывающих наличие сетевых и частных перевозчиков и системный подход к поставке продукции между станциями отправления и назначения, а также транзитными [2].

Детерминированная целевая функция

П е р в ы й в а р и а н т. Порожние вагоны различной формы собственности могут подаваться из-под выгрузки под погрузку с грузовых комплексов как общего, так и необщего пользования. Кроме того, рассматриваемые

порожние вагоны могут прибывать по регулировочному заданию из других регионов, проследуя при этом достаточно большие расстояния. Регулирование порожних вагонов операторских компаний и других собственников может осуществляться с участием экспедиторских организаций и компаний, что порождает дополнительные посреднические операции как по стоимости, так и по оперативности их выполнения. При этом существовавшая железнодорожная система организации вагонопотоков, включая регулирование порожних вагонов многих собственников, сохранилась и в полной мере не адаптировалась к новым условиям хозяйствования по причине участия экспедиторских организаций и компаний, а также появления достаточно большого количества собственников вагонов, которые преследуют другие цели и имеют иные критерии оценки своей деятельности, например, получение максимальной выгоды.

Переход в ряде стран от вагонов железных дорог к приватным имеет как преимущества, так и недостатки. В частности, была введена плата как за пользование вагонами железной дороги, так и за нахождение приватного подвижного состава на инфраструктуре перевозчика. При этом предполагалось, что приватные вагоны, включая собственные предприятий и арендованные, могут использоваться как склад на колесах, что приведет к уменьшению количества грузовых операций и при погрузке-выгрузке, и на складах общего и необщего пользования. Вышеперечисленные изменения требуют корректировки нормативно-правовой базы, технологических процессов и разработки соответствующего методического обеспечения для расчета их технологических и технических параметров.

Вагоны различных собственников после выгрузки у грузополучателей должны следовать в порожнем состоянии к грузоотправителям под погрузку. Вопросы регулирования порожних вагонов рассматриваются с участием посреднических экспедиторских организаций и содержат в себе элемент случайности, обусловленный во многом большим количеством участников в лице как перевозчиков, так и участников в процессах нахождения перевозочных средств в состоянии покоя или движения. В конечном итоге они будут следовать в определенных направлениях группами в соответствии с заявками на перевозку.

За перевозку приватного подвижного состава взыскивается провозная плата за каждый вагон. В этих условиях возникает задача: до каких пределов накапливать группу вагонов, чтобы издержки в процессе накопления были как минимум сопоставимыми с затратами на доставку рассматриваемой группы до одного или нескольких получателей. Для детерминированной модели накопление в пункте отправления будет в простейшей ситуации осуществляться по закону треугольника (рисунок 1).

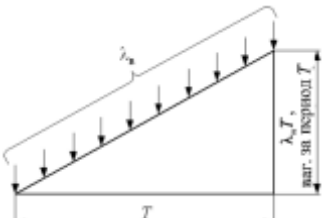


Рисунок 1 – Графическое изображение процесса накопления вагонов на станции

На рисунке 1 приведены следующие условные обозначения: $\lambda_в$ – интенсивность потока в процессе накопления на группу порожних вагонов или состав поезда; T – продолжительность накопления.

При этом вагоно-часы за период накопления будут равны $B = \lambda_в T^2 / 2$, вагоно-ч за период T. Тогда издержки на накопление в пункте отправления будут определяться по формуле

$$И_в^о = C_{вч}^{пр} \lambda_в T^2 / 2, \quad (1)$$

где $C_{вч}^{пр}$ – стоимость вагоно-часа подвижного состава грузоотправителя, грузополучателя (приватного вагона).

Аналогично в пункте назначения

$$И_в^н = C_{вч}^{пр} \lambda_в T^2 / 2. \quad (2)$$

Общие издержки, руб. за период T,

$$И_в = И_в^о + И_в^н = C_{вч}^{пр} \lambda_в T^2. \quad (3)$$

Издержки при перевозке порожних приватных вагонов, руб. за T, будут определяться по формуле

$$И_{пор}^{пр} = C_т^н \lambda_в T, \quad (4)$$

где $C_т^н$ – нормативная тарифная ставка за перемещение порожнего приватного вагона (руб./ваг.), которая включает две составляющие:

$$C_т^н = И_{пор}^о + Л_{пор}^о, \quad (5)$$

$И_{пор}^о$, $Л_{пор}^о$ – соответственно инфраструктурная и локомотивная составляющие тарифа.

В соответствии с действующими на Белорусской железной дороге нормативами величина $C_т^н$ определяется на основании уравнения

$$C_т^н = (0,7061 + 0,3819) L_{гр} \alpha_{пор} + 0,4226, \quad (6)$$

где $L_{гр}$ – тарифное расстояние при перевозке груза, км; $\alpha_{пор}$ – коэффициент порожнего пробега вагона.

После преобразования получаем

$$C_т^н = 0,4226 + 1,088 L_{гр} \alpha_{пор}. \quad (7)$$

С учетом вышеизложенного целевая функция будет иметь вид

$$F(T) = C_{вч}^{пр} \lambda_в T^2 + C_т^н \lambda_в T. \quad (8)$$

Целевая функция (8) будет принимать минимальные значения при пересечении ее первого элемента со вторым (рисунок 2).

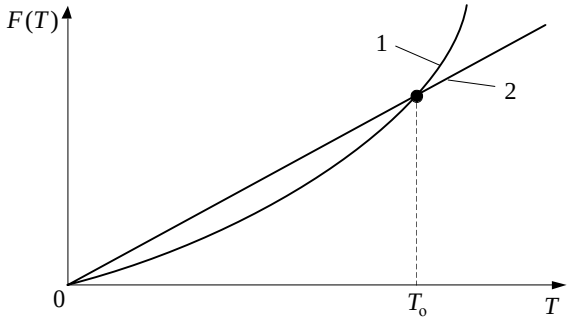


Рисунок 2 – Графическое изображение элементов целевой функции

Приравнивая первый и второй элементы целевой функции, получаем

$$C_{\text{вч}}^{\text{пр}}\lambda_{\text{в}}T_0^2 = C_{\text{т}}^{\text{н}}\lambda_{\text{в}}T_0. \quad (9)$$

Из уравнения (9) находим оптимальное значение T_0:

$$T_0 = C_{\text{т}}^{\text{н}} / C_{\text{вч}}^{\text{пр}}, \quad (10)$$

или в развернутом виде

$$T_0 = (0,4226 + 1,088L_{\text{гр}}\alpha_{\text{пор}}) / C_{\text{вч}}^{\text{пр}}. \quad (11)$$

Анализ формулы (11) показывает, что оптимальное значение T_0 с увеличением расстояния перевозки груза $L_{\text{гр}}$ и коэффициента порожнего пробега вагона $\alpha_{\text{пор}}$ также становится бóльшим. В то же время при увеличении $C_{\text{вч}}^{\text{пр}}$ величина T_0 уменьшается.

В т о р о й в а р и а н т. Полученное из уравнения (11) значение T_0 характеризует точку безразличия, когда владельцу вагона и клиенту в данной точке будет одинаково выгодно доставлять приватные порожние вагоны в место их погрузки. При этом величина группы будет равна $\lambda_{\text{в}}T_0$. Величина нормативной тарифной ставки $C_{\text{т}}^{\text{н}}$, которая рассчитывается по формуле (7), не зависит от величины группы. Данное положение соответствует существующим тарифам Белорусской железной дороги. На практике, как показали выполненные исследования, расходы могут зависеть от величины группы, что корректируется коэффициентом, описываемым следующей аналитической зависимостью:

$$K_{mL} = 1,000\left(0,998 + \frac{0,04}{\lambda_{\text{в}}T_0} - 0,0014\lambda_{\text{в}}T_0\right)(9,1\cdot10^{-9}L_{\text{пор}}^2 - 5,4\cdot10^{-5}L_{\text{пор}} + 1,0471), \quad (12)$$

где $L_{\text{пор}}$ – расстояние следования вагона грузоотправителя (грузополучателя) в порожнем состоянии, $L_{\text{пор}} = L_{\text{тр}}\alpha_{\text{пор}}$.

Графическое изображение аналитической зависимости (12) приведено на рисунке 3. С учетом формулы (12) уравнение (9) преобразуется следующим образом:

$$C_{\text{вч}}^{\text{пр}}\lambda_{\text{в}}T_0^2 = C_{\text{т}}^{\text{н}}\lambda_{\text{в}}T_0\,K_{mL}. \qquad (13)$$

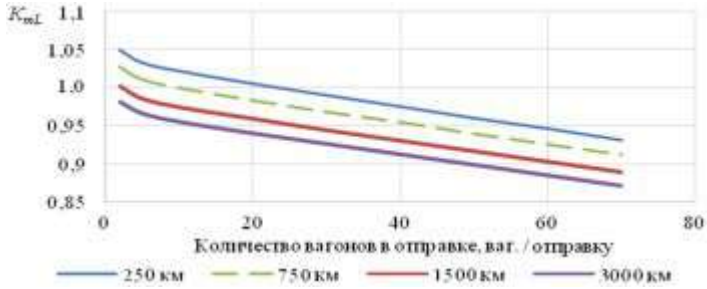


Рисунок 3 – Графическое изображение аналитической зависимости (12)

После преобразований и решения уравнения (13) находим выражение для оптимального значения периода накопления

$$T_0 = \frac{0{,}998\dfrac{C_{\text{т}}^{\text{н}}}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}}A + \sqrt{0{,}996228\left(\dfrac{C_{\text{т}}^{\text{н}}A}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}}\right)^2 + \dfrac{0{,}16C_{\text{т}}^{\text{н}}}{\lambda_{\text{в}}C_{\text{вч}}^{\text{пр}}}A\left(1+0{,}0014\dfrac{\lambda_{\text{в}}C_{\text{т}}^{\text{н}}A}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}}\right)}}{2\left(1+0{,}0014\dfrac{\lambda_{\text{в}}C_{\text{т}}^{\text{н}}A}{C_{\text{вч}}^{\text{пр}}}\right)}, \qquad (14)$$

где $A = 9{,}1\cdot10^{-9}L_{\text{пор}}^2 - 5{,}4\cdot10^{-5}L_{\text{пор}} + 1{,}0471.$

Недетерминированная целевая функция.

В основу рассматриваемой недетерминированной целевой функции закладываются аналогичные экономические величины: $C_{\text{вч}}^{\text{пр}}$ и $C_{\text{т}}^{\text{ч}}$, где $C_{\text{т}}^{\text{ч}}$ – ставка за группу-ч в рублях. Рассчитанное оптимальное значение $T_{\text{сл}}$ рассматриваемой функции не будет совпадать с T_0 для детерминированного процесса.

Величина $T_{\text{сл}}$ рассчитывается на основании вероятностного процесса из условия «что лучше, чтобы вагоны стояли или приносили доходы?». В этом состоит смысл решения данной задачи. Для отстоя вагонов требуется соответствующее путевое развитие. В связи с этим $T_{\text{сл}}$ используется для расчета коэффициента неравномерности $K_{\text{н}} = 1 / \rho$,

где $\rho = t_{\text{пор}}^{\text{с}} / T_{\text{сл}}$, а $t_{\text{пор}}^{\text{с}}$ – продолжительность следования приватного вагона в порожнем состоянии. В этих условиях $K_{\text{н}} = T_{\text{сл}} / t_{\text{пор}}^{\text{с}}$. Как известно, из формулы теории массового обслуживания должно выполняться условие $t_{\text{пор}}^{\text{с}} < T_{\text{сл}}$. Тогда коэффициент неравномерности будет всегда больше единицы.

Следовательно, коэффициент неравномерности рассчитывается из условия или уравнения экономического баланса, которое характеризует оптимальное соотношение между нахождением вагонов в движении и в покое.

Выводы.

1 Тарифная ставка $C_{\text{т}}^{\text{н}}$ зависит от расстояния следования порожнего вагона грузоотправителя (грузополучателя): $C_{\text{т}}^{\text{н}} = f(L_{\text{пор}})$. По формулам (11) и (13) рассчитывается оптимальное значение периода накопления T_0 для детерминированного процесса перевозочного процесса.

2 Величина T_0, полученная на основе детерминированной математической модели процесса доставки, может закладываться в основу расчета путевого развития для отстоя вагонов грузоотправителя (грузополучателя) как по прибытии, так и по отправлении на железнодорожных станциях. Однако ранее указывалось, что в условиях наличия большого числа «ниток графика» и достаточной пропускной способности железнодорожных участков можно приватные порожние вагоны отправлять при необходимости с меньшим интервалом. Так, в пунктах отправления и назначения не потребуются дополнительные пути для отстоя, а будет использоваться только технологическое путевое развитие станций. Такая технология применялась в Советском Союзе, где практически все вагоны принадлежали железным дорогам общего пользования. При этом следует отметить, что в пути следования собственные порожние вагоны могут объединяться в бóльшие группы на железнодорожных станциях, чем отправлялись из начальных пунктов.

3 Порожние вагоны грузоотправителя (грузополучателя) могут накапливаться в группы как на путях необщего пользования, так и на станции примыкания, а также других станциях общего пользования.

4 В недетерминированной целевой функции в качестве требования выступает величина группы вагонов грузоотправителя (грузополучателя), которая рассчитывается из соотношения $\lambda_{\text{в}} T_{\text{сл}}$. Данная группа доставляется со станции отправления на станцию назначения в течение времени $t_{\text{пор}}^{\text{с}}$.

5 Продолжительность накопления партии $T_{\text{сл}}$ рассчитывается с учетом неравномерности потока вагонов, которая основана на спросе на производимый товар и находит свое отражение в контракте на поставку. Данная особенность учитывается с помощью формул теории массового обслуживания, где неравномерность спроса и продолжительности обслуживания характеризуется соответствующими коэффициентами вариации.

6 Используя интервалы взаимодействия $T_{\text{сл}}$ между модулями функциональной модели процесса движения вагонопотоков различной принадлежности в станционной и узловой системе путей общего и необщего пользования появляется возможность рассчитать оптимальные технические и технологи-

ческие параметры рассматриваемого комплекса, обеспечивающего максимум погрузки готовой продукции по прямому варианту «производство – вагон».

СПИСОК ЛИТЕРАТРУРЫ

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.

2 Оптимизация процессов грузовой работы / А. А. Смехов, Х. М. Лазарев, А. Г. Дерибас [и др.]. – М : Транспорт, 1973. – 264 с.

I. A. ELOVOY, M. M. KOLOS, E. N. POTYLKIN

CALCULATION OF RAILWAY STATION PARAMETERS WHEN DELIVERING EMPTY WAGONS OF VARIOUS OWNERS

The article considers the main provisions for calculating the parameters of the interaction process of railway stations on public and non-public tracks in conditions of the presence of wagons of various accessories. Various variations of objective functions have been formed, taking into account both deterministic and random components of the transport process.

Получено 17.05.2025

ISSN 2664-5025. Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. Вып. 7. Гомель, 2025

УДК 656.21:625.11

И. А. ЕЛОВОЙ, С. А. ПЕТРАЧКОВ
Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПУТЕВОГО РАЗВИТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ УЗЛОВ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Рассмотрены теоретические основы формирования транспортно-логистических систем в современных условиях, выявлены причины необходимости новых подходов к проектированию железнодорожной инфраструктуры, предложены основные требования к проектированию путевого развития железнодорожных станций общего и необщего пользования в условиях наличия вагонов различной принадлежности.

1 Теоретические основы разработки требований к проектированию путевого развития железнодорожных станций в транспортных узлах. В условиях глобализации развития мировой экономики транспортный комплекс государств следует рассматривать с точки зрения функционирования транспортно-технологических систем различных видов при доставке матери-