

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАГРУЖЕННОСТИ МОРСКИХ ПОРТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ ХАСАНСКОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА

Н.С. Пронякин (Санкт-Петербург), М.В. Федотов, Т.В. Девятков (Казань)

Введение

В настоящей статье представлен программный комплекс имитационного моделирования для анализа загруженности морских портов и железнодорожных и автомобильных магистралей Хасанского транспортного узла (далее Хасанский ТУ). Хасанский ТУ располагается на юге Приморского края на Дальнем Востоке России [4,7]. Он является важным элементом в системе международных грузоперевозок между Россией, КНДР и странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Особенно роль данного транспортного узла возросла в силу значительного смещения в последние годы транспортно-логистических перевозок России в сторону Китая и других стран Азиатского региона.

Транспортная инфраструктура Хасанского ТУ включает в себя три морских порта – Посыет, Зарубино, Славянка, а также однокорейную железнодорожную ветку и автомагистраль. В условиях растущего грузооборота нагрузка на транспортную инфраструктуру ежегодно возрастает, а потому необходимость модернизации портовой и транспортной инфраструктуры является одной из важнейших задач успешного развития региона. Более того, модернизация Хасанского ТУ является федеральным приоритетом в транспортной отрасли.

Мультимодальные возможности Хасанского ТУ обеспечивают гибкость поставок большого числа разнообразных грузов: контейнеров, угля, леса, рыбопромысловой продукции, насыпных и наливных, а также генгрузов. Необходимо обеспечить не только бесперебойную работу портов, но и провести анализ различных вариантов расширения транспортных возможностей и увеличения складских и погрузочно-разгрузочных мощностей.

Для определения стратегии развития транспортной инфраструктуры краевым руководством при участии Морского государственного университета им. адмирала Невельского, был создан ситуационный центр. В рамках решаемых центром задач было принято решение о разработке программного комплекса для анализа функционирования транспортного узла с помощью методов имитационного моделирования.

Для разработки данного комплекса были привлечены компании SIMETRA и Элина-Компьютер, обладающие практическим опытом в области моделирования транспортно-логистических систем. Для реализации поставленных задач компании объединили свои передовые продукты – платформы ALINA GPSS [1,3,5,6] и RITM³ [2], входящие в Реестр российского программного обеспечения. Функционирование всех подсистем программного комплекса выполняется на отечественных и/или свободно распространяемых операционных системах.

Ключевые задачи, решаемые программным комплексом:

- обеспечить анализ общей загруженности, пропускной и провозной способности транспортной инфраструктуры и ее отдельных элементов;
- осуществить прогноз загруженности транспортной инфраструктуры в условиях динамического роста объемов перемещаемых грузов и в соответствии с планами развития;
- выполнить проверку предложенных проектных решений по строительству новых объектов (морских портов, железнодорожных станций, транспортных узлов) и модернизации железнодорожных и автотранспортных магистралей;

- провести анализ влияния случайных факторов на логистические процессы и обеспечить наилучшего выбора для корректирующего воздействия.
- определить «узкие» места в логистической системе транспортного узла, а также проверить эффективность различных мероприятий по их устранению;

Для решения поставленных задач были задействованы существующие инструменты платформ RITM³ и ALINA GPSS и в рамках требуемого функционала разработаны новые подсистемы анализа и исследования:

- адаптирован и интегрирован специализированный модуль ГИС для удобного ввода пользователем и наглядного отображения пространственных и картографических данных инфраструктуры транспортного узла;
- сконструирована и реализована диалоговая подсистема для ввода исходных данных и варьируемых параметров инфраструктуры на языке предметной области;
- сформирована база исходных данных для хранения введенных пользователем данных для реализации функции ИС;
- введена система ролей и функции авторизации пользователей;
- создан генератор имитационных моделей GPSS World Core по вводимым исходным данным;
- реализован модуль расчёта различных показателей загруженности транспортной и логистической инфраструктуры;
- модернизирован под предметную область генератор итоговых отчетов по результатам имитационного исследования и расчётов;
- предложены средства графического отображения динамики изменения количественных и качественных показателей загруженности транспортной и складской инфраструктуры;
- разработан и интегрирован модуль отображения анимации движения транспортных средств (судов, автомобилей и поездов) с выводом контекстной информации о состоянии инфраструктурных и динамических объектов моделируемой области.

Общее описание предметной области

Моделируемый регион Хасанского транспортного узла включает в себя морские порты – Посьет, Зарубино и Славянка с причальными фронтами и портовыми складами. Основная нагрузка по перемещению грузов лежит на железнодорожной линии. Данная линия состоит из порядка 20 перегонов от станции Барановский до станции Хуньчунь и имеет несколько важных для организации логистики особенностей.

Во-первых, данная железная дорога построена достаточно давно и является однопутной. Это радикальным образом сказывается на общем объеме и структуре грузов, которые могут быть перемещены с использованием железнодорожного сообщения. Необходимость дополнительного ожидания и пропуска встречных поездов снижает число поездов, которое может быть запущено по маршруту в обоих направлениях и в целом значительно уменьшает провозную способность дороги.

Во-вторых, это сложный рельеф местности. Имеются существенные перепады высот, которые ограничивают и снижают количество вагонов и суммарную массу грузов, перевозимых в рамках одного ж/д состава. Кроме того, это создаёт дополнительные трудности при модернизации (расширении) железнодорожной инфраструктуры, даже, если необходимость включения двухпутной вставки очевидна. Из-за перепада высот возникает необходимость подсоединения/отсоединения подталкивающего локомотива на ряде перегонов (в частности, между станциями Сухановка и Рязановка). А это ещё больше снижает интенсивность допустимого графика движения поездов.

В-третьих, наличие в графике пассажирского движения поездов. Так как такие поезда должны ходить четко по расписанию, их наличие, пусть и незначительно, влияет на общее количество товарных составов, которые можно запускать по всему участку пути.

Кроме железнодорожных путей моделируемый участок содержит автомобильную магистраль, однако на её долю в настоящий момент приходится только 5–7% от общего грузооборота. В этом состоит один из резервов модернизации транспортного узла.

Номенклатура перемещаемых в транспортном узле грузов разнообразна и включает: контейнерные, навалочные, наливные, лесные, рыбопромысловые грузы, уголь, а также генгрузы (разные неклассифицированные грузы).

Важнейшие параметры морских портов

В рамках отдельно взятого эксперимента пользователю доступны широкие возможности по описанию как существующих, так и введению новых объектов и транспортной инфраструктуры. С помощью специальных графических инструментов он имеет возможность добавления новых (пока не существующих) морских портов и прокладки дополнительных примыкающих железнодорожных и автотранспортных путей от любого порта к основной транспортной ветке.

Одним из определяющих параметров модели является грузооборот портов в двух направлениях – «в порт с моря» и «из порта на море». При этом задается разбивка по укрупненной номенклатуре грузов, в годовом срезе по месяцам.

Для каждого порта задаются данные припортовых железнодорожных станций и узлов погрузки и разгрузки автотранспорта, параметры погрузочно-разгрузочных операций, параметры формирования составов.

В каждом порту в модели выделяются погрузочно-разгрузочные (стивидорные) компании, для которых и задаются конкретные характеристики перемещаемых грузов. Статистика грузоперевозок через портовую инфраструктуру, используемая в модели, представлена на основании документов, предоставленных заказчиком в разрезе стивидорных компаний. Такие компании представляются как самостоятельные и независимые участники всех перевозок. Для каждой стивидорной компании в рамках порта выделяются причалы и складские помещения. Кроме этого, для них задаются данные судовых партий, наличная пропускная способность и ряд других параметров.

Каждая стивидорная компания при необходимости может управлять несколькими причалами. Для каждого причала, в рамках модели, пользователь устанавливает его длину, максимальные габариты принимаемых судов, типы этих судов, номенклатуру грузов, время подхода судна из акватории и другие характеристики.

Для судов задаются параметры судовых партий, например, количество вмещаемого груза. В рамках модели определяются три параметра объема - минимальное, среднее и максимальное значения объема партии, которые берутся из паспортных данных типовых судов. В процессе исполнения модельных экспериментов конкретное значение выбирается с учётом имеющихся объемов грузов. Судовые партии зависят от типов грузов и задаются индивидуально для разных типов судов.

Параметры морских портов и стивидорных компаний аккумулируются в модели для формирования расписания прихода судов с грузами и расписания формирования поездов. Время подхода судов определяется равномерно, с учетом типов грузов, типов судов, параметров судовых партий и навигационного периода.

Характеристики транспортной инфраструктуры

Программный комплекс, также как и в случае портов, содержит графические инструменты добавления дополнительных промежуточных железнодорожных станций дороги, позволяет настраивать параметры конечных станций в портах и на пограничных

пунктах. Для таких настроек на каждой станции определяется количество и длина приёмоотправочных путей, наличие запасных локомотивов по каждому из имеющихся типов на момент начала модельного эксперимента.

Важным аспектом в части описания логики железнодорожного сообщения является то, что многие параметры зависят от движения поезда в чётном и нечётном направлении. Из-за существенных различий в рельефе местности, качестве железнодорожного полотна и других ограничений максимальная масса состава задаётся независимо для каждого направления движения по перегону. Модель позволяет четко находить все эти данные и учитывает их при формировании и движении составов.

Железнодорожные перегоны в модели реализованы очень детально и характеризуются большим числом параметров. Во-первых, для каждого перегона исследователь может задать необходимое количество путей. По умолчанию между станциями имеется только один путь, так как в настоящий момент ветка однопутная. В процессе исследования пользователь может добавить второй путь, понимая при этом, что это сложное для реализации изменение. Ввод второго пути обозначает возможность снятия ограничений на необходимость ожидания встречного состава и увеличивает локальную пропускную способность данного участка пути. Хотя увеличение локальной пропускной способности может и не увеличить общую пропускную способность. Диалоги ввода позволяют пользователю задавать двупутные вставки отдельно по перегонам, а не по всей ветке целиком, так как модернизация железнодорожной инфраструктуры не всегда возможна в столь сложных условиях, является дорогостоящим мероприятием и требует всесторонних расчетов. Имитационное моделирование лишь может дать рекомендацию с расчетом возможного увеличения пропускной способности.

Важнейшим параметром движения поездов по перегону является время движения состава. Такие параметры могут быть только введены в модель в виде исходных данных и условий. Перегоны могут иметь значительную длину, а скорость движения состава может сильно меняться в зависимости от проходимого участка – движется ли состав вверх или, наоборот, вниз, насколько круты повороты. Все это очень сильно влияет на скорость движения состава по перегону. В случае определения новых перегонов значения могут быть усреднены относительно базовых значений движения, но пользователь при вводе данных должен владеть всей этой информацией.

На некоторых перегонах появляется необходимость присоединения и последующего отсоединения дополнительных локомотивов, чтобы компенсировать дополнительную нагрузку и обеспечения необходимой скорости при движении в гору. Ввод значений этих параметров также зависит от знаний и компетенции пользователя. Он только сам может определять, как необходимость подсоединения локомотива, так и требуемое для этого время.

На рис. 1 представлен пример графического задания дополнительного маршрута движения транспортных средств на карте местности.

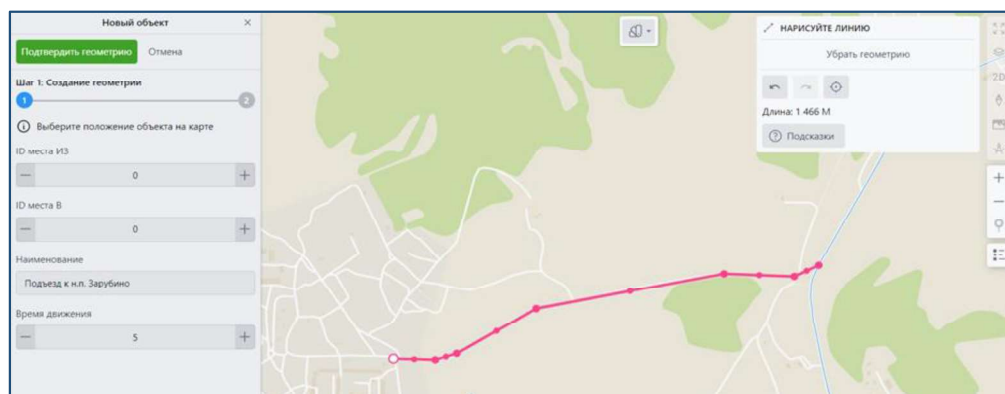


Рис. 1. Графическое задание маршрута движения транспортных средств

Для моделирования грузовых перевозок необходимо понимание и направления транспортировки грузов. Для каждого типа грузов пользователь может задавать правила (маршруты) их перемещения. Маршрут состоит из последовательности точек на автомагистрали или железнодорожном пути, определяющих ключевые станции (стоянки), которые должны быть посещены транспортным средством на пути от места получения груза до места его выгрузки.

Эти и другие параметры используются в модели для железнодорожного движения при расчете ГДП (графика движения поездов). При этом в алгоритме расчета принимается во внимание множество характеристик, таких как объем и направление перевозимых грузов, особенности транспортировки грузов на перегонах (особенно на сложных), время ускорения после начала движения и замедления поезда при остановке, количество приёмоотправочных путей на смежных станциях, длины этих путей и другие параметры. При расчёте определяется и фиксируется время прохода поездами конкретных станций, схема проезда станций, отставание от графика и прочие характеристики.

На рис. 2 представлен пример задания параметров железнодорожных участков.

ID ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО...	ID МЕС...	ID МЕС...	КОЛИЧЕСТВО ПУТЕЙ	НАЗВАНИЕ УЧАСТКА	ВРЕМЯ ХОДА...	ВРЕМЯ ХОДА...	НЕОБХОДИМОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ...
979				арсовый - Приморская	12	12	Нет
980				арановский - ленево	14	14	Нет
981				07 км - амьцовая	2	2	Нет
982				ддп Махалино	2	2	Нет
983				леневод - ижевск	25	24	Нет
984	1326	1328	1	Виневитино - Провалово	23	23	Нет
985	1335	1336	1	Сухановка - Гвоздево	20	21	Нет
986	1328	1327	1	Провалово - Барсовый	22	22	Нет
987	1331	1329	1	Приморская - Кедровый	11	10	Нет
988	1329	1332	1	Кедровый - Пожарский	13	14	Нет
989	1333	1334	1	Бамбурово - Блюхер (порт...)	20	21	Нет
990	1322	1338	1	Махалино - 207 км	11	11	Нет
991	1336	1337	1	Гвоздево - Посвет (порт. Посвет)	21	21	Нет

Рис. 2. Параметры железнодорожных участков в модели

В отличие от железнодорожного сообщения, для адекватного моделирования которого требуется повышенная детализация и поэтому необходимо соблюдать большое количество правил и ограничений, автомобильные грузоперевозки моделируются более просто. Пользователь определяет сначала граф автомобильного движения, узлами которого являются порты, станции, перегрузочные узлы и точки погрузки/выгрузки грузов, например, города. Для каждого участка пути определяется время перемещения груза. А в целом пользователь в модели задает процентное соотношение и номенклатуру грузов, которые в данном эксперименте могут быть перемещены с помощью автотранспорта, а также максимально допустимую вместимость транспортных средств и параметры интенсивности их движения.

Наличие автомобильной магистрали не сильно упрощает ситуацию с железнодорожными перевозками. Дело в том, что количество грузов, которые могут

быть перевезены автотранспортом не превышает 5–7% от их общего числа, так как по экономическим причинам почти все грузы ориентируются на большие партии, требуют особые условия перевозки. Поэтому номенклатура грузов, которые можно перевозить автотранспортом ограничена, но необходима стратегия по увеличению таких перевозок.

Результаты имитационного исследования

В программном комплексе предусмотрен широкий спектр качественных и количественных показателей эффективности использования морских портов, железнодорожного и автомобильного транспорта, причалов, складских помещений и транспортных средств.

В части инфраструктуры портов, модель определяет справляется ли порт с текущим потоком грузов, достаточно ли выбранных пользователем проектных решений по инфраструктуре (количества причальных стенок, вместимости складских помещений, железнодорожных и автомобильных погрузочно-разгрузочных мощностей). Для каждого порта, определяется: количество судов, находящихся в акватории порта в очереди (рис. 3) из-за нехватки свободных причалов, или необходимого объема на местах хранения грузов; среднее и максимально время нахождения судна в очереди. Более детальная статистика по причалам отображает время погрузочно-разгрузочных операций, среднее время стоянки и длину очереди из судов в разрезе типов грузов.

Результаты представляются в виде графиков и контекстных объектов на карте GIS модуля.

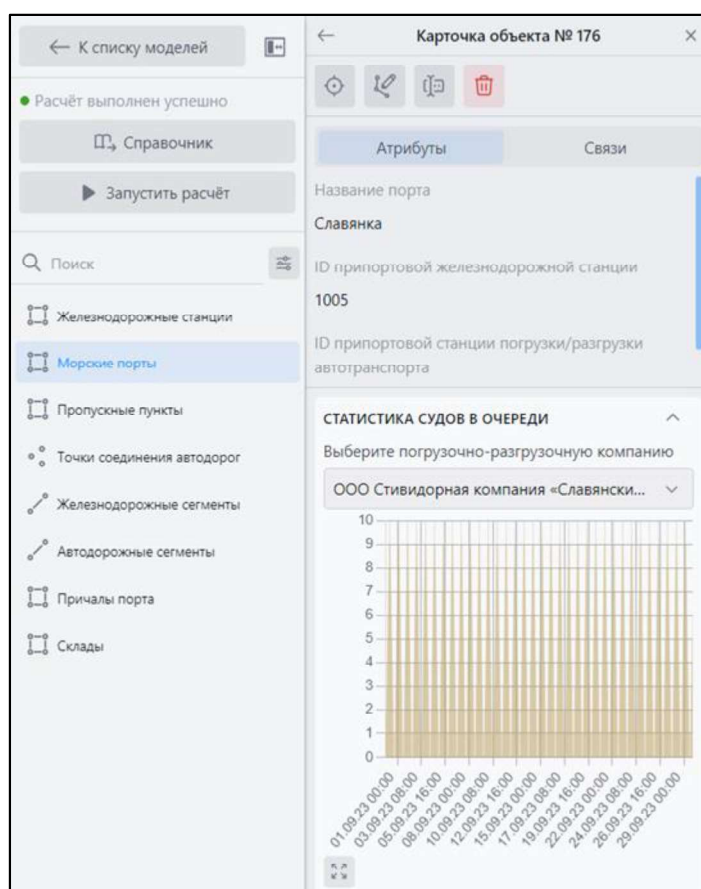


Рис. 3. Количественная статистика по очередям

Для складов и других мест хранения грузов отображаются уровень загрузки складов в виде данных по фактическому и требуемому объему для каждого типа грузов.

В части исследования ж/д инфраструктуры модель осуществляет оценку ее достаточности и загрузки. Определяются все классические показатели – расчётная наличная, фактическая и потребная пропускная способность, расчётная и фактическая провозная способность. Для каждого перегона вычисляются количество поездов с грузом и порожних составов, общий и среднесуточный объем перевезённых грузов. Расчёт ведётся отдельно по направлениям движения поездов (четное/нечетное) и в целом по каждому участку. В процессе проведения каждого эксперимента производится автоматическое обнаружения «узких» мест в организации логистики и соответствия портовых мощностей объемам перемещаемых грузов. По окончании моделирования система формирует список возможных причин возникновения найденных «узких» мест в текстовой форме, понятной пользователю. По сути, модель частично исполняет роль интеллектуального помощника пользователя. Пример вывода анимации движения транспортных средств, состояние моделируемой системы и интеллектуальные подсказки представлены на рис. 4.



Рис. 4. Анимация движения транспортных средств

Заключение

Комплекс программ, построенный на базе отечественных платформ моделирования RITM³ и ALINA GPSS, позволяет исследователям провести комплексный анализ как существующей, так и модернизированной транспортной инфраструктуры Хасанского транспортного узла. Программный инструмент даёт возможность студентам и исследователям из МГУ им. Невельского проводить эксперименты при самых различных сценариях, выявлять ключевые факторы, влияющие как на отдельные показатели, так и на эффективность всей системы грузоперевозок, анализировать загруженность портовой, автомобильной и железнодорожной инфраструктуры и отдельных ее элементов, проверять достаточность и возможность реализации выбранных проектных решений по модернизации – добавлению новых объектов, увеличению интенсивности грузопотока и изменению параметров железнодорожных и автотранспортных магистралей.

Литература

1. **Девятков В.В., Девятков Т.В., Федотов М.В.** GPSS Studio: первый шаг к новым технологиям имитационных исследований [Электронный ресурс] // Труды Восьмой Всероссийской научно-практической конференции «Имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД-2017) (Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 239–243.
2. RITM³ – цифровая платформа для управления транспортным комплексом [Электронный ресурс] // URL: <https://ritm3.ru> (Дата обращения: 20.09.2025).
3. **Шрайбер Т. Дж.** Моделирование на GPSS / Пер. с англ. В. И. Гаргера, И. Л. Шмуйловича под ред. М. А. Файнберг. М.: Машиностроение, 1980. 592 с.
4. ТАСС. Транспорт [Электронный ресурс] // ТАСС: официальный сайт. URL: <https://tass.ru/transport/4206938> (Дата обращения: 06.05.2026).
5. **В.В. Девятков.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. М.: ИНФРА-М, 2014. 448 с.
6. Реестр программного обеспечения «Платформа имитационного моделирования Alina GPSS» [Электронный ресурс], Режим доступа: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=965110 (Дата обращения: 06.05.2026)
7. База данных имитационной модели Хасанского транспортного узла (Приморский край): база данных, охраняемая смежными правами / Номер регистрации (свидетельства) 2025670017. Зарегистрировано в реестре баз данных 03.04.2025.