УДК 656.073.7 DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-99-106

МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РЕАЛИЗУЕМОСТИ ЗАВОЗА И ОБРАБОТКИ НЕГАБАРИТНОГО ГРУЗА В ПРОМЫШЛЕННОМ РЕЧНОМ ПОРТУ

Ю. Д. Низяева
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматривается подготовка автомобильного завоза негабаритного грузового места к речному причалу с последующей перегрузкой на судно. Единицей оценки служит план, связывающий транспорт, внешний и внутрипортовый маршруты, причал, схему погрузочно-разгрузочных работ и расписание. Для шести групп обязательных условий определены исходные сведения и основания подтверждения. Отсутствие данных выделено в самостоятельное состояние и не приравнивается к установленной технической невозможности. Допущенные к сравнению планы оцениваются по затратам, продолжительности цикла и ожидаемым дополнительным потерям с фиксированными масштабами критериев. Условный расчет показывает исключение недопустимого и непроверенного вариантов, выбор между двумя оставшимися планами и изменение этого выбора при смене весов. Полученный результат относится к процедуре подготовки решения; ее влияние на работу действующего порта не измерялось.

Ключевые слова: негабаритный груз, речной порт, внутрипортовый маршрут, погрузочно-разгрузочные работы, технический допуск, выбор плана.

Для цитирования:
Низяева, Ю. Д. Модель оценки реализуемости завоза и обработки негабаритного груза в промышленном речном порту / Ю. Д. Низяева // Системный анализ и логистика. – 2026. – № 3(51). – с. 99-106. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-99-106.

A MODEL FOR ASSESSING THE FEASIBILITY OF OVERSIZED CARGO DELIVERY AND HANDLING AT AN INDUSTRIAL RIVER PORT

Yu. D. Nizyaeva
St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

The paper examines the planning of oversized cargo delivery by road to a river berth followed by transfer to a vessel. Each candidate plan specifies the vehicle, external and internal routes, berth, handling method and schedule. Input records and evidence requirements are defined for six groups of mandatory checks. Missing evidence is treated separately from an established technical failure. Admitted plans are compared by planned cost, cycle duration and expected additional loss using fixed reference scales. An illustrative calculation demonstrates the exclusion of an infeasible plan and an unverified plan, the comparison of two admitted alternatives and a change in their ranking under different weights. The contribution is a decision preparation procedure; its effect on the operation of an actual port has not been measured.

Keywords: oversized cargo, river port, internal port route, cargo handling, technical admissibility, plan selection.

For citation:
Nizyaeva, Yu. D. A model for assessing the feasibility of oversized cargo delivery and handling at an industrial river port / Yu. D. Nizyaeva // System analysis and logistics. – 2026. – № 3(51). – p. 99-106. DOI: 10.31799/2077-5687-2026-3-99-106.

Введение

При доставке негабаритного грузового места автопоезд должен занять положение, из которого портовое оборудование сможет передать груз на судно. Проверка заканчивается в этой рабочей зоне, а не у въездных ворот. Даже если груженый состав проходит по ширине прямого проезда, его траектория на повороте может пересекать склад или ограждение. Перенос места перегрузки, в свою очередь, меняет рабочий вылет крана, нагрузки на площадку и время занятия причала.

Задача работы — определить порядок допуска и сравнения планов завоза одного грузового места. Рассматривается цикл от отправления автопоезда до завершения перегрузки на судно; дальнейший рейс судна в расчет не входит. Требуется получить проверяемое решение: допустить план к сравнению, отклонить его с указанием нарушенного условия либо

запросить недостающие сведения. Такая постановка позволяет отличить завершенную техническую проверку от предварительного согласования тарифа и времени подачи.

1. Основания и границы предлагаемой модели

Р. Р. Сафиуллин [1] связывает выбор автопоезда и маршрута с воздействием осевых нагрузок на дорожную конструкцию. В предложенной последовательности сначала анализируется дорожная сеть, затем выбирается транспортное средство с меньшим превышением допустимой осевой нагрузки; маршрут определяется по переменным расходам. Для поиска пути применяется алгоритм Дейкстры, причем оценка участка зависит от рассчитанного вреда дороге либо эксплуатационного коэффициента. Этот подход дает основание совместно рассматривать транспорт и характеристики пути, но не подтверждает возможность постановки выбранного состава у причала. А. Ю. Андреев [2] и Бодрова М. С. [3] решают задачу оперативной маршрутизации в изменяющейся транспортной системе с применением динамического программирования и поиска Парето-эффективных решений. В исходные данные включаются также производительность грузоперерабатывающих пунктов и время ожидания ПРР. Поэтому совместный учет движения и обработки уже присутствует в рассмотренной литературе; для данной задачи требуется дополнительно задать проверяемые условия конкретной перегрузочной операции.

Условия выбора самой технологии раскрыты в работе В. А. Подобеда и соавторов [4, 5]. Авторы сопоставляют горизонтальную перегрузку Ro-Ro с подъемом груза кранами по схеме Lo-Lo. При выборе рассматриваются глубина у причала, соотношение уровней палубы и береговой площадки, расстояние и характер последующего перемещения груза. Для рельсового перемещения существенны прямолинейность и небольшие уклоны пути; самоходные модульные тележки рассматриваются как средство перемещения в иных условиях. Применимость кранового оборудования связана в том числе с глубинами и допустимой нагрузкой на причал. Эти рекомендации помогают сформировать набор технологических вариантов. Однако обзор не заменяет расчет проходимости конкретного автопоезда, проверку расстановки выбранного крана и подтверждение доступности ресурсов на назначенный интервал. В предлагаемой процедуре такие сведения должны поступать как отдельные результаты технических и календарных проверок.

В работах Прокофьева О. С. [6] и Наумова В. С., Пересыпкина Ю. В. [7] использует попарное сравнение критериев и определение их весов через геометрические средние строк матрицы. Показатели перевозчиков нормируются относительно лучшего значения, после чего рассчитывается рейтинг. Такая процедура позволяет сопоставлять неоднородные характеристики услуги, но полученный рейтинг сам по себе не является заключением о технической выполнимости перевозки. В ранее опубликованных работах [8-10] были систематизированы факторы выбора перевозчика и рассмотрены их последствия для времени, стоимости и организации доставки; законченный расчетный алгоритм отбора не представлен.

В настоящей работе сохраняется разделение технического допуска и предпочтительности варианта. Собственный вклад состоит в спецификации проверки одного плана на стыке автомобильного подвоза и портовой обработки: каждому результату сопоставляются исходные документы, состояние подтверждения и причина пересмотра. Это прикладная формализация процедуры. Общая идея совместного учета маршрута, перегрузки и затрат не рассматривается как впервые предложенный результат.

2. План и основания его допуска

Для фиксированного грузового места g план записывается в виде

$$P = \{g, v, r, p, b, s, \tau\} \tag{1}$$

где v — транспортное средство; r — внешний маршрут; p — внутрипортовый маршрут;

b — причал; s — схема погрузочно-разгрузочных работ (ПРР); τ — начала, окончания и резервирования операций. Груз g входит в запись как идентификатор неизменного задания. Принимающее судно также фиксируется в исходных условиях: схема приема и размещения груза, допустимые нагрузки и ограничения судна подтверждаются до допуска; его замена требует пересмотра схемы ПРР и расписания. Планировщик выбирает остальные компоненты; изменение массы, упаковки или опорной рамы означает новую версию исходного задания.

Для применения модели отправитель предоставляет паспорт грузового места с массой, размерами, центром тяжести, опорными поверхностями и точками подъема. Перевозчик задает конфигурацию груженого автопоезда и ограничения его движения. Технические службы порта предоставляют план территории, сведения о допустимых нагрузках и характеристики оборудования; диспетчер — интервалы его доступности. Координатор перевозки сводит сведения в карточку плана с датами и версиями документов.

В карточке каждая обязательная проверка получает одно из трех состояний: «подтверждено», «нарушено» или «нет данных». В последнем случае записываются отсутствующий документ либо расчет и его исполнитель. Например, неизвестная допустимая нагрузка на покрытие означает, что допуск пока не обоснован; она не доказывает разрушение покрытия при выбранной нагрузке. Установленное нарушение имеет приоритет: план отклоняется уже при одном отказе, даже если другие проверки не завершены. При отсутствии отказов допуск возможен только после подтверждения всех условий.

Таблица 1 — Основания подтверждения обязательных условий

Группа	Исходные сведения	Условие подтверждения
Груз и автопоезд	Паспорт груза; схема размещения; характеристики тягача и платформы.	Расчет размещения, крепления и осевых нагрузок выполнен для данной конфигурации; полученные значения допустимы.
Внешний маршрут	Обследование маршрута; ограничения участков и сооружений; условия движения.	Каждый участок проходим для груженого состава в предусмотренное время; необходимые условия допуска выполнены.
Путь внутри порта	План территории; траектория состава; состояние проездов; зоны других работ.	Занимаемая при движении область с принятыми запасами свободна; нагрузки на путь допустимы.
Причальная зона	Схема расстановки; данные о несущей способности; место ожидания.	Рабочие и безопасные зоны размещаются на площадке; расчеты подтверждают нагрузки во всех рабочих положениях.
Схема ПРР	Технологическая схема; грузовые характеристики крана; оснастка; условия приема груза судном.	Подтверждены подъем и установка груза на судно, допустимые нагрузки, устойчивость и условия работы техники.
Расписание	Операции и их длительности; предшествование; календари судна, причала, крана и бригады.	Для каждой операции найден полный интервал доступности ресурсов; нет запрещенных пересечений и нарушений последовательности.

Для внутрипортового пути расчетчик строит траекторию выбранного состава и область, которую занимают тягач, платформа и выступающие части груза при движении. Эту область расширяют на принятые в техническом задании запасы и сопоставляют со свободной частью территории. Проверка одной ширины ворот не заменяет такого сопоставления. Значения запасов, модель маневрирования и версия плана территории сохраняются вместе с

результатом; универсальная величина запаса в статье не задается.

В схеме ПРР масса, сопоставляемая с грузовой характеристикой крана, включает груз и учитываемую по документации подъемную оснастку. Проверяются рабочие положения на всей траектории подъема. Допустимая масса зависит от вылета и конфигурации крана; паспортная максимальная грузоподъемность сама по себе не подтверждает операцию. Расчеты строповки, устойчивости и нагрузок на причал остаются отдельными техническими основаниями допуска. Модель хранит их заключения, но не заменяет специализированные расчеты.

Для операции j задаются начало t_j, длительность d_j и необходимые ресурсы. Допустимые окна операции получают пересечением интервалов доступности всех требуемых ресурсов; при нескольких общих интервалах проверяется каждый. При выбранном окне $[a_j; b_j]$ должны выполняться $a_j \le t_j$ и $t_j + d_j \le b_j$. Если операция i предшествует j, то $t_j \ge t_i + d_i$. Интервалы использования одного неделимого ресурса не пересекаются; для ресурса с несколькими единицами суммарная потребность не превышает наличия. При ожидании автопоезда отдельно резервируется подходящее место. Совпадения времени прибытия судна и готовности крана недостаточно, если их общее окно короче требуемой операции.

После завершения проверок шести группам присваиваются бинарные индикаторы: χ_{gv} — груз и транспорт, χ_r — внешний маршрут, χ_p — внутрипортовый путь, χ_b — причальная зона, χ_s — схема ПРР, χ_τ — расписание. Индикатор равен 1, если подтверждены все обязательные условия группы, и 0, если установлено хотя бы одно нарушение. Для полностью проверенного плана используется логическая свертка

$$\chi(P) = \chi_{gv} \cdot \chi_r \cdot \chi_p \cdot \chi_b \cdot \chi_s \cdot \chi_\tau \tag{2}$$

Она выражает совместное выполнение условий и не является вероятностью успешной перевозки. Обозначим через $\mathbb{P}$ конечный перечень полностью проверенных планов. Варианты с состоянием «нет данных» до завершения проверки в $\mathbb{P}$ не входят. Тогда множество допускаемых к сравнению планов определяется выражением

$$\mathrm{P}_{\mathrm{dop}} = \{P \in \mathrm{P} \mid \chi(P) = 1\} \tag{3}$$

Пустое множество $\mathbb{P}_{\text{доп}}$ означает отсутствие подтвержденного варианта в рассмотренном перечне. Из этого не следует невозможность перевозки вообще: могут потребоваться другой транспорт, иная схема обработки или дополнительные сведения. Изменение компонента плана аннулирует связанные с ним подтверждения. Например, замена платформы требует пересмотра осевых нагрузок, траектории и положения под перегрузкой; изменение времени подачи — календарных проверок и расходов на ожидание. Остальные заключения сохраняются лишь при неизменных основаниях и сроках их действия.

3. Сравнение подтвержденных вариантов

Стоимость C(P) рассчитывается в единых ценах и для одного состава работ. Для рассматриваемого цикла используется разложение

$$C(P) = C_{ext} + C_{port} + C_{berth} + C_{prr} + C_{wait} + C_{doc} \tag{4}$$

где C_{ext} — внешний подвоз; C_{port} — движение внутри порта; C_{berth} — подготовка причальной зоны; C_{prr} — ПРР; C_{wait} — запланированное ожидание; C_{doc} — согласования, сопровождение и оформление. Координатор проверяет состав предложений исполнителей: работа, уже включенная в комплексный тариф, не прибавляется повторно. Продолжительность T(P) равна разности времени окончания перегрузки и отправления автопоезда и включает предусмотренное расписанием ожидание.

Для оценки отклонений задаются взаимно исключающие сценарии k из полного набора K, включая сценарий без дополнительных потерь. Вероятности p_k суммируются до единицы; L_k выражает дополнительные денежные потери относительно плановой стоимости C(P). Их математическое ожидание равно

$$R(P) = \sum_{k \in K} p_k \cdot L_k \tag{5}$$

Если задержка судна одновременно вызывает простой автопоезда и перенос работы крана, эти последствия включаются в один сценарий с неповторяющимися статьями потерь. Сложение двух оценок, в каждой из которых уже учтен весь простой, завысило бы R(P). Независимость отдельных причин не требуется, когда вероятности заданы для совместных сценариев. Вероятности требуют статистического обоснования либо описанной процедуры экспертной оценки. Если такие сведения отсутствуют, возможен только явно условный сценарный расчет. Требования безопасности остаются обязательными ограничениями независимо от величины ожидаемых потерь.

Среди планов $\mathbb{P}_{\text{доп}}$ выбирается минимум взвешенного критерия

$$F(P) = \alpha C(P) + \beta T(P) + \gamma R(P) \to \min, \quad P \in \mathrm{P}_{\mathrm{dop}} \tag{6}$$

где коэффициенты задаются явно: $\alpha = w_C / C_0$, $\beta = w_T / T_0$, $\gamma = w_R / R_0$. Положительные масштабы C_0, T_0, R_0 фиксируются до сравнения и имеют единицы соответствующих показателей. Веса w_C, w_T, w_R неотрицательны и в сумме равны 1. Поэтому каждый член критерия безразмерен; добавление нового варианта не меняет масштабы прежних оценок. Заказчик задает предпочтения и сохраняет веса в карточке решения. Если несколько планов достигают одинакового минимума, модель возвращает их все.

Затраты и время могут быть связаны: оплата планового простоя уже входит в $C(P)$, а $T(P)$ дополнительно отражает ценность срока для заказчика. Такое совместное использование допустимо при осознанном задании предпочтений. Полученный минимум относится к рассмотренному перечню и выбранным весам; он не доказывает оптимальность среди всех технически возможных способов перевозки.

4. Условный пример применения

Рассмотрим четыре плана A–D для грузового места массой 42 т. В примере расчетная поднимаемая масса с оснасткой равна 44 т. Все численные значения, подтверждения и вероятности далее заданы условно; сведений о выполненной портовой операции они не представляют. Для B и C остальные технические проверки приняты завершенными с положительным результатом. Для A установлена недостаточная грузоподъемность на рабочем вылете, для D отсутствует заключение о нагрузке на причальную площадку.

Таблица 2 – Условные основания допуска четырех планов

План	Допустимая масса подъема, т	Прибытие к рабочей зоне, ч	Общее окно ресурсов; ПРР, ч	Результат
A	40	—	—	Отклонен: 44 > 40 т
B	48	13	[16; 20]; [16; 18]	Допущен; ожидание 3 ч
C	55	9	[10; 14]; [10; 12]	Допущен; ожидание 1 ч
D	55	9	[10; 14]; [10; 12]	Нет данных о допустимой нагрузке на площадку

Время отсчитывается от отправления автопоезда, принятого за ноль; длительность ПРР составляет 2 ч. Для B начало в момент 16 ч удовлетворяет условию прибытия $13 \le 16$ и оставляет достаточно времени: $16 + 2 \le 20$. Для C аналогично $9 \le 10$ и $10 + 2 \le 14$. Подходящие места ожидания условно зарезервированы. Продолжительности циклов равны 18 и 12 ч. План D не включается в сравнение, хотя его календарь согласован.

Таблица 3 – Условные затраты и оценки допущенных планов

Показатель	B	C
Внешний подвоз, тыс. руб.	420	420
Внутрипортовое движение, тыс. руб.	40	50
Подготовка причальной зоны, тыс. руб.	80	120
ПРР, тыс. руб.	300	400
Плановое ожидание, тыс. руб.	60	20
Согласования и сопровождение, тыс. руб.	60	50
C(P), тыс. руб.	960	1060
T(P), ч	18	12
R(P), тыс. руб.	20	10
F(P) при весах (0,5; 0,3; 0,2)	0,745	0,700
F(P) при весах (0,8; 0,1; 0,1)	0,863	0,908

Для каждого плана условно предусмотрены два сценария: отсутствие отклонения с потерей 0 и дополнительная задержка с потерей 200 тыс. руб. Вероятность задержки задана равной 0,10 для B и 0,05 для C, поэтому $R(B) = 0{,}10 \times 200 = 20$, $R(C) = 0{,}05 \times 200 = 10$ тыс. руб. Потери не включают повторно плановое ожидание из таблицы 3. Их величины иллюстрируют расчет и не характеризуют надежность реального исполнителя.

Примем $C_0 = 1000$ тыс. руб., $T_0 = 24$ ч, $R_0 = 100$ тыс. руб. При весах (0,5; 0,3; 0,2) для B получается $0{,}5 \times 0{,}960 + 0{,}3 \times 0{,}750 + 0{,}2 \times 0{,}200 = 0{,}745$. Для C оценка равна $0{,}5 \times 1{,}060 + 0{,}3 \times 0{,}500 + 0{,}2 \times 0{,}100 = 0{,}700$. Выбирается C: дополнительные плановые расходы 100 тыс. руб. компенсируются в заданном критерии сокращением цикла на 6 ч и меньшими ожидаемыми потерями.

Разность оценок C и B равна $0{,}10w_C - 0{,}25w_T - 0{,}10w_R$. Поэтому C предпочтителен только при $0{,}10w_C < 0{,}25w_T + 0{,}10w_R$. Увеличение веса затрат до 0,8 при двух остальных

весах по 0,1 меняет выбор на В. Пример показывает зависимость рекомендации от явно заданных предпочтений. Он не устанавливает экономический эффект внедрения модели.

Заключение

Предложенная процедура дает для каждого плана проверяемое основание допуска, отказа или запроса данных, а для подтвержденного перечня — множество вариантов с минимальной оценкой при фиксированных масштабах и весах. В условном расчете один план отклонен по грузоподъемности, другой исключен до получения данных о площадке; предпочтение между двумя оставшимися планами меняется при увеличении веса затрат. Для применения в порту необходимо наполнить карточки действующими техническими заключениями и календарями, а вероятности отклонений обосновать данными. Пока это не выполнено, модель описывает порядок подготовки решения и не подтверждает снижение расходов, простоев или частоты нарушений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Сафиуллин Р. Р.* Методика многокритериальной оптимизации процесса планирования перевозок тяжеловесных грузов автомобильным транспортом: дис. … канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2019. – 275 с.
2. *Андреев А. Ю.* Методика определения оптимальных маршрутов в динамически изменяющихся условиях оперативного планирования автомобильных грузовых перевозок: дис. … канд. техн. наук. – Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2021. – 158 с.
3. *Бодрова М. С.* Условия развития и тенденции в перевозке негабаритного груза // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2024. – № 5. – 8 с. DOI: 10.24412/2220-2404-2024-5-5.
4. *Подобед В. А.* Перегрузка крупногабаритных особо тяжелых грузов в портах / В. А. Подобед, Р. В. Подобед, А. Н. Папуша, Б. А. Вульфович // Вестник Мурманского государственного технического университета. – 2014. – Т. 17. № 1. – С. 81–86.
5. *Подобед В. А.* Транспортировка крупногабаритных особо тяжелых грузов морем / В. А. Подобед, Р. В. Подобед, А. Н. Папуша, Б. А. Вульфович // Вестник МГТУ. – 2014. – №1. – 5 с.
6. *Прокофьева О. С.* Методика выбора перевозчика потребителями транспортных услуг // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2011. – № 4 (51). – С. 84–87.
7. *Наумов В. С.* Выбор оптимальных стратегий перевозчика на рынке транспортно-экспедиционных услуг / В. С. Наумов, Ю. В. Пересыпкин // Вестник экономики железнодорожного транспорта и промышленности. – 2010. – № 4(44). – С. 31-34.
8. *Низяева Ю. Д.* Методы выбора перевозчика / Ю. Д. Низяева, Н. А. Слободчиков // Системный анализ и логистика. 2023. № 4(38). С. 110-114. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-110-114.
9. *Низяева Ю. Д., Слободчиков Н. А.* Факторы, оказывающие влияние на выбор перевозчика // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: сборник докладов V Международной научной конференции. Ч. 1. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 219–224. DOI: 10.31799/978-5-8088-1914-6-2024-5-1-219-224.
10. *Низяева Ю. Д., Слободчиков Н. А.* Факторы, оказывающие влияние на выбор перевозчика // Аэрокосмическое приборостроение и эксплуатационные технологии: сб. докладов V Международной научной конференции. Ч. 1. – Санкт-Петербург, 2024. – С. 219–224. DOI: 10.31799/978-5-8088-1914-6-2024-5-1-219-224.



ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Низяева Юлия Денисовна
Ассистент кафедры системного анализа и логистики
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: yuliyan5@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Nizyaeva Yulia Denisovna
Assistent of the department of system analysis and logistics
Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation
67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia
E-mail: yuliyan5@yandex.ru

Дата поступления: 11.09.2026
Дата принятия: 14.09.2026