

Научная статья
УДК 624.159.2
doi:10.52170/1815-9265_2026_80_30

Формирование технических маршрутов в динамической среде управления перевозочным процессом

Наталья Александровна Ковалева¹, Ольга Вениаминовна Муленко²,
Аскер Измуудинович Хашев³✉

^{1, 2, 3} Ростовский государственный университет путей сообщения, Ростов-на-Дону, Россия

¹ nvihreva@gmail.com

² mikasya@yandex.ru

³ hash-93@mail.ru✉

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора станции формирования технических маршрутов в условиях ограничений пропускной и перерабатывающей способности инфраструктуры припортовых направлений. На основе функциональных возможностей Единой модели данных перевозочного процесса управления эксплуатационной работой (ЕМД ПП УЭР) разработана многокритериальная модель и алгоритм динамического формирования технических маршрутов в адрес одного грузополучателя. Предложенный подход опирается на интеграцию данных о дислокации вагонопотоков, инфраструктурных ограничениях и прогнозных параметрах движения поездов, что позволяет осуществлять выбор станции формирования маршрута с учетом текущих параметров перевозочного процесса. Приведена формализация целевой функции, включающей эффекты сокращения времени оборота вагонов, повышения уровня маршрутизации и изменения эксплуатационных затрат. В модели учитываются экономические и технологические факторы, связанные с пропускной способностью участков, перерабатывающей способностью станций, условиями формирования маршрутов в адрес припортовых железнодорожных узлов и особенностями организации вагонопотоков на подходах к ним. Дополнительно учтено влияние неравномерности подвода вагонов, уровня загрузки инфраструктуры и технологических ограничений станционной работы на выбор рационального варианта маршрутизации. Выполнена оценка эксплуатационно-экономических эффектов на примере зерновых перевозок в адрес припортовой станции Н при альтернативных вариантах выбора станции формирования маршрута. Установлено, что применение алгоритма в контуре ЕМД ПП УЭР обеспечивает переход от статического планирования к динамическому режиму поддержки принятия решений, повышает устойчивость подвода вагонов к припортовым станциям, способствует рационализации вагонопотоков, снижению переработки составов в припортовых узлах и повышению эффективности эксплуатационной работы в условиях ограниченной инфраструктурной мощности.

Ключевые слова: Единая модель данных перевозочного процесса управления эксплуатационной работой, технический маршрут, маршрутизация вагонопотоков, припортовые станции, динамическое планирование, многокритериальная оптимизация, пропускная способность

Для цитирования: Ковалева Н. А., Муленко О. В., Хашев А. И. Формирование технических маршрутов в динамической среде управления перевозочным процессом // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 3 (80). С. 30–38. DOI 10.52170/1815-9265_2026_80_30.

Original article

Formation of technical routes in a dynamic transportation management environment

Natalya A. Kovaleva¹, Olga V. Mulenko², Asker I. Khashev³✉

^{1, 2, 3} Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russia

¹ nvihreva@gmail.com

² mikasya@yandex.ru

³ hash-93@mail.ru✉

Abstract. The article addresses the problem of selecting a station for the formation of technical routes under constraints of line capacity and station processing capacity within port-access railway corridors. Based on the functional capabilities of the Unified Data Model of the Transportation Process for Operational Management (UDM TP OM), a multicriteria model and an algorithm for the dynamic formation of technical routes to a single consignee

have been developed. The proposed approach relies on the integration of data on wagon-flow distribution, infrastructure constraints, and forecast train movement parameters, which makes it possible to select a route formation station with due regard to the current parameters of the transportation process. A formalization of the objective function is presented, incorporating the effects of reducing wagon turnaround time, increasing the level of routing, and changing operating costs. The model takes into account economic and technological factors related to section capacity, station processing capacity, the conditions for route formation toward port railway hubs, and the specific features of wagon-flow organization on the approaches to them. In addition, the influence of uneven wagon arrivals, the level of infrastructure utilization, and technological constraints of station operations on the choice of a rational routing option is considered. The operational and economic effects are assessed using the example of grain transportation to the port station of N under alternative options for selecting the route formation station. It is established that the application of the algorithm within the UDM TP OM framework ensures a transition from static planning to a dynamic decision-support mode, improves the stability of wagon delivery to port stations, contributes to the rationalization of wagon flows, reduces train reclassification at port hubs, and increases the efficiency of operational work under conditions of limited infrastructure capacity.

Keywords: Unified Data Model of the Transportation Process for Operational Management, technical route, car flow routing, port stations, dynamic planning, multi-criteria optimization, capacity

For citation: Kovaleva N. A., Mulenko O. Khashev V., A. I. Formation of technical routes in a dynamic transportation management environment. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2026;(80):30–38. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_80_30.

Введение

Современные исследования в области управления железнодорожными перевозками в припортовых транспортно-технологических системах свидетельствуют о возрастающей роли цифровых платформ, обеспечивающих интеграцию данных, координацию работы подразделений и поддержку принятия решений в условиях инфраструктурных ограничений. В данной связи особую значимость приобретают научные подходы, ориентированные на цифровизацию управления вагонопотоками, маршрутизацию перевозок и повышение устойчивости работы припортовых станций.

В работе Е. А. Чеботаревой, Е. В. Рязановой, С. М. Наурузбаева рассмотрены цифровые и информационные технологии управления железнодорожными припортовыми транспортно-технологическими системами [1]. Авторами показано, что применение цифровых инструментов позволяет повысить согласованность планирования и исполнения перевозочного процесса, обеспечить более полную обработку данных и повысить адаптивность управления в сложных эксплуатационных условиях.

Проблематика повышения эффективности работы припортовых станций конкретизирована в исследовании В. Н. Зубкова и Н. Н. Мусиенко, посвященном анализу показателей и мер по их достижению на грузовой станции Н [2]. Авторы выявляют влияние неравномерности подвода вагонов, высокой загрузки инфраструктуры и задержек в обработке поездов на показатели работы станции. Выводы данного исследования подтверждают необходимость совершенствования механизмов маршрутизации вагонопотоков и разработки алгоритмов, позво-

ляющих снижать переработку составов в припортовых узлах. В этой части результаты работы [2] непосредственно соотносятся с задачей выбора рациональной станции формирования технического маршрута.

Существенный интерес для методологического обоснования исследования представляет работа Е. А. Чеботаревой, В. А. Богачева, Т. В. Богачева, в которой устойчивость решений автономных систем дифференциальных уравнений рассматривается применительно к управлению вагонопотоками в адрес припортовых железнодорожных станций [3]. Предложенный авторами подход ориентирован на анализ динамики транспортной системы и оценку устойчивости ее функционирования при изменении параметров входных потоков. Это особенно важно для разрабатываемой в статье модели, поскольку выбор станции формирования технического маршрута также осуществляется в условиях изменяющейся эксплуатационной обстановки и требует учета динамического характера перевозочного процесса.

В. М. Задорожний, В. А. Богачев, Т. В. Богачев, А. С. Кравец в работе [4] предлагают геометрическую маршрутизационную модель нахождения рациональных распределений порожних вагонопотоков в припортовой транспортно-технологической системе. Авторы исследуют задачу маршрутизации с позиций пространственной конфигурации сети и распределения потоков между элементами транспортной системы. Несмотря на то что работа ориентирована преимущественно на порожние вагонопотоки, ее результаты имеют методическую значимость и для настоящего исследования, так как демонстрируют возможность формализован-

ного выбора рациональных вариантов движения вагонов с учетом сетевых ограничений.

Отдельного внимания заслуживает работа [5] (авторы О. Н. Числов, В. А. Богачев, А. С. Кравец, Т. В. Богачев), посвященная временной параметризации в распределении грузопотоков транспортно-технологических систем. В исследовании определено, что временной фактор должен рассматриваться как один из ключевых параметров при оптимизации движения потоков, поскольку именно временные характеристики отражают реальную динамику функционирования транспортной системы. Для темы настоящего исследования это имеет принципиальное значение, так как в разрабатываемой модели одним из основных критериев выступает сокращение времени оборота вагонов.

Таким образом, анализ литературы показывает, что в существующих исследованиях достаточно полно раскрыты отдельные аспекты цифровизации управления перевозками, устойчивости транспортных систем, маршрутизации вагонопотоков и временной параметризации процессов [1–10]. Вместе с тем сохраняется потребность в комплексной модели, объединяющей инфраструктурные, временные и экономические параметры выбора станции формирования технического маршрута в едином цифровом контуре. В отличие от рассмотренных работ в настоящем исследовании предлагается многокритериальная модель и алгоритм выбора станции формирования маршрута, что позволяет перейти от локального анализа перевозочной ситуации к динамической поддержке управленческих решений.

Единая модель данных перевозочного процесса управления эксплуатационной работой (ЕМД ПП УЭР) используется как цифровая среда интеграции данных о вагонопотоках, инфраструктурных ограничениях и параметрах движения поездов, что позволяет реализовать динамический выбор станции формирования технического маршрута.

Цель исследования – разработка модели и алгоритма выбора станции формирования технического маршрута в динамической среде управления перевозочным процессом на базе ЕМД ПП УЭР с учетом инфраструктурных и эксплуатационных ограничений.

Материалы и методы исследования

Маршрутизация перевозок грузов и пассажирских вагонов является одной из форм организации вагонопотоков в поездах, способствует уменьшению объема переработки вагонов на сортировочных станциях, ускорению оборота вагонов, экономии материальных средств, повышению надежности и ритмичности доставки грузов, созданию условий обеспечения сохранности грузов при перевозках.

Формирование технических маршрутов в адрес одного грузополучателя является задачей многокритериальной оптимизации, направленной на достижение равновесия между пропускной способностью участков, перерабатывающей способностью станций и экономическими эффектами от повышения уровня маршрутизации.

В отличие от существующих подходов, где план формирования определяется статически (по плану Диспетчерского центра управления перевозками (ДЦУП) и действующим схемам маршрутизации), в системе ЕМД ПП УЭР этот процесс переводится в динамическую форму принятия решений, основанную на анализе состава вагонопотока, структуре инфраструктурных ограничений и прогнозных данных о движении поездов.

В основе модели лежит гипотеза: существует множество промежуточных станций, на которых возможно техническое формирование маршрутов в адрес одного грузополучателя, и выбор оптимальной станции определяется балансом транспортных, временных и инфраструктурных критериев.

Рассмотрим полигон железнодорожных направлений $G = (V, E)$, где $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ – множество станций, $E = \{e_{ij}\}$ – множество участков между станциями v_i и v_j .

Пусть S_o – станция отправления вагонопотока; S_d – припортовая станция назначения; $R \subset V$ – множество кандидатов на станции технического формирования маршрутов; Q_{ij} – объем вагонопотока, следующего от станции v_i к v_j ; T_{ij} – нормативное время следования между станциями v_i и v_j ; P_{ij} – пропускная способность участка e_{ij} ; C_{ij} – эксплуатационные затраты на перевозку одной условной группы вагонов по участку e_{ij} ; L_k – максимальная длина маршрута (в вагонах) на станции v_k ; M_k – перерабатывающая способность станции v_k ; G_p – грузополучатель, в адрес которого

направляется вагонопоток; F_k – функция инфраструктурной готовности станции v_k к техническому формированию маршрута.

Цель системы ЕМД ПП УЭР – выбрать такую станцию (или набор станций) $v_k \in R$, при которой совокупный эффект от формирования маршрута максимален. Математическая постановка оптимизации задачи может быть выражена следующим образом:

$$\max_{v_k \in R} E(v_k) = f_1(v_k) + \alpha_2 f_2(v_k) + \alpha_3 f_3(v_k), \quad (1)$$

где $f_1(v_k)$ – функция экономии времени оборота вагонов; $f_2(v_k)$ – функция повышения уровня маршрутизации; $f_3(v_k)$ – функция затрат на формирование маршрута; α_2, α_3 – весовые коэффициенты значимости.

Функция экономии времени оборота вагонов – сокращение времени оборота вагонов $\Delta T_{об}$ определяется как разность между временем оборота при существующей технологии и временем оборота при внедрении маршрута, сформированного на станции v_k :

$$f_1(v_k) = \sum_{p \in P_{G_p}} (T_{баз}(p) - T_{нов}(p, v_k)), \quad (2)$$

где P_{G_p} – множество вагонопотоков в адрес грузополучателя G_p .

Фактически, чем ближе к началу маршрута производится укрупнение потока, тем больше суммарное сокращение времени оборота.

Функцию повышения уровня маршрутизации – уровень маршрутизации U_m можно определить как отношение количества вагонов, прибывших маршрутом без переработки, к общему количеству вагонов, направленных в адрес G_p :

$$U_m(v_k) = \frac{N_{марш}(v_k)}{N_{общ}}, \quad (3)$$

где $N_{марш}(v_k)$ – количество вагонов, включенных в маршруты, сформированные на станции v_k .

Тогда функция $f_2(v_k) = U_m(v_k) - U_m^{баз}$, где $U_m^{баз}$ – исходный уровень маршрутизации на полигоне без использования подсистемы.

Функция затрат на формирование маршрута – это эксплуатационные затраты, которые включают:

- расходы на дополнительное маневровое формирование $C_{ман}$;
- оплату локомотивных операций $C_{лок}$;
- технологические издержки времени на перестановки $C_{пер}$.

$$f_3(v_k) = C_{ман}(v_k) + C_{лок}(v_k) + C_{пер}(v_k), \quad (4)$$

где каждая составляющая зависит от инфраструктурных характеристик станции v_k .

Таким образом, целевая функция записывается в нормированной форме:

$$\max_{v_k \in R} E(v_k) = w_1 \frac{f_1(v_k)}{\max f_1} + w_2 \frac{f_2(v_k)}{\max f_2} - w_3 \frac{f_3(v_k)}{\max f_3}, \quad (5)$$

где w_i – нормированные коэффициенты приоритетности (например: $w_1 = 0,4$; $w_2 = 0,4$; $w_3 = 0,2$).

Модель должна учитывать физические, технологические и инфраструктурные ограничения:

1. Пропускная способность участков – через каждый участок сети может быть пропущен только такой объем вагонопотока, который не превышает его фактическую пропускную способность, т. е. поток Q_{ij} не должен превышать пропускную способность P_{ij} для всех участков e_{ij} , принадлежащих множеству участков сети E : $Q_{ij} \leq P_{ij}, \forall e_{ij} \in E$.

2. Перерабатывающая способность станции формирования – это максимальное количество вагонов или поездов, которое станция способна принять, обработать и отправить за определенный период времени, без нарушения нормальных технологических параметров. То есть это верхняя граница производительности станции при существующих путях, стрелках, локомотивах и персонале: $N_{форм}(v_k) \leq M_k$.

3. Длина маршрута: $N_{ваг}(v_k) \leq L_k$.

4. Технологическая осуществимость формирования:

$$F_k = \begin{cases} 1, & \text{если на станции имеются пути, тяга и персонал,} \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases} \quad (6)$$

5. Неухудшение пропускной способности соседних участков: $\Delta P_{ij}(v_k) \geq 0$.

Создадим алгоритм расчета оптимальной станции формирования:

1. Сбор исходных данных: ЕМД ПП УЭР получает в реальном времени:

- заявки из электронной транспортной накладной (ЭТРАН): адрес грузополучателя, сроки, объемы;
- инфраструктурные параметры из Динамической модели загрузки инфраструктуры (ДМЗИ): загрузка, пропускная способность, ремонтные «окна»;
- данные о текущем движении из Автоматизированной системы оперативного управления перевозками (АСОУП-3).

2. Группировка вагонопотоков: потоки кластеризуются по признаку грузополучатель – станция назначения. Для каждой группы G_p вычисляется объем Q_{G_p} и маршрут следования.

3. Определение кандидатов: из множества V выбираются станции R , удовлетворяющие условиям: $M_k < M_{\min}$, $L_k < L_{\min}$, $F_k = 1$.

4. Расчет частных эффектов – для каждой станции $v_k \in R$:

- $f_1(v_k)$ – экономия времени оборота вагонов (по сравнению с базой);
- $f_2(v_k)$ – рост уровня маршрутизации;
- $f_3(v_k)$ – дополнительные затраты на маневровую работу.

5. Формирование функции предпочтения:

$$E(v_k) = w_1 \frac{f_1(v_k)}{\max f_1} + w_2 \frac{f_2(v_k)}{\max f_2} - w_3 \frac{f_3(v_k)}{\max f_3}. \quad (7)$$

6. Выбор оптимального решения:

$$v^* = \arg \max_{v_k \in R} E(v_k). \quad (8)$$

7. Формирование управленческого предложения для структурных подразделений: результат передается в виде ранжированного списка станций с оценкой эффекта.

8. Верификация и самообучение. После выполнения планов система получает фактические данные о задержках, переработке и маршрутизации, пересчитывает коэффициенты w_i и уточняет параметры модели.

Работа по обеспечению планов перевозок к припортовым станциям базируется на последовательности:

– Территориальный центр фирменного транспортного обслуживания (ТЦФТО) формирует заявки на перевозку по грузоотправителям и назначению (например, ст. Н, ЦСК);

– Центральная дирекция управления движением (ЦДУД) – филиал РЖД консолидирует план перевозок и формирует суточный план подвода по дорогам;

– ДЦУП и Дирекция управления движением (ДУД) распределяют вагонопотоки по полигонам и определяют станции возможного формирования технических маршрутов;

– станции формирования выполняют операции укрупнения составов с учетом готовности инфраструктуры и указаний ЕМД ПП УЭР;

– Северо-Кавказский отдел логистики перевозок и информационного анализа (СКАВ ЛП) контролирует выполнение графика и сравнивает фактические и плановые показате-

ли (время подачи, маршрутизацию, загрузку инфраструктуры);

– ДМ ЗИ обеспечивает контроль допустимой загрузки участков $Q_{ij} \leq P_{ij}$.

Таким образом, взаимодействие реализуется по принципу сквозного информационного контура, где данные формируются в ТЦФТО, проходят через ЕМД ПП УЭР и замыкаются в ДЦУП, обеспечивая единое планово-диспетчерское пространство.

Результаты исследования

На схеме представлены три исходных станции погрузки К1, К2, К3, объединяющиеся на узле ст. им. МГ. Далее осуществляется выбор станции формирования технического маршрута – ст. Л либо ст. Б, после чего груз следует на припортовую станцию Н к соответствующему получателю груза (г/п 1, г/п 2 и т. д.). Схема маршрутизации представлена на рисунке.

Модель отражает ключевые связи между подразделениями:

- информационные – через ЕМД ПП УЭР и СКАВ ЛП;
- технологические – между станциями формирования и припортовыми терминалами;
- аналитические – через ДМ ЗИ (контроль пропускной способности и переработки).

Функции системы ЕМД ПП УЭР в контуре взаимодействия. Подсистема выполняет несколько ключевых ролей:

1. Анализ суточного вагонопотока по грузополучателям и выявление возможностей маршрутизации.

2. Проверка пропускной способности участков сети и перерабатывающих мощностей станций ($Q_{ij} \leq P_{ij}$, $N_{\text{форм}} \leq M_k$).

3. Выбор оптимальной станции формирования маршрута по интегральной функции эффективности $v^* = \arg \max_{v_k \in R} E(v_k)$.

4. Передача решения в ДЦУП и станции для исполнения.

5. Мониторинг фактического выполнения через СКАВ ЛП и последующая корректировка алгоритма маршрутизации.

Таким образом, эффективное обеспечение планов перевозок к припортовым станциям возможно только при скоординированном взаимодействии всех структурных подразделений

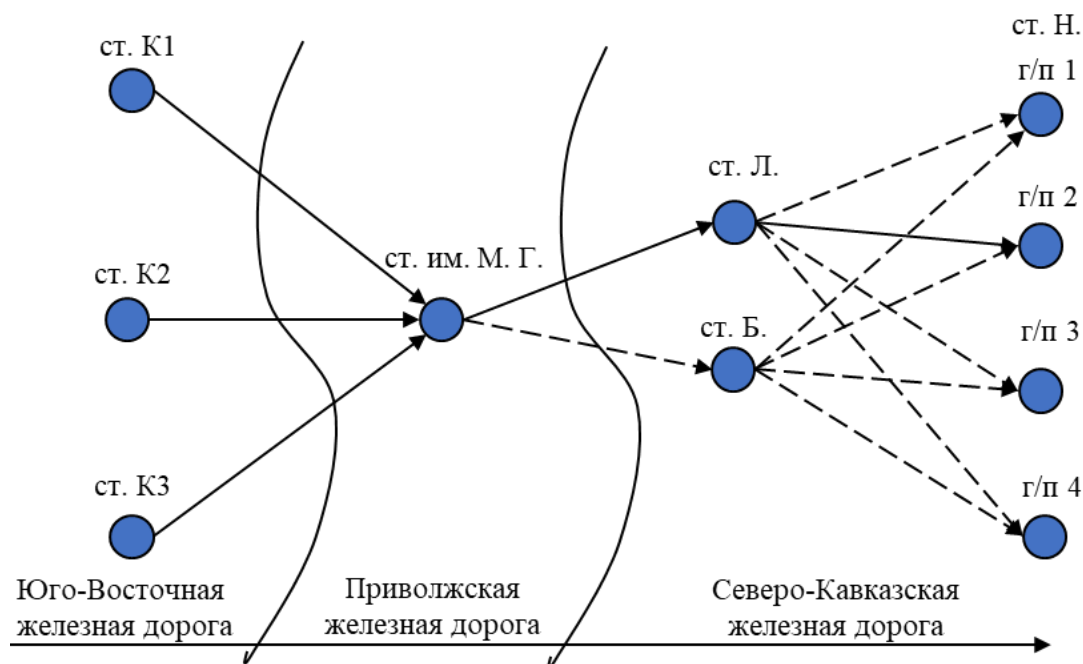


Схема формирования технических маршрутов зерновых перевозок с выбором станции v_k в системе

ОАО «РЖД». Интеграция ДЦУП, ТЦФТО, СКАВ ЛП и ДМ ЗИ в единую систему управления (ЕМД ПП УЭР) обеспечивает синхронизацию планирования и реального исполнения перевозок. Применение цифровой модели маршрутизации позволяет перевести взаимодействие подразделений в режим сквозного планирования – от заявки грузоотправителя до выгрузки на причале, обеспечивая устойчивое выполнение планов перевозок при ограниченной пропускной способности сети.

Анализируются эксплуатационные и экономические эффекты от формирования технического маршрута зерновых грузов в адрес станции Н (конкретный причал ЦСК) при двух альтернативах станции формирования:

- альтернатива А – ст. Л (формирование техмаршрута на подходах);
- альтернатива Б – ст. Б (формирование техмаршрута ближе к припортовой зоне).

Схема маршрутизации и логика подвода:

1. Погрузка: станции К1, К2, К3 (ЮВЖД).
2. Сквозной транзит через стык – станция Сах.

3. На ст. им. МГ (Приволжская железная дорога) выполняется технологическое укрупнение под Н (без окончательного техмаршрута).

4. Далее – выбор точки окончательного формирования технического маршрута: ст. Л или Б.

5. Назначение: ст. Н (г/п 1), выгрузка – без переработки состава.

Цель – показать, как математическая модель порождает измеримые эксплуатационные показатели и как они переводятся в экономический эффект для альтернатив А и Б.

Исходные данные (для расчета на один дополнительно маршрутизированный состав):

1. Номенклатура: зерно.
2. Количество составов: $n_{\text{сост}} = 1$ сост./сут.
3. Состав: $N_{\text{ваг}} = 70$ вагонов.
4. Маршрут назначения: ст. Н, причал г/п 1 (без переработки состава).
5. Альтернативы точки формирования технического маршрута: ст. Л / ст. Б.
6. Сокращение технологической переработки в припортовом узле на один поезд: $S_{\text{порт}} = 2,8$ ч/поезд.
7. Сокращение оборота по вагону (накопления/ожидания/маневры): $S_{\text{обр}} = 3,2$ ч/ваг.
8. Стоимость 1 ваг.-ч: $C_{\text{вч}} = 450$ р./ваг.-ч.
9. Маневровые затраты на формирование техмаршрута: на ст. Л составят $C_{\text{ман}} = 18,0$ тыс. р./сост.; на ст. Б $C_{\text{ман}} = 16,0$ тыс. р./сост.
10. Экономия энергии/топлива на один дополнительно маршрутизированный состав: $\delta_{\text{эн}} = 12,0$ тыс. р./сост.

Рассчитаем эксплуатационный эффект, который включает:

1. Снижение переработки в припортовой станции:

$$\Delta Q_{\text{пер}} = n_{\text{сост}} N_{\text{ваг}} = 1 \cdot 70 = 70 \text{ ваг./сут.}$$

2. Экономия вагоно-часов (на один состав):

$$H_{\text{ваг.-ч/сост}} = (S_{\text{порт}} + S_{\text{обр}}) N_{\text{ваг}} = (2,8 + 3,2) 70 = 420 \text{ ваг./ч.}$$

Эквивалент в вагоно-днях:

$$D_{\text{ваг/сост}} = H_{\text{ваг.-ч/сост}} / 24 = 420 / 24 = 17,5 \text{ ваг./сут.}$$

Экономические эффекты в расчете на одни сутки составят:

1. Монетизация экономии времени:

$$E_{\text{ваг.-ч/сут}} = H_{\text{ваг.-ч/сост}} C_{\text{вч}} = 420 \cdot 450 = 189,00 \text{ тыс. р./сут.}$$

2. Учет маневровых затрат

$$E_{\text{сут}} = E_{\text{ваг.-ч/сут}} - C_{\text{ман}}.$$

По альтернативам:

• ст. Л:

$$E_{\text{сут}} = 189,00 - 18,00 = 171,00 \text{ тыс. р./сут.}$$

• ст. Б:

$$E_{\text{сут}} = 189,00 - 16,00 = 173,00 \text{ тыс. р./сут.}$$

Примечание. При расчете на один состав разница между альтернативами идет только по $C_{\text{ман}}$, эксплуатационная экономия времени одинакова.

3. Годовой эффект, тыс. р./год, составит:

$$E_{\text{год}} = E_{\text{сут}} \cdot 365:$$

• ст. Л:

$$E_{\text{год}} = 171,00 \cdot 365 = 62,4 \text{ млн р./год.}$$

• ст. Б:

$$E_{\text{год}} = 173,00 \cdot 365 = 63,1 \text{ млн р./год.}$$

При учете лишь одного состава в сутки ст. Б дает немного больший чистый денежный эффект из-за меньших маневровых затрат.

В комплексных сценариях (когда формируется не один, а несколько дополнительных маршрутов в сутки) преимущество ст. Л часто возрастает за счет большего прироста уровня маршрутизации и разгрузки подходов – это отражено выше.

Для одного дополнительно маршрутизированного состава на причал ЦСК суточная экономия составляет 420 ваг.-ч (17,5 ваг.-сут) и ~171–173 тыс. р./сут чистого эффекта в зависимости от выбранной станции формирования; годовой эффект ~62–63 млн р. при ежедневном назначении одного состава.

Выводы

По результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Формирование технических маршрутов в адрес одного грузополучателя в условиях припортовых направлений является задачей многокритериальной оптимизации, требующей учета инфраструктурных, технологических и экономических ограничений.

2. Использование ЕМД ПП УЭР позволяет перевести процесс выбора станции формирования маршрута из статического режима в динамический, основанный на анализе текущего состояния вагонопотоков и инфраструктуры.

3. Разработанная модель и алгоритм обеспечивают выбор станции формирования на основе интегральной оценки, включающей сокращение времени оборота вагонов, повышение уровня маршрутизации и изменение эксплуатационных затрат.

4. Практическая апробация на примере зерновых перевозок в адрес припортовой станции Н показала, что применение предложенного подхода обеспечивает суточную экономию вагоно-часов.

5. Применение цифровой модели маршрутизации в контуре ЕМД ПП УЭР повышает устойчивость подвода вагонов к припортовым станциям и создает основу для дальнейшего развития интеллектуальных методов поддержки управленческих решений.

Список источников

1. Чеботарева Е. А., Рязанова Е. В., Наурузбаев С. М. Цифровые и информационные технологии управления железнодорожными припортовыми транспортно-технологическими системами // Мир транспорта и технологических машин. 2025. № 3-2 (90). С. 24–33. DOI 10.33979/2073-7432-2025-3-2(90)-24-33.
2. Зубков В. Н., Мусиенко Н. Н. Анализ показателей и меры по их выполнению на припортовой грузовой станции Новороссийск // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2024. № 1 (93). С. 66–78. DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_66.
3. Чеботарева Е. А., Богачев В. А., Богачев Т. В. Устойчивость решений автономных систем дифференциальных уравнений в изучении систем управления вагонопотоками в адрес припортовых железнодорожных станций // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 5 (72). С. 35–44. DOI 10.52170/1815-9265_2024_72_35.

4. Геометрическая маршрутизационная модель нахождения рациональных распределений порожних вагонопотоков в припортовой транспортно-технологической системе / В. М. Задорожный, В. А. Богачев, Т. В. Богачев, А. С. Кравец // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2024. № 2 (69). С. 63–70. DOI 10.52170/1815-9265_2024_69_63.
5. Временная параметризация в распределении грузопотоков транспортно-технологических систем / О. Н. Числов, В. А. Богачев, А. С. Кравец, Т. В. Богачев // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2019. № 3 (50). С. 14–22.
6. Козлов В. Г. Повышение эффективности технической маршрутизации на основе моделирования транспортного потока в железнодорожной сети // Экономика железных дорог. 2025. № 1. С. 50–59.
7. Методические подходы к организации перевозочного процесса на основе технико-технологических параметров / А. Ф. Бородин, В. В. Панин, Е. С. Максимова, Е. А. Лаханкин // Транспорт Урала. 2023. № 1 (76). С. 33–36. DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-33-36.
8. Ковалева Н. А., Воронин Н. С., Хашев А. И. Развитие транспортно-технологических систем при организации контейнерных перевозок с применением современных технологий // Вестник Уральского государственного университета путей сообщения. 2023. № 2 (58). С. 119–127. DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-119-127.
9. Марченко М. А., Покровская О. Д. Совершенствование технологии пропуска поездов при автоматизации диспетчерского управления // Инновационные транспортные системы и технологии. 2025. Т. 11, № 3. С. 359–371. DOI 10.17816/transsyst689788.
10. Мамаев Э. А., Чеботарева Е. А. Математическая модель организации эксплуатационной работы в задачах повышения пропускной способности железнодорожного участка // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2025. Т. 22, № 1. С. 60–74. DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-60-74.

References

1. Chebotareva E. A., Ryazanova E. V., Nauruzbaev S. M. Digital and information technologies for managing railway port transport and technological systems. *World of Transport and Technological Machines*. 2025;(90):24–33. (In Russ.). DOI 10.33979/2073-7432-2025-3-2(90)-24-33.
2. Zubkov V. N., Musienko N. N. Analysis of performance indicators and measures for their improvement at the Novorossiysk port freight station. *Bulletin of Rostov State Transport University*. 2024;(93):66–78. (In Russ.). DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_66.
3. Chebotareva E. A., Bogachev V. A., Bogachev T. V. Stability of solutions of autonomous systems of differential equations in the study of wagon flow control systems to port railway stations. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(72):35–44. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2024_72_35.
4. Zadorozhny V. M., Bogachev V. A., Bogachev T. V., Kravets A. S. Geometric routing model for determining rational distribution of empty wagon flows in a port transport and technological system. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2024;(69):63–70. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2024_69_63.
5. Chislov O. N., Bogachev V. A., Kravets A. S., Bogachev T. V. Time parameterization in the distribution of freight flows in transport and technological systems. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2019;(50):14–22.
6. Kozlov V. G. Improving the efficiency of technical routing based on transport flow modeling in the railway network. *Economics of Railways*. 2025;(1):50–59. (In Russ.).
7. Borodin A. F., Panin V. V., Maksimova E. S., Lakhankin E. A. Methodological approaches to organizing the transportation process based on technical and technological parameters. *Transport of the Urals*. 2023;(76):33–36. (In Russ.). DOI 10.20291/1815-9400-2023-1-33-36.
8. Kovaleva N. A., Voronin N. S., Khashev A. I. Development of transport and technological systems in the organization of container transportation using modern technologies. *Bulletin of the Ural State University of Railway Transport*. 2023;(58):119–127. (In Russ.). DOI 10.20291/2079-0392-2023-2-119-127.
9. Marchenko M. A., Pokrovskaya O. D. Improvement of train passing technology under dispatcher control automation. *Innovative Transport Systems and Technologies*. 2025;11(3):359–371. (In Russ.). DOI 10.17816/transsyst689788.
10. Mamaev E. A., Chebotareva E. A. Mathematical model of operational work organization in problems of increasing railway section capacity. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2025;22(1):60–74. (In Russ.). DOI 10.20295/1815-588X-2025-1-60-74.

Информация об авторах

Н. А. Ковалева – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Ростовского государственного университета путей сообщения.

О. В. Муленко – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Ростовского государственного университета путей сообщения.

А. И. Хашев – кандидат технических наук, доцент кафедры «Логистика и управление транспортными системами» Ростовского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

N. A. Kovaleva – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Logistics and Management of Transport Systems Department, Rostov State Transport University.

O. V. Mulenko – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Logistics and Management of Transport Systems Department, Rostov State Transport University.

A. I. Khashev – Candidate of Engineering, Associate Professor of the Logistics and Management of Transport Systems Department, Rostov State Transport University.

Статья поступила в редакцию 20.04.2026; одобрена после рецензирования 26.05.2026; принята к публикации 05.06.2026.

The article was submitted 20.04.2026; approved after reviewing 26.05.2026; accepted for publication 05.06.2026.