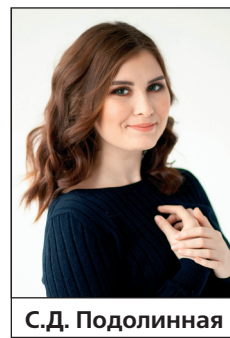


МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗМЕЩЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ВБЛИЗИ МЕЖДУНАРОДНЫХ ПУНКТОВ ПРОПУСКА

Актуальность исследования обусловлена развитием транспортно-логистической инфраструктуры приграничных территорий в условиях переориентации грузопотоков и конкуренцией на рынке логистических услуг. Целью статьи является разработка концепции информационно-аналитической системы многокритериальной оценки. Основой исследования стали методы комбинаторики и системного анализа. Сформирован алгоритм моделирования расчетов, разработана архитектура программного комплекса и представлены тестовые модули системы, демонстрирующие возможность практической реализации предложенной концепции.



С.Д. Подолная

Ключевые слова: транспортно-логистический центр, комбинаторный анализ, многокритериальная оценка, логистика, внешнеторговая деятельность, транспорт, пограничный переход

EDN: OGYZL

Актуальность развития транспортно-логистической инфраструктуры приграничных территорий Российской Федерации обусловлена геополитическими, экономическими и технологическими вызовами. В условиях переориентации логистических цепочек и интенсификации грузопотоков в восточном направлении, эффективность функционирования пунктов пропуска и примыкающих к ним территорий является важным фактором развития конкурентоспособности национальной экономики.

В условиях высокой загруженности инфраструктуры Восточного полигона железных дорог и переориентации транзитного контейнеропотока на альтернативные маршруты транспортировки, в том числе через Северный морской путь, формирование терминально-логистической инфраструктуры Дальнего Востока для освоения прогнозных объемов грузопотока приобретает стратегическое значение [6]. Перспектива сокращения расходов во всех звеньях транспортно-логистических цепей способствует развитию про-

блемы поиска рационального места для расположения объектов транспортно-логистической инфраструктуры [9]. Таким образом проблема оптимизации носит многокритериальный характер и требует учета разнородных факторов.

В контексте Дальневосточного региона проблема его участия в экономическом развитии страны приобретает особую значимость и актуальность. Согласно аналитическим прогнозам и оценкам экспертов, к третьему десятилетию XXI века данный вопрос достиг своего критического значения, что требует углубленного исследования и разработки комплексных стратегий. В условиях геополитической и экономической трансформации, Дальний Восток, являющийся стратегическим регионом России, играет важную роль в обеспечении устойчивого экономического роста и повышения конкурентоспособности страны на международном рынке [2;3]. Снижение пропускной способности существующей инфраструктуры на юге и ее недостаточное развитие на севере региона

Подолная София Дмитриевна, аспирант, старший преподаватель кафедры «Управление процессами перевозок» Дальневосточного государственного университета путей сообщения (ДВГУПС). Область научных интересов: формирование и развитие приграничной транспортной и терминально-логистической инфраструктуры. Автор 15 научных работ.

создают ограничения для последующего экономического роста. Одновременно с этим в рамках развития международных транспортных коридоров происходит разностороннее освоение приграничных территорий, включая сотрудничество соседних регионов в области туризма, торговли, создания единых производственных площадок [7], что придает дополнительный социально-экономический импульс для развития территорий.

Ключевой проблемой при создании транспортно-логистических центров (ТЛЦ) является необходимость координации различных видов транспорта. Виды транспорта взаимодействуют в транспортных узлах и пунктах пересечения сухопутных и водных путей сообщения, где производится перевалка грузов [1]. При этом значительная доля транспортных издержек связана с непроизводительными простоями. Сокращение этих потерь требует как технологического согласования операций, так и системной координации видов транспорта в рамках единой логистической системы.

Государственная значимость решения этих задач подчеркивается на стратегическом уровне. Концепция внешней политики определяет направления развития приграничных территорий на новом развиваемом направлении Россия-Монголия-Китай [8], что предполагает масштабное развитие транспортной инфраструктуры. В данном контексте повышение провозной способности Восточного полигона в условиях санкционного давления со стороны западных стран является стратегически важной задачей. В этом контексте увеличение провозной способности Восточного полигона в условиях западных санкций является важной и актуальной задачей [10].

Несмотря на актуальность озвученной проблемы, в научных исследованиях и практической деятельности, отсутствует унифицированный методический аппарат, позволяющий провести комплексную оценку мест размещения с ориентацией на приграничные территории. Целью работы является разработка концепции информационно-аналитической системы многокритериальной оценки и оптимизации выбора мест размещения объектов терминально-логистической инфраструктуры на приграничных территориях. Теоретическая значимость работы заключается в развитии методологии оценки, а практическая - в создании концептуальной основы для будущих программных решений в области транспортного планирования.

Методы и материалы

В качестве методологической основы проектируемого программного продукта положены разрабо-

танные автором методики факторно-аналитической оценки и параметрического зонирования [4;5], целенаправленно созданные для решения задач поиска и оценки мест размещения терминально-логистических объектов на приграничных территориях.

Методика факторно-аналитической оценки систематизирует 13 факторов, характеризующих развитие территории и представляет собой основу для ее количественной оценки. Основой данной методики является матричная модель, структурирующая различные факторы, характеризующие развитие территории, по трем иерархическим группам: базовые факторы, факторы первого порядка и факторы второго порядка. На основе данной систематизации производится расчет индекса факторно-аналитической оценки:

$$I_{\Phi} = \sum_{i=1}^n I_i \cdot K_i^f, \quad (1)$$

где I_i — показатель i -го фактора; K_i^f — весовой коэффициент i -го фактора.

Методика параметрического зонирования направлена на оценку инфраструктурного и технологического развития территории через анализ синергетического эффекта совместного взаимодействия ее элементов I_{Π} . В основе методики лежит систематизация коэффициентов, разделенных на две категории: экзогенные (внешние) и эндогенные (внутренние).

$$I_{\Pi} = \left(\sum_{i=1}^n K_{\text{ВН}} \right)^{\omega_{\text{ВН}}} + \left(\sum_{i=1}^n K_{\text{ВТ}} \right)^{\omega_{\text{ВТ}}}, \quad (2)$$

где $K_{\text{ВН}}$, $K_{\text{ВТ}}$ — коэффициенты характеризующие внешние и внутренние условия, влияющие на функционирование системы, соответственно; $\omega_{\text{ВН}}$, $\omega_{\text{ВТ}}$ — весовые коэффициенты внутренних и внешних коэффициентов соответственно.

Параллельно в рамках комплексной и всесторонней оценки рассчитывается индекс экономической эффективности, определяющий целесообразность размещения объекта I_{Σ} .

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (K_i \cdot \omega_i) \cdot Q_n \cdot T \pm C_d, \quad (3)$$

где K_i — i -й коэффициент, принимаемый для экономической оценки; ω_i — весовой коэффициент i -го параметра; Q_n — прогнозируемый грузопоток; T — средний тариф за оказание услуг; C_d — дисконтированные затраты.

Интегральный показатель рассчитывается на основе синтеза частных индексов с применением весовых коэффициентов, что обеспечивает повышение точности оценки.

$$I = I_{\Phi} \cdot \omega_1 + I_{\Pi} \cdot \omega_2 + I_{\Sigma} \cdot \omega_3, \quad (4)$$

где $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ — весовые коэффициенты, отражающие относительную значимость каждого индекса в общей оценке.

Полученные в результате расчетов значения индексов подлежат классификации в соответствии с установленной оценочной шкалой (таблица). Поскольку каждый индекс может находиться в любом из оценочных интервалов, это порождает множество альтернативных сценариев для принятия управленческих решений. Для количественной оценки данного множества предлагается применение комбинаторного подхода, при котором общее количество уникальных сценариев определяется как произведение возможных состояний всех учитываемых индексов. Число уникальных событий предлагается рассчитывать следующим образом

$$N = n_{I_\Phi} \cdot n_{I_{Tj}} \cdot n_{I_{\Delta k}}, \quad (5)$$

где n — количество возможных состояний каждого индекса, определяется на основе оценочных промежутков оценочной шкалы.

Для однозначной интерпретации результатов оценки предлагается использовать структурированную оценочную шкалу, устанавливающую соответствие между численными значениями интегрального показателя и качественными характеристиками рациональности размещения объекта. Данная шкала предусматривает четыре четко дифференцированных интервала, каждому из которых соответствует определенный цветовой маркер и текстовая рекомендация, что обеспечивает наглядность и удобство восприятия итоговых данных.

$$f = \begin{cases} I_{\Phi i} \\ I_{Tj} \\ I_{\Delta k} \end{cases}, \quad \text{где } i, j, k \in [n].$$

Таким образом общее количество возможных сценариев будет составлять 64.

$$N = 4 \cdot 4 \cdot 4 = 64.$$

Применение комбинаторного подхода позволит выявить оптимальный сценарий территориального

Таблица

**Интерпретированная цветовая шкала оценки рациональности размещения
терминально-логистического объекта**

Числовой промежуток	Зона	Интерпретация результата
$0,75 < I \leq 1$		Размещение терминально-логистического объекта является экономически выгодным и стратегически обоснованным решением. Приграничная территория обладает современной и хорошо развитой инфраструктурой, которая полностью соответствует международным стандартам транспортных операций. Объект способен поддерживать свою деятельность в текущих условиях, а также справляться с растущими объемами грузопотоков без значительных дополнительных вложений.
$0,5 < I \leq 0,75$		Размещение транспортно-логистического объекта (ТЛО) целесообразно при условии реализации сопутствующих проектов, направленных на оптимизацию логистических и таможенных процессов. Территория обладает хорошо развитой, но частично устаревшей инфраструктурой, способной поддерживать текущий уровень грузоперевозок. Есть потенциал для роста, однако требуется целенаправленная модернизация ключевых объектов, например, расширение пропускных пунктов и складских мощностей.
$0,25 < I \leq 0,5$		Размещение терминально-логистического объекта сопряжено с высокими рисками и малой эффективностью. Приграничная территория обладает минимальным ресурсным потенциалом, однако ее инфраструктура сильно изношена и не соответствует современным требованиям. Реализация этого проекта потребует значительных финансовых затрат и продолжительного времени.
$0 < I \leq 0,25$		Не рекомендуется размещение терминально-логистического объекта. Существующие условия на приграничной территории абсолютно не соответствуют требованиям. Расходы, связанные с финансовыми и временными ресурсами, необходимыми для реализации проекта, окажутся высокими в условиях прогнозируемой минимальной эффективности.

развития, выполнить диагностику текущего состояния инфраструктуры, и провести анализ чувствительности системы для идентификации индексов, оказывающих наибольшее влияние на итоговое значение интегрального индекса. Кроме того, данный подход позволит определить спектр допустимых комбинаций для формирования стратегического развития. Количество возможных сценариев увеличивается пропорционально увеличению числа рассматриваемых индексов, что способствует повышению сложности проведения вычислений. Для решения

данной проблемы предлагается алгоритмизация процесса посредством создания специализированного программного обеспечения. Программный продукт будет автоматизировать расчеты и представлять результаты в виде аналитических диаграмм, картограмм и таблиц. Данный подход позволит не только сократить временные затраты на проведение математических расчетов, но и повысить обоснованность принятия управленческих решений. Архитектура проектируемого программного продукта представлена на рисунке.

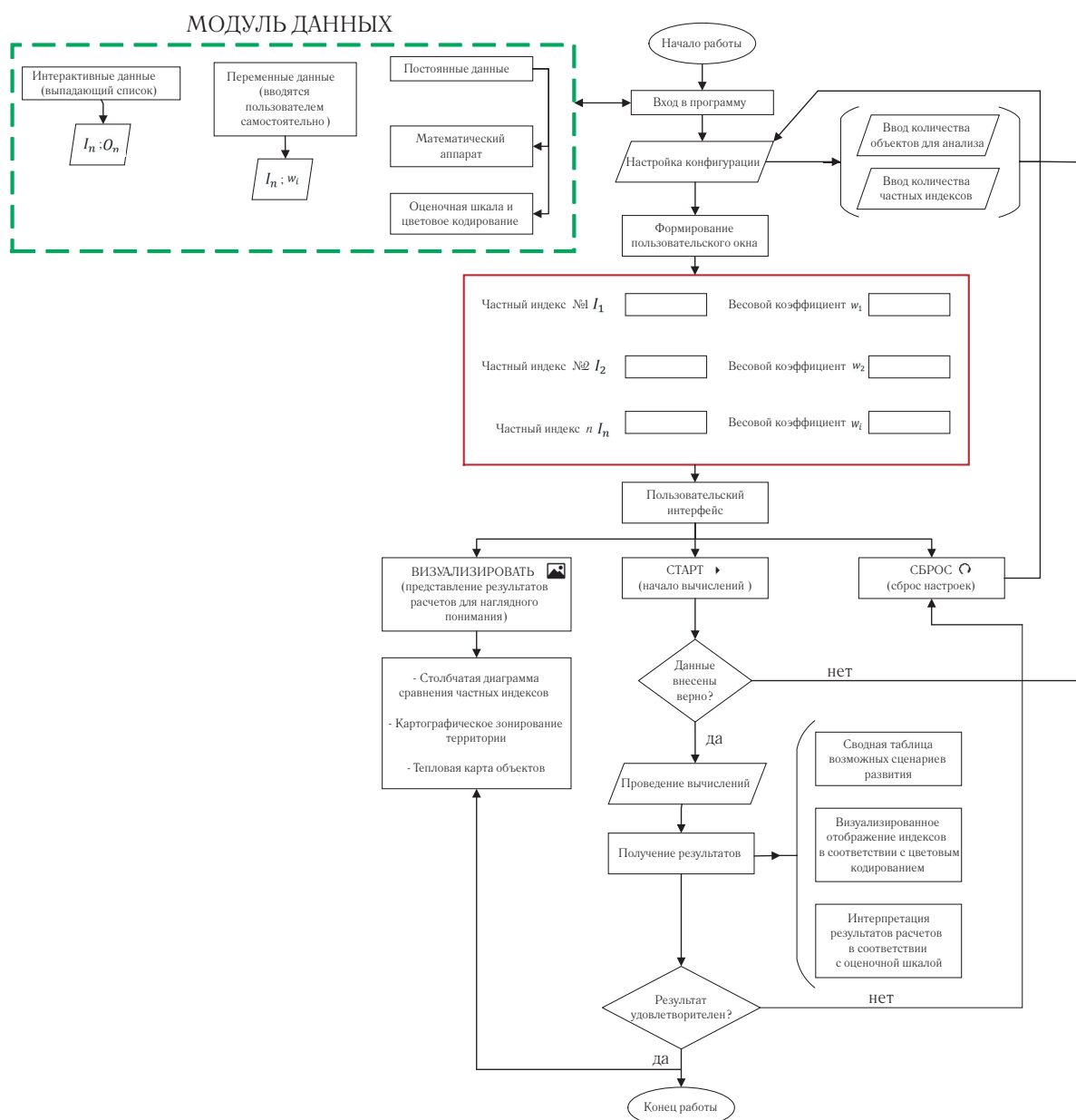


Рисунок. Архитектура и алгоритм работы программного продукта

Начало работы инициируется через главное меню, реализованное в виде интуитивно понятного пользовательского интерфейса, оптимизированного для оперативной работы. На начальном этапе пользователь последовательно задает количество оцениваемых объектов (N) и число используемых частных индексов (M). На основе этих параметров происходит динамическое формирование интерфейса ввода данных, состоящего из N блоков — по количеству анализируемых объектов. Каждый блок содержит M строк ввода с выделенными полями для указания численного значения индекса и соответствующего весового коэффициента. Управляющие функции системы сосредоточены в верхней панели интерфейса, содержащей кнопки выполнения расчета, визуализации результатов и сброса настроек.

Вычислительный модуль системы представлен в виде трехуровневой структуры данных:

- постоянные данные, включающие нормативные показатели и методические параметры;
- переменные данные, вносимые пользователем через интерфейс ввода;
- интерактивные данные, выбираемые из выпадающих списков с системными ограничениями по диапазону значений.

Важным аспектом работы системы является механизм валидации входных данных. Перед запуском механизма проведения расчетов будет осуществляться проверка соответствия суммы весовых коэффициентов условию $\sum w_i = 1$. При обнаружении отклонений вычисление расчетов блокируется, а интерфейс обеспечивает визуальную идентификацию ошибки, что позволяет пользователю оперативно скорректировать входные данные.

По результатам работы системы формируется аналитический отчет содержащий расчет интегрального индекса с цветовой индикацией в соответствии с оценочной шкалой, определение количества возможных сценариев, детализированную таблицу сценариев с параметризацией и рекомендации о целесообразности размещения объектов.

При получении удовлетворительных результатов оценки пользователь имеет возможность визуализировать решение через различные форматы представления данных, включая сравнительные гистограммы, картограммы с территориальной привязкой и другие графические продукты, обеспечивающие комплексное восприятие аналитической информации.

Обсуждения

Представленная концепция программного комплекса демонстрирует возможность систематизации и автоматизации процесса принятия решений при

размещении объектов транспортно-логистической инфраструктуры на приграничных территориях. В отличие от существующих методик, предлагаемая модель интегрирует множественные критерии оценки в единый.

На основе разработанной архитектуры можно прогнозировать качественные преимущества при практической реализации системы:

- снижение субъективности: механизм использования весовых коэффициентов и валидации данных создает стандартизированный подход к оценке, минимизируя влияние личных предпочтений экспертов на итоговый результат;
- наглядность и обоснованность решений: многоуровневая система визуализации (диаграммы, картограммы, таблицы) позволяют не только вычислять итоговый результат, но и понимать логику ее формирования, выявляя «сильные» и «слабые» стороны каждого потенциального места размещения;
- анализ «Что-если» (What-If): динамический интерфейс ввода данных и мгновенный пересчет результатов создают основу для сценарного моделирования. Пользователь может оценить, как изменение отдельных параметров повлияет на значение интегрального показателя.

Несмотря на то, что программный продукт находится на стадии теоретической разработки, его архитектура позволяет прогнозировать результаты будущей апробации. Ожидается, что применение системы позволит выявить неочевидные на первый взгляд территории с высоким потенциалом, а также количественно оценить необходимый объем инвестиций для перевода объектов из «оранжевой» в «желтую» или «зеленую» зону.

Однако существуют ограничения в работе системы, которая выражается зависимостью от качества входных данных. Достоверность полученных результатов зависит от точности и актуальности вводимых исходных данных, включая статистическую информацию и экспертные оценки.

Заключение

По результатам исследования была разработана концепция информационно-аналитического продукта для многокритериальной оценки и оптимизации выбора мест размещения ТЛЦ на приграничных территориях. Практическая ценность исследования состоит в создании концептуальной основы для разработки программного обеспечения, способного автоматизировать процесс оценки и визуализации результатов. Предложенная архитектура предусматривает динамическое формирование интерфейса, валидацию входных данных и многоформатное пред-

ставление результатов. Возможной перспективой дальнейшего исследования является адаптация системы для различных типов ТЛО, интеграция с геоинформационными системами и разработка модулей прогнозной аналитики. Реализация предложенных решений будет способствовать повышению эффективности управления транспортной инфраструктурой приграничных регионов и оптимизации логистических процессов в условиях роста международных грузопотоков. 

Литература

1. Бунеев, В. М. Некоторые аспекты взаимодействия видов транспорта и оптимизации маршрутов (на примере Сибири) / В. М. Бунеев, Г. Ж. Игликова, В. Н. Попов. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. - 2024. - № 3 (112). - С. 26-30. - EDN LUGLIF.
2. Переселенков, Г. С. Перспектива повышения доступности севера Дальнего Востока / Г. С. Переселенков. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. - 2024. - № 5 (114). - С. 53-55. - EDN VHBLJS.
3. Переселенков, Г. С. Развитие транспортной сети на севере Дальнего Востока / Г. С. Переселенков. - Текст : непосредственный // Путь и путевое хозяйство. - 2022. - № 3. - С. 33-34. - EDN VMIQYL.
4. Подолинная, С. Д. Метод факторно-аналитической оценки потенциальных мест размещения транспортно-логистических объектов / С. Д. Подолинная, Р. Г. Король. - Текст : непосредственный // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. - 2025. - № 2 (98). - С. 231-242. - DOI 10.46-973/0201-727X_2025_2_231. - EDN NFVVXY.
5. Подолинная, С. Д. Определение места размещения транспортно-логистического объекта в особых экономико-географических зонах / С. Д. Подолинная, Р. Г. Король. - Текст : непосредственный // Транспорт Урала. - 2024. - № 4 (83). - С. 69-75. - DOI 10.20291/1815-9400-2024-4-69-75. - EDN UMZBIA.
6. Король, Р. Г. Развитие терминально-логистической инфраструктуры арктических и северо-восточных регионов Дальнего Востока / Р. Г. Король. - Текст : непосредственный // Вестник транспорта Поволжья. - 2022. - № 6 (96). - С. 84-92. - ISSN 1997-0722.
7. Дудакова, А. В. Перспективы развития приграничных территорий в рамках международных транспортных коридоров / А. В. Дудакова, Р. Ю. Упырь. - Текст : непосредственный // Исследование и развитие рельсового и автомобильного транспорта : сборник трудов Международной научно-практической конференции, Екатеринбург, 22-23 мая 2024 года. - Екатеринбург : Уральский государственный университет путей сообщения, 2024. - С. 230-234. - EDN KIXXBC.
8. Дудакова, А. В. Предпосылки усиления транспортной связанности приграничных районов с учетом развития международных транспортных коридоров / А. В. Дудакова, Р. Ю. Упырь. - Текст : непосредственный // Современные вопросы устойчивого развития общества в эпоху трансформационных процессов: сборник материалов XIV Международной научно-практической конференции, Москва, 25 декабря 2023 года. - Москва : ООО «Издательство АЛЕФ», 2023. - С. 285-288. - DOI 10.34755/IROK.2023.40.69.009. - EDN BLLJHA.
9. Конфигурирование терминально-складской инфраструктуры транспортного узла на основе развития метода экономико-географического разграничения грузопотоков / О. Н. Числов, В. А. Богачев, В. В. Трапенов [и др.]. - Текст : непосредственный // Известия Петербургского университета путей сообщения. - 2022. - Т. 19, № 4. - С. 800-811. - DOI 10.20295/1815-588X-2022-4-800-811. - EDN NTHHBN.
10. Марченко, М. А. Метод повышения провозной способности Восточного полигона на основе увеличенного интервала между пакетами поездов / М. А. Марченко, О. Д. Покровская. - Текст : непосредственный // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. - 2025. - № 4 (119). - С. 38-41. - EDN LYPJQS.