

Методика принятия проектных решений по изменению облика и мощности мультимодального транспортного узла

М.В. Нечипорук¹✉, В.А. Анисимов²

¹Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск, Российская Федерация

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

✉Miranaforeverrr@mail.ru

Резюме

Стабильная тенденция роста экспортных перевозок топливно-энергетических грузов в направлении портов тихоокеанского побережья Дальнего Востока Российской Федерации требует значительного усиления мощности транспортной инфраструктуры Восточного полигона, особенно в нынешней геополитической ситуации. В этой связи особую актуальность приобретает задача эффективного использования существующих резервов провозной и пропускной способностей объектов железнодорожного и морского транспорта, их комплексного развития на основе сбалансированности параметров, определяющих производительность железнодорожной и морской портовой инфраструктуры. В связи с этим была разработана методика принятия проектных решений по изменению облика и мощности мультимодального транспортного узла с учетом взаимодействия объектов железнодорожного и морского транспорта и надежности их функционирования. Применены методология структурного системного анализа, теория систем, принцип декомпозиции, теория множеств, основы теории графов и теории надежности, а также методы системного анализа, математического моделирования процессов и систем, принятия решений, динамического программирования, многокритериальной оптимизации, экономической оценки эффективности проектных решений. Обоснована актуальность задачи эффективного использования существующих резервов провозной и пропускной способностей железнодорожной и морской портовой инфраструктуры, ее всестороннего развития на основе сбалансированности технических и технологических параметров. Предложенная методика позволяет сформировать область эффективных стратегий развития мультимодального транспортного узла для принятия решений по изменению объектов железнодорожного и морского транспорта с целью повышения их функциональности, конструктивного взаимодействия и безопасности.

Ключевые слова

транспортная инфраструктура, мультимодальный транспортный узел, железнодорожный и морской транспорт, провозная способность, пропускная способность, облик и мощность мультимодального транспортного узла, технические и технологические параметры, методика принятия проектных решений, стратегия развития

Для цитирования

Нечипорук М.В. Методика принятия проектных решений по изменению облика и мощности мультимодального транспортного узла / М.В. Нечипорук, В.А. Анисимов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 4 (80). С. 78–87. DOI 10.26731/1813-9108.2023.4(80).78-87.

Информация о статье

поступила в редакцию: 15.10.2023 г.; поступила после рецензирования: 24.11.2023 г.; принята к публикации: 28.11.2023 г.

Methodology of making design decisions to change the appearance and capacity of a multimodal transport hub

M.V. Nechiporuk¹✉, V.A. Anisimov²

¹Far Eastern State Transport University, Khabarovsk, the Russian Federation

²Saint Petersburg State Transport University named after Emperor Alexander I, Saint Petersburg, the Russian Federation

✉Miranaforeverrr@mail.ru

Abstract

The stable trend of growth in export transportation of fuel and energy cargo in the direction of the ports of the Pacific coast of the Russian Federation Far East requires a significant increase in the capacity of the transport infrastructure of the Eastern Polygon, especially in the current geopolitical situation. In this regard, the task of effectively using the existing reserves of freight and throughput capacity of railway and sea transport facilities, their comprehensive development based on the balance of parameters that determine the capacity of the railway and sea port infrastructure, is of particular relevance. To solve this problem, a methodology has been developed of making design decisions to change the appearance and capacity of a multimodal transport hub, taking into account the interaction of railway and sea transport facilities and the reliability of their functioning. The methodology of structural system analysis, systems theory, decomposition principle, set theory, fundamentals of graph theory and reliability theo-

ry were applied as well as the methods of system analysis, mathematical modeling of processes and systems, decision making, dynamic programming, multicriteria optimization and economic assessment of the effectiveness of design solutions. The relevance is substantiated of the task of effectively using the existing reserves of the railway and sea port infrastructure carrying and throughput capacity and its comprehensive development based on the balance of technical and technological parameters that determine the appearance and capacity of railway and sea transport facilities, taking into account their interaction and reliability of operation. The developed methodology makes it possible to form an area of effective strategies for the development of a multimodal transport hub for making decisions on changing the appearance and capacity of railway and sea transport facilities, taking into account their interaction and operation reliability.

Keywords

transport infrastructure, multimodal transport hub, rail and sea transport, carrying capacity, throughput capacity, appearance and capacity of a multimodal transport hub, technical and technological parameters, methods of making design decisions, development strategy

For citation

Nechiporuk M.V., Anisimov V.A. Metodika prinyatiya proyektnykh reshenii po izmeneniyu oblika i moshchnosti mul'timodal'nogo transportnogo uzla [Methodology of making design decisions to change the appearance and capacity of a multimodal transport hub]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 4(80), pp. 78–87. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.4(80).78-87.

Article info

Received: October 15, 2023; Revised: November 24, 2023; Accepted: November 28, 2023.

Введение

В последнее десятилетие в направлении портов тихоокеанского побережья Дальнего Востока России зафиксирован стабильный рост потребности в экспортных перевозках топливно-энергетических природных ресурсов, требующий существенного усиления провозной способности транспортной инфраструктуры Восточного полигона, особенно в нынешней геополитической ситуации, когда коренным образом изменилась логистика грузовой базы в связи с переориентацией экспортных потоков с Запада на Восток. В этой связи особую актуальность приобретает задача эффективного использования существующих резервов провозной и пропускной способностей железнодорожной и морской портовой инфраструктуры, ее комплексного развития на основе сбалансированности технических и технологических параметров, определяющих облик и мощность объектов железнодорожного и морского транспорта с учетом их взаимодействия и надежности функционирования.

Основная доля экспортных, импортных и транзитных грузопотоков приходится на мультимодальные перевозки. На их эффективность существенное влияние оказывает взаимодействие объектов разных видов транспорта, так как при мультимодальных перевозках около 70 % от общего времени доставки грузов приходится на их нахождение в транспортных узлах, где осуществляется перемещение грузов с одного вида транспорта на другой. В Стратегии

пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 г. [1] заявлено о создании единой сети национальных мультимодальных транспортных узлов (МТУ) и организации взаимодействия между ними в освоении внутренних и внешнеторговых грузопотоков.

Для совершенствования МТУ разных видов транспорта и повышения эффективности их взаимодействия требуется комплексная оценка облика, мощности и надежности объектов узла. Объекты МТУ взаимосвязаны и взаимозависимы, поэтому согласованность (сбалансированность) их технических и технологических параметров в значительной степени влияет на эксплуатационную надежность, провозную и перерабатывающую способность всего транспортного узла.

В настоящее время наблюдается дисбаланс между растущим объемом погрузки и невыполнением норм выгрузки экспортных грузов в морских портах, что негативно влияет на эксплуатационную надежность железнодорожных подходов к портам мультимодальной транспортной сети, приводит к необходимости отставления от движения поездов, отказам в продвижении экспортных грузопотоков и вывозе порожних вагонов, увеличивает сроки доставки грузов и время оборота вагонов.

Согласно [2, 3] временно отставленный от движения («брошенный») состав поезда – это состав грузового поезда без локомотива, задержанный в продвижении к станции назначения по коммерческим, техническим или тех-

нологическим причинам на железнодорожной станции ОАО «РЖД».

Основными причинами отставления от движения грузовых поездов являются несвоевременный подход судов, ожидание накопления судовых партий, недостаточность площадей складов и емкостей нефтебаз, отказы в работе выгрузочных и погрузочных устройств. Для «подъема» временно отставленных от движения поездов необходимо выделение ниток графика на следование локомотивов резервом, что снижает пропускную способность направления, производительность локомотивов и увеличивает эксплуатационные расходы. Кроме того, требуются дополнительные затраты на транспортировку и работу локомотивных бригад и осмотровиков вагонов.

На рис. 1 представлена диаграмма количества поездов, временно отставленных от движения на Дальневосточной железной дороге в 2009–2022 гг.

Ущерб для ОАО «РЖД» от простоя временно отставленных от движения поездов включает в себя потери от неиспользования вагонного парка из-за непроизводительного простаивающих вагонов, затраты из-за снижения пропускной способности участков, дополнительной поездной и маневровой работы, затраты на «подъем» поездов, а также потери от простоя «чужих» вагонов в отставленных поездах и не вывезенного груза в период действия конвенционных запретов [2].

Для сокращения количества отставленных поездов и издержек на их «подъем» необходимо

совершенствовать и повышать эффективность взаимодействия объектов МТУ на основе поиска оптимальных и сбалансированных значений параметров, характеризующих их облик, мощность и эксплуатационную надежность.

В статье предлагается методика принятия проектных решений по изменению облика и мощности МТУ с учетом взаимодействия объектов железнодорожного и морского транспорта и надежности их функционирования, которая направлена на решение обозначенной проблемы.

Теоретические основы

Обобщая определения, приведенные в исследованиях [4–6], под термином «мульти-модальный транспортный узел» будем понимать транспортный комплекс, объединяющий в себе технологически связанные между собой объекты разных видов транспорта, обеспечивающие перевозку грузов и пассажиров. МТУ может включать в себя объекты железнодорожного (станции и перегоны), водного (морские и речные порты), трубопроводного, автомобильного, воздушного транспорта, связывающие их автомобильные дороги и рельсовые пути, а также логистические центры с грузовыми терминалами и складскими комплексами, пункты транспортного страхования и таможенного оформления грузов, организации, оказывающие транспортно-экспедиторские услуги. В МТУ осуществляется техническое, технологическое, информационное, экономическое и правовое взаимодействие различных видов транспорта и субъектов, участвующих в обес-



Рис. 1. Количество поездов, временно отставленных от движения на Дальневосточной железной дороге в 2009–2022 гг.

Fig. 1. Number of trains temporarily suspended on the Far Eastern Railway for the period of 2009–2022

печении мультимодальных перевозок.

В связи с тем, что основной объем экспортных, импортных и транзитных мультимодальных перевозок выполняется железнодорожным и морским транспортом, ограничимся объектами данных видов транспорта.

При разработке методики принятия проектных решений по изменению облика и мощности МТУ были решены следующие задачи:

1. Проанализированы причины задержек в продвижении составов грузовых поездов [7], определены факторы, снижающие качество взаимодействия инфраструктурных объектов железнодорожного и морского транспорта в МТУ, и выполнена их систематизация с применением инфраструктурных, технологических, социально-экономических, нормативно-правовых и природно-климатических признаков.

2. Сформулированы стратегические цели функционирования и развития МТУ. На основе использования сбалансированной системы показателей (ССП) определены критерии оценки проектных альтернатив изменения облика объектов узла, характеризующие их мощность, эффективность и эксплуатационную надежность [7–9]. ССП позволила установить причинно-следственные связи между стратегическими целями, ключевыми показателями оценки проек-

ных альтернатив, техническими и технологическими параметрами объектов МТУ.

Проектной альтернативой изменения облика и мощности МТУ является любой возможный вариант изменения облика и мощности объектов МТУ, который включает в себя комплекс мероприятий и технологий их реализации, направленный на достижение поставленных целей.

3. С применением теории систем, структурного системного анализа, принципа декомпозиции и теории множеств разработаны теоретико-множественные модели МТУ для математического описания процессов функционирования и развития объектов железнодорожного и морского транспорта, а также их взаимодействия [5].

4. Для оценки эксплуатационной надежности объектов МТУ разработана математическая модель определения коэффициента готовности узла к освоению потребных объемов перевозок на расчетный период времени. На рис. 2 представлена топологическая модель Ванинско-Совгаванского МТУ (ВСМТУ) для расчета его коэффициента готовности, построенная с помощью теории графов.

5. В среде AnyLogic, на основе использования современного опыта моделирования

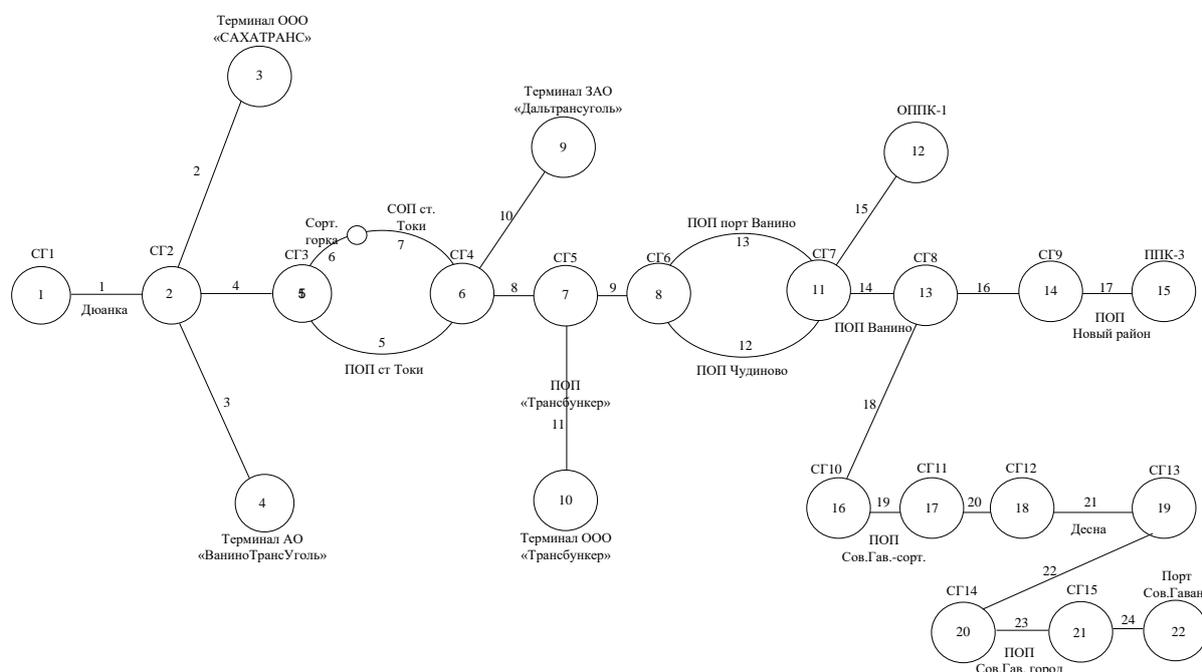


Рис. 2. Топологическая модель мультимодального транспортно узла для расчета коэффициента готовности к освоению потребных объемов перевозок на расчетный период времени

Fig. 2. The topological model of the multimodal transport hub for calculating the coefficient of readiness for the development of the required transportation volumes for the estimated period of time

транспортных систем [10–12], создана имитационная модель функционирования и развития ВСМТУ [13] для формирования исходного множества проектных альтернатив (ИМПА) изменения облика и мощности МТУ. На рис. 3 представлена расчетная схема модели.

В качестве математической основы методики оценки проектных альтернатив при имитационном моделировании функционирования и развития МТУ были использованы разработанные теоретико-множественные модели МТУ, модель определения коэффициента готовности МТУ к освоению потребных объемов перевозок на расчетный период времени и топологическая модель ВСМТУ.

Имитационная модель позволила исследовать взаимодействие объектов железнодорожного и морского транспорта, оценить влияние на их эксплуатационную надежность стохастических факторов, изучить закономерности функционирования и развития такой сложной транспортной системы, как МТУ, определить сбалансированные значения технических и технологических параметров, при которых система сможет бесперебойно работать в условиях возрастания вагонопотока, а также мероприятия поэтапного увеличения мощности объектов МТУ для пропуска перспективного грузопотока.

6. Сформулирована содержательная постановка задачи формирования области эффек-

тивных проектных альтернатив (ОЭПА) поэтапного развития мультимодального транспортного узла, разработаны ее математическая модель и методика решения, позволяющая в исходном множестве проектных альтернатив найти ОЭПА для принятия проектных решений по изменению облика и мощности МТУ при заданных ограничениях и условиях эффективности.

Задача формирования ОЭПА развития МТУ относится к многокритериальным недетерминированным динамическим задачам [14–16], так как используемые для оценки проектных альтернатив критерии зависят от времени и случайных величин. При решении такого рода задач небольшой размерности широко применяется метод динамического программирования [15–19], в котором для поиска оптимума используется направленный последовательный перебор вариантов. Для задач с большой размерностью использование данного метода затруднительно. В этом случае исходную задачу посредством декомпозиции делят на частные. Например, применив метод статических сечений [20, 21], задачу принятия проектных решений по развитию МТУ можно разбить на частные задачи по годам расчетного периода. Из найденных частных решений по статическим сечениям с помощью метода динамического программирования получают общее решение исходной задачи.

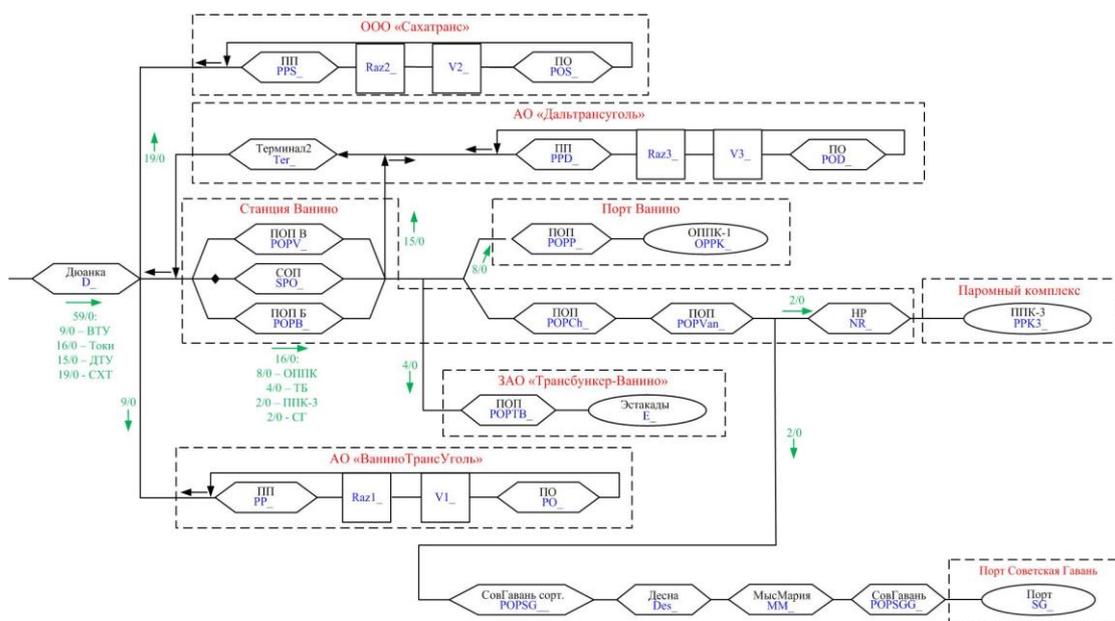


Рис. 3. Расчетная схема имитационной модели функционирования и развития Ванинско-Совгаванского мультимодального транспортного узла

Fig. 3. Calculation scheme of functioning and development simulation model of the Vanino-Sovgavan' multimodal transport hub

Для решения рассматриваемой задачи применим декомпозицию и модифицированный метод динамического программирования – обобщенный алгоритм Кеттеля [22, 23], с помощью которых формируется полное множество Парето-оптимальных решений (область эффективных проектных альтернатив). ОЭПА представляет собой доминирующую последовательность проектных альтернатив (ДППА), из которой лицо, принимающее решения (ЛПР), выбирает оптимальный комплексный план развития МТУ. Использование данного метода существенно сокращает число рассматриваемых проектных альтернатив, так как декомпозиция исходной задачи на частные в сочетании с направленным последовательным перебором вариантов позволяет исключить неконкурентоспособные продолжения изменения облика и мощности МТУ.

7. Выполнена апробация методики принятия проектных решений по изменению облика и мощности МТУ на примере ВСМТУ.

Результаты и их обсуждение

Содержательная постановка задачи формирования ОЭПА по этапному развитию МТУ:

Дано:

- грузопотоки по годам расчетного периода;
- возможные инфраструктурные и организационно-технологические мероприятия по изменению облика и мощности объектов МТУ;
- технико-эксплуатационные и экономические показатели ССП и алгоритмы их расчета;
- заданные значения целевых технико-эксплуатационных и экономических показателей ССП;
- объемы привлекаемых инвестиций по годам расчетного периода.

Требуется сформировать область эффективных проектных альтернатив развития МТУ, обеспечивающих поэтапное выполнение заданных целевых показателей в пределах распределенного во времени объема привлеченных инвестиций.

Методика формирования ОЭПА включает в себя три основных этапа:

1. Формирование ИМПА изменения облика и мощности объектов МТУ с помощью его имитационной модели.
2. Проверка ИМПА на допустимость и формирование допустимого множества проек-

ных альтернатив (ДМПА) развития объектов МТУ. Для этого посредством экспертной оценки из ИМПА исключаются альтернативы, реализация которых невозможна или может быть ограничена из-за территориальных, экологических, социальных, технологических, правовых, геополитических и других факторов.

Например, недопустимые альтернативы отсеиваются экспертом, так как не могут быть реализованы по причине невозможности развития объектов МТУ на существующей площадке из-за отсутствия резерва территории или из-за расположения в черте города или охраняемой природной территории.

3. Формирование из ДМПА развития объектов МТУ области эффективных проектных альтернатив – основы для принятия проектных решений по изменению облика и мощности МТУ, обеспечивающих поэтапное выполнение заданных целевых показателей с учетом распределенного во времени объема привлеченных инвестиций.

Алгоритм формирования ОЭПА следующий:

1. По каждому объекту МТУ на основе ДМПА строится доминирующая последовательность Парето-оптимальных проектных альтернатив изменения его облика и мощности.
2. Из доминирующих последовательностей проектных альтернатив изменения облика и мощности объектов МТУ формируются ДМПА развития МТУ с учетом выполнения условия неперевышения объемов привлекаемых инвестиций.

3. На основе ДМПА развития МТУ строится ДППА изменения облика и мощности МТУ.

4. С учетом заданных значений целевых технико-эксплуатационных и экономических показателей ССП из ДППА изменения облика и мощности МТУ выделяется ОЭПА развития МТУ, которую ЛПР использует для выбора эффективного варианта, удовлетворяющего заданным ограничениям.

В связи с декомпозицией задачи поэтапного развития МТУ на частные в качестве критериев оптимальности применяются только аддитивные или мультипликативные показатели ССП:

- провозная, пропускная и перерабатывающая способности объектов узла;
- народнохозяйственная эффективность;
- отраслевая эффективность;
- коэффициент готовности МТУ к освое-

нию потребного объема перевозок;

- время нахождения грузов в МТУ;
- время нахождения подвижного состава (вагонов, локомотивов) и судов в МТУ;
- суммарное время задержки доставки грузов из-за отказов в работе объектов МТУ;
- количество поездов, временно отставленных от движения [7].

ДППА изменения облика и мощности объектов МТУ строятся по затратам на реализацию проектных альтернатив, показателю мощности (провозной, пропускной или перерабатывающей способностям) и коэффициенту готовности МТУ к освоению потребного объема перевозок.

При построении ДППА изменения облика и мощности МТУ ее длина может быть очень значительна. В этом случае для сокращения ДППА применяют дополнительные показатели ССП для отсеивания проектных альтерна-

тив, например, суммарное время задержки доставки грузов из-за отказов в работе объектов МТУ или количество поездов, временно отставленных от движения.

После формирования ОЭПА развития МТУ перед ЛПР ставится задача выбора наилучшей проектной альтернативы из множества конкурентоспособных вариантов. Возможны две постановки данной задачи:

- найти такую проектную альтернативу изменения облика и мощности МТУ, которая при заданном объеме инвестиций обеспечит максимальную эффективность по показателям ССП;
- найти такую проектную альтернативу изменения облика и мощности МТУ, которая обеспечит достижение заданных целевых показателей при минимальном объеме инвестиций.

ЛПР в работе с ОЭПА развития МТУ может использовать такой инструмент ССП, как «приборная панель» ЛПР (рис. 4), которая

Приоритет	Показатели Наименование	Заданные условия		Стратегии развития МТУ					
		min	max	23	22	21	...	10	...
		1	Инвестиции в развитие МТУ, млрд руб.		53	52,362	45,244	40,565	
2	Народнохозяйственная эффективность, млрд руб.	85		87,435	86,881	80,77		60,96	
3	Отраслевая эффективность, млрд руб.	60		60,827	58,791	57,35		40,76	
4	Коэффициент готовности МТУ к освоению потребного объема перевозок	0,950		0,981	0,980	0,977		0,968	
5	Время нахождения грузов в МТУ, часы		35	19,5	22,3	27,4		34,5	
6	Суммарное время задержки доставки грузов из-за отказов в работе объектов МТУ, часы		150	69,3	78,9	122,4		146,1	
7	Время нахождения вагонов в МТУ, часы		25	12,2	14,3	17,6		24,4	
8	Количество поездов, временно отставленных от движения		1200	445	559	724		1096	

Рис. 4. «Приборная панель» для лица, принимающего решение

Fig. 4. The «dashboard» of the decision-maker

включает в себя показатели ССП, упорядоченные по приоритету, их целевые значения (максимум или минимум) и значения по проектным альтернативам.

Заключение

Стабильная тенденция роста экспортных перевозок топливно-энергетических грузов в направлении портов тихоокеанского побережья Дальнего Востока Российской Федерации требует значительного усиления мощности транспортной инфраструктуры Восточного полигона, особенно в нынешней геополитической ситуации. В этой связи особую актуальность приобре-

тает задача эффективного использования существующих резервов провозной и пропускной способностей объектов железнодорожного и морского транспорта, их комплексного развития на основе сбалансированности параметров, определяющих мощность железнодорожной и морской портовой инфраструктуры. Разработанная методика позволяет сформировать область эффективных проектных альтернатив развития МТУ для принятия решений по изменению облика и мощности его объектов с учетом их взаимодействия и надежности функционирования.

Список литературы

1. Стратегия пространственного развития Российской Федерации на период до 2025 года : утв. распоряжением Правительства Рос. Федерации от 13.02.2019 г. № 207-р (ред. 30.09.2022). Доступ из справ.-правовой системы КонсультантПлюс в локал. сети.
2. Об утверждении формы внутренней статистической отчетности ДО-5ВЦ «Отчет о наличии задержанных в движении составов грузовых поездов и вагонов в них» : распоряжение ОАО «РЖД» от 04.09.2012 № 1764р (ред. 19.09.2018). Доступ из справ.-правовой системы АСПИЖТ в локал. сети.
3. Регламент взаимодействия между региональными подразделениями функциональных филиалов ОАО «РЖД» при организации вынужденного временного отставления от движения грузовых поездов, следующих на припортовые железнодорожные станции и пограничные переходы Дальневосточной железной дороги : утв. и.о. начальника Дальневосточной железной дороги от 21.10.2019 №ДВОСТ-702/пд.
4. Методологические основы проектирования этапного развития облика и мощности мультимодальной транспортной сети / С.М. Гончарук, В.А. Анисимов, Н.С. Нестерова и др. Хабаровск : ДВГУПС, 2012. 227 с.
5. Анисимов В.А., Нечипорук М.В. Модель взаимодействия железнодорожного и морского транспорта для повышения эффективности мультимодальных перевозок // Изв. Петербург. ун-та путей сообщения. 2014. № 3 (40). С. 9–15.
6. Нестерова Н.С. Методология проектирования мультимодальной транспортной сети : дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2017. 387 с.
7. Нечипорук М.В., Анисимов В.А. К вопросу использования сбалансированной системы показателей при моделировании взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в мультимодальном транспортном узле // Транспорт Урала. 2014. №3 (42). С. 13–17.
8. Козлов И.Т. Пропускная способность транспортных систем. М. : Транспорт, 1985. 214 с.
9. Грунтов П.С. Эксплуатационная надежность станций. М. : Транспорт, 1986. 247 с.
10. Макромоделирование транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин и др. // Железнодорожный транспорт. 2015. № 10. С. 38–40.
11. Многоподходное имитационное моделирование // AnyLogic : сайт. URL: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/multimethod-modeling/> (Дата обращения 10.10.2023).
12. Король Р.Г., Балалаев А.С. Имитационное моделирование системы «Железнодорожная станция – морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла // Вестн. гос. ун-та морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2015. № 3 (31). С. 209–216.
13. Нечипорук М.В., Анисимов В.А. Имитационное моделирование развития Ванино-Совгаванского мультимодального транспортного узла // Бюл. результатов науч. исслед. 2022. № 3. С. 73–88.
14. Гавриленков А.В. Основы теории принятия решений в проектировании железных дорог : дис. ... д-ра техн. наук. М., 1989. 375 с.
15. Изыскания и проектирование железных дорог / И.В. Турбин, А.В. Гавриленков, И.И. Кантор и др. М. : Транспорт, 1989. 478 с.
16. Подвербный В.А. Принятие решений в многокритериальных недетерминированных задачах проектирования железных дорог : дис. ... д-ра техн. наук. М., 2001. 420 с.
17. Ефименко Ю.И. Обоснование этапности развития железнодорожных станций и узлов : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. СПб, 1992. 50 с.
18. Макарович А.М., Дьяков Ю.В. Использование и развитие пропускной способности железных дорог. М. : Транспорт, 1981. 287 с.
19. Турбин И.В. Развитие метода формирования оптимальных схем овладения перевозками // Совершенствование проектирования трассы железных дорог : межвуз. сб. науч. тр. М., 1984. Вып. 750. С. 3–7.
20. Лившиц В.Н. Выбор оптимальных решений в технико-экономических расчетах. М. : Экономика, 1971. 254 с.

21. Васильева Е.М., Левит Б.Ю., Лившиц В.Н. Нелинейные транспортные задачи на сетях. М. : Финансы и статистика, 1981. 104 с.
22. Барлоу Р., Прошан Ф. Математическая теория надежности. М. : Советское Радио, 1969. 488 с.
23. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. М. : Наука, 1984. 327 с.

References

1. Strategiya prostranstvennogo razvitiya Rossiiskoi Federatsii na period do 2025 goda : utverzhdena rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 13.02.2019 g. № 207-r (red. 30.09.2022) [Spatial Development Strategy of the Russian Federation for the period up to 2025: approved by the Decree of the Government of the Russian Federation dated February 13, 2019 No 207-r (ed. September 30, 2022)].
2. Rasporyazhenie OAO «RZhD» ot 04.09.2012 № 1764r «Ob utverzhdenii formy vnutrennei statisticheskoi otchetnosti DO-5VTs «Otchet o nalichii zaderzhannykh v prodvizhenii sostavov gruzovykh poezdov i vagonov v nikh» (red. 19.09.2018) [Order of JSC «Russian Railways» dated September 4, 2012 No. 1764r «On approval of the DO-5VC internal statistical reporting form «Report on the presence of freight Trains and wagons in Them detained in the Promotion» (ed. September 19, 2018)].
3. Reglament vzaimodeistviya mezhdru regional'nymi podrazdeleniyami funktsional'nykh filialov OAO «RZhD» pri organizatsii vyzhdennoogo vremennogo otstavleniya ot dvizheniya gruzovykh poezdov, sleduyushchikh na priportovye zheleznodorozhnye stantsii i pogranichnye perekhody Dal'nevostochnoi zheleznoi dorogi: utv. i.o. nachal'nika Dal'nevostochnoi zheleznoi dorogi ot 21.10.2019 №DVOST-702/pd [Regulations of interaction between regional divisions of functional branches of JSC «Russian Railways» in the organization of forced temporary suspension from the movement of freight trains going to port railway stations and border crossings of the Far Eastern Railway: approved by the Head of the Far Eastern Railway dated October 21, 2019 No DVOST-702/pd].
4. Goncharuk S.M., Anisimov V.A., Nesterova N.S., Lebedeva N.A. Metodologicheskie osnovy proektirovaniya etapnogo razvitiya oblika i moshchnosti mul'timodal'noi transportnoi seti [Methodological foundations of the design of the stage-by-stage development of the appearance and capacity of a multimodal transport network]. Khabarovsk: DVGUPS Publ., 2012. 227 p.
5. Anisimov V.A., Nechiporuk M.V. Model' vzaimodeistviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta dlya povysheniya effektivnosti mul'timodal'nykh perevozok [A model of interaction between railway and sea transport to increase efficiency-news of multimodal transportation]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Petersburg Transport University], 2014, no. 3 (40), pp. 9–15.
6. Nesterova N.S. Metodologiya proektirovaniya mul'timodal'noi transportnoi seti [Methodology of multimodal transport network design]. Doctor's thesis. Saint Peterburg, 2017. 387 p.
7. Nechiporuk M.V., Anisimov V.A. K voprosu ispol'zovaniya sbalansirovannoi sistemy pokazatelei pri modelirovanii vzaimodeistviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta v mul'timodal'nom transportnom uzle [On the issue of using a balanced system of indicators in modeling the interaction of rail and sea transport in a multimodal transport hub]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2014, no. 3 (42), pp. 13–17.
8. Kozlov I.T. Propusknaya sposobnost' transportnykh system [Throughput of transport systems]. Moscow: Transport Publ., 1985, 214 p.
9. Gruntov P.S. Ekspluatatsionnaya nadezhnost' stantsii [Operational reliability of stations]. Moscow: Transport Publ., 1986. 247 p.
10. Kozlov P.A., Tushin N.A., Permikin V.Yu., Slobodyanyuk I.G. Makromodelirovanie transportnykh uzlov [Macro modeling of transport hubs]. *Zheleznodorozhnyi transport* [Railway transport], 2015, no. 10, pp. 38–40.
11. Mnogopodkhodnoe imitatsionnoe modelirovanie (elektronnyi resurs) [Multi-pass simulation modeling (electronic resource)]. Available at: <https://www.anylogic.ru/use-of-simulation/multimethod-modeling/> (Accessed October 10, 2023).
12. Korol' R.G., Balalae A.S. Imitatsionnoe modelirovanie sistemy «Zheleznodorozhnaya stantsiya – morskoi port» na primere Vladivostokskogo transportnogo uzla [Simulation modeling of the Railway station – seaport system on the example of the Vladivostok transport hub]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S.O. Makarova* [Bulletin of the State University of the Sea and River Fleet named after Admiral S.O. Makarov], 2015, no. 3 (31), pp. 209–216.
13. Nechiporuk M.V., Anisimov V.A. Imitatsionnoe modelirovanie razvitiya Vanino-Sovgavanskogo mul'timodal'nogo transportnogo uzla [Simulation modeling of the development of the Vanino-Sovgavan multimodal transport hub]. *Byulleten' rezul'tatov nauchnykh issledovaniy* [Bulletin of the results of scientific research], 2022, no. 3, pp. 73–88.
14. Gavrilin A.V. Osnovy teorii prinyatiya reshenii v proektirovanii zheleznykh dorog [Fundamentals of decision-making theory in railway design]. Doctor's thesis. Moscow, 1989. 375 p.
15. Turbin I.V., Gavrilin A.V., Kantor I.I., Yakovlev B.V., Pozin V.A. Izyskaniya i proektirovanie zheleznykh dorog [Railway surveys and design]. Moscow: Transport Publ., 1989. 478 p.
16. Podverbnyi V.A. Prinyatie reshenii v mnogokriterial'nykh nedeterminirovannykh zadachakh proektirovaniya zheleznykh dorog [Decision-making in multi-criteria non-deterministic railway design tasks]. Doctor's thesis. Moscow, 2001. 420 p.
17. Efimenko Yu.I. Obosnovanie etapnosti razvitiya zheleznodorozhnykh stantsii i uzlov [Justification of the stages of development of railway stations and junctions]. Doctor's thesis. Saint Peterburg, 1992. 50 p.
18. Makarochkin A.M., D'yakov Yu.V. Ispol'zovanie i razvitiye propusknoi sposobnosti zheleznykh dorog [The use and development of railway capacity]. Moscow: Transport Publ., 1981. 287 p.
19. Turbin I.V. Razvitiye metoda formirovaniya optimal'nykh skhem ovladeniya perevozkami [Development of the method of forming optimal schemes for mastering transportation]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov «Sovershenstvovanie proektirovaniya trassy zheleznykh dorog»* [Interuniversity proceedings «Improving the design of the railway route»]. Moscow, 1984, iss. 750, pp. 3–7.

20. Livshits V.N. Vybor optimal'nykh reshenii v tekhniko-ekonomicheskikh raschetakh [The choice of optimal solutions in technical and economic calculations]. Moscow: Ekonomika Publ, 1971. 254 p.

21. Vasil'eva E.M., Levit B.Yu., Livshits V.N. Nelineinye transportnye zadachi na setyakh [Nonlinear transport problems on networks]. Moscow: Finansy i statistika Publ., 1981. 104 p.

22. Barlow R. E., Proschan F. Matematicheskaya teoriya nadezhnosti [Mathematical theory of reliability]. Moscow: Sovetskoe Radio Publ., 1969. 488 p.

23. Barlow R.E., Proschan F. Statisticheskaya teoriya nadezhnosti i ispytaniya na bezotkaznost' [Statistical theory of reliability and life testing probability models]. Moscow: Nauka Publ., 1984. 327 p.

Информация об авторах

Нечипорук Марина Викторовна, старший преподаватель кафедры технологий транспортных процессов и логистики, Дальневосточный государственный университет путей сообщения, г. Хабаровск; e-mail: miranaforeverrr@mail.ru.

Анисимов Владимир Александрович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры изысканий и проектирования железных дорог, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, г. Санкт-Петербург; e-mail: anisvl@mail.ru.

Information about the authors

Marina V. Nechiporuk, Assistant Professor of the Department of Technology of Transport Processes and Logistics, Far Eastern State Transport University, Khabarovsk; e-mail: miranaforeverrr@mail.ru.

Vladimir A. Anisimov, Doctor of Engineering Science, Associate Professor, Professor of the Department of Railway Research and Design, Saint Petersburg State Transport University named after Emperor Alexander I, Saint Petersburg; e-mail: anisvl@mail.ru.