

УДК 519.876.5

АНАЛИЗ ЗАГРУЖЕННОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ МАГИСТРАЛЕЙ В ПРИПОРТОВОЙ ЗОНЕ ХАСАНСКОГО ТРАНСПОРТНОГО УЗЛА С ПОМОЩЬЮ ПЛАТФОРМ RITM³ И ALINA GPSS

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

Введение

Хасанский транспортный узел является важным элементом в системе международных грузоперевозок, объединяя морские, железнодорожные и автомобильные маршруты между Россией, КНДР и странами Азиатско-Тихоокеанского региона. Его стратегическое расположение не только усиливает транзитный потенциал Дальнего Востока, но и способствует снижению политической напряжённости в регионе через экономическое сотрудничество.

В условиях растущего грузооборота возрастает нагрузка на транспортную инфраструктуру. Государство, крупный бизнес и профильные институты уже много лет прорабатывают возможности модернизации портовой инфраструктуры и транспортной сети региона с целью создания устойчивых логистических цепочек поставок. Этот проект становится особенно актуальным в условиях санкционного давления. Мультимодальные возможности Хасанского транспортного узла обеспечивают гибкость поставок большого числа разнообразных грузов – от угля и контейнеров до рыбопромысловой продукции, укрепляя позиции России в регионе.

Для определения стратегии развития транспортной инфраструктуры 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, позволяющего проводить расчеты на имитационной модели.

Для разработки данного комплекса были привлечены компании SIMETRA и «Элина-Компьютер», обладающие значительным опытом в области транспортного и общего моделирования. Для реализации целей и задач, поставленных заказчиком, компании объединили свои передовые продукты – платформы RITM³ и ALINA GPSS.

В рамках объединенного программного комплекса системами RITM³ и ALINA GPSS решаются следующие задачи:

1. в части анализа проектных решений по внешней и внутренней логистике:
 - анализ загруженности и пропускной способности транспортной инфраструктуры и ее отдельных элементов на предмет соответствия объемам грузопотоков;
 - прогноз загруженности отдельных элементов и всей транспортной инфраструктуры при изменении (росте) грузопотоков;
 - проверка достаточности выбранных проектных решений по добавлению новых объектов (портов, станций, транспортных узлов) и изменению железнодорожных и автотранспортных магистралей;
 - определение показателей загрузки транспортной инфраструктуры;
 - анализ влияния случайных факторов на логистические процессы и обеспечение выбора корректирующего воздействия.
2. в части анализа функционирования:
 - поиск «узких» мест в организации логистики, а также проверка необходимых изменений для их устранения;
 - количественная оценка вариантов организации логистических процессов при стратегическом планировании;

- оценка резерва ресурсов и мощностей.

Для решения поставленных задач были разработаны и задействованы следующие подсистемы и инструменты:

- ГИС модуль для ввода и отображения пространственных и картографических данных;
- диалоговая подсистема для ввода данных на языке предметной области;
- база данных для хранения введённых данных для реализации функции ИС;
- система ролей и функции авторизации пользователей;
- генератор имитационных моделей по исходным данным;
- модуль расчёта показателей загруженности транспортной инфраструктуры;
- генератор итоговых отчетов по результатам имитационного моделирования и расчётов;
- средства графического отображения количественных и качественных показателей загруженности транспортной инфраструктуры;
- модуль отображения анимации движения транспортных средств и контекстной информации о состоянии объектов моделируемой области.

Важным требованием являлась необходимость обеспечения работы всех подсистем программного комплекса на отечественных и/или свободно распространяемых операционных системах.

Описание предметной области

Моделируемый регион Хасанского транспортного узла включает в себя морские порты – Посьет, Зарубино и Славянка с причальными фронтами и портовыми складами.

Железнодорожная линия несёт на себе основную нагрузку по перемещению грузов. Она состоит из порядка 20 перегонов от станции Барановский до станции Хуньчунь и имеет несколько региональных особенностей.

Первой особенностью является то, что данная железная дорога является однопутной. Это существенно сказывается на общем объеме грузов, которые могут быть перемещены с использованием железнодорожного сообщения. Необходимость дополнительного ожидания и пропуска встречных поездов негативно влияет на число поездов, которое может быть запущено по маршруту в обоих направлениях.

Второй особенностью является сложный рельеф местности. Наличие значительных перепадов высот ограничивает количество вагонов и суммарную массу грузов, перевозимых в рамках одного состава. Кроме того, это создаёт дополнительные трудности при модернизации железнодорожной инфраструктуры (например, включении двухпутной вставки). Необходимость подсоединения/отсоединения подталкивающего локомотива на ряде перегонов (например, между станциями Сухановка и Рязановка) ещё сильнее влияет на график движения поездов.

Третьей особенностью является наличие пассажирского обращения поездов. Т.к. такие поезда должны ходить строго по расписанию, их наличие, пусть и несущественно, но влияет на общее количество товарных поездов, которые можно запускать по участку пути.

Также моделируемый участок содержит автомобильную магистраль, однако на её долю приходится только 5-7% от общего грузооборота.

Номенклатура перемещаемых грузов включает контейнерные, навалочные, наливные, лесные, рыбопромысловые грузы, уголь, а также генеральные грузы (разные неклассифицированные грузы).

Параметры морских портов

В рамках отдельно взятого эксперимента исследователю доступны широкие возможности по описанию объектов региона и транспортной инфраструктуры. В частности, он имеет возможность добавления новых морских портов и прокладывания примыкающих железнодорожных и автотранспортных путей от порта к основной транспортной ветке.

Одним из ключевых параметров модели является грузооборот портов в направлениях «в порт с моря» и «из порта на море» с разбивкой 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. Для поездов дополнительно определяются параметры формирования составов. Остальные характеристики объектов не отличаются от характеристик обычных станций и транспортных узлов и детально описываются в следующих разделах.

В рамках порта также выделяются погрузочно-разгрузочные (стивидорные) компании, для которых задаются конкретные характеристики перемещаемых грузов. Статистика грузоперевозок через портовую инфраструктуру представлена в документах заказчика именно в разрезе стивидорных компаний как самостоятельных и независимых участников этих перевозок. Для каждой стивидорной компании в рамках порта определяются причалы, складские помещения, данные судовых партий, пропускная способность и ряд других параметров.

Каждый стивидор может управлять несколькими причалами. Для причала – в рамках модели – устанавливается его длина, максимальные габариты принимаемых судов, типы этих судов, номенклатура грузов, время подхода судна из акватории и ряд других характеристик.

Для судов определяются судовые партии, т.е. количество вмещаемого груза. В рамках модели определяется минимальное, среднее и максимальное значения, которые берутся из паспортных данных типовых судов. В процессе моделирования конкретное значение выбирается по «треугольному» закону с учётом имеющихся объемов грузов. Судовые партии задаются в разрезе типов грузов 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.

Параметры транспортной инфраструктуры

Программный комплекс содержит возможность добавления дополнительных промежуточных железнодорожных станций, позволяет настраивать конечные станции в портах и на пограничных пунктах. Для каждой станции определяется количество и длина приёмootправочных путей, наличие дополнительных локомотивов и их типов на момент начала процесса моделирования.

Важным аспектом в части железнодорожного сообщения является то, что ряд параметров задается независимо для 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 определять все эти данные и учитывает их при формировании составов.

Перегоны характеризуются большим числом параметров. Для каждого перегона исследователь может задать количество путей. По умолчанию между станциями

имеется только один путь, т.к. в настоящий момент ветка однопутная. Добавление второго пути обозначает возможность снятия ограничений на необходимость ожидания встречного состава и увеличивает локальную пропускную способность участка пути. Инструмент позволяет задавать двупутные вставки отдельно по перегонам, а не по всей ветке целиком, т.к. модернизация железнодорожной инфраструктуры в столь сложных условиях является дорогостоящим мероприятием.

Одним из ключевых параметров движения поездов по перегону является время движения состава. Данные параметры не могут быть вычислены в модели. Перегоны могут иметь значительную длину, а скорость движения состава может сильно меняться в зависимости от проходимого участка из-за сложного рельефа местности. В случае определения новых перегонов, значения могут быть усреднены относительно базовых значений движения.

На некоторых перегонах появляется необходимость присоединения и последующего отсоединения дополнительных локомотивов, чтобы компенсировать дополнительную нагрузку при движении в гору. Эти параметры также находятся в распоряжении исследователя. Он может определять, как факт подсоединения локомотива, так и необходимое для этого время.

На рис. 1 представлен пример задания маршрута движения транспортных средств.

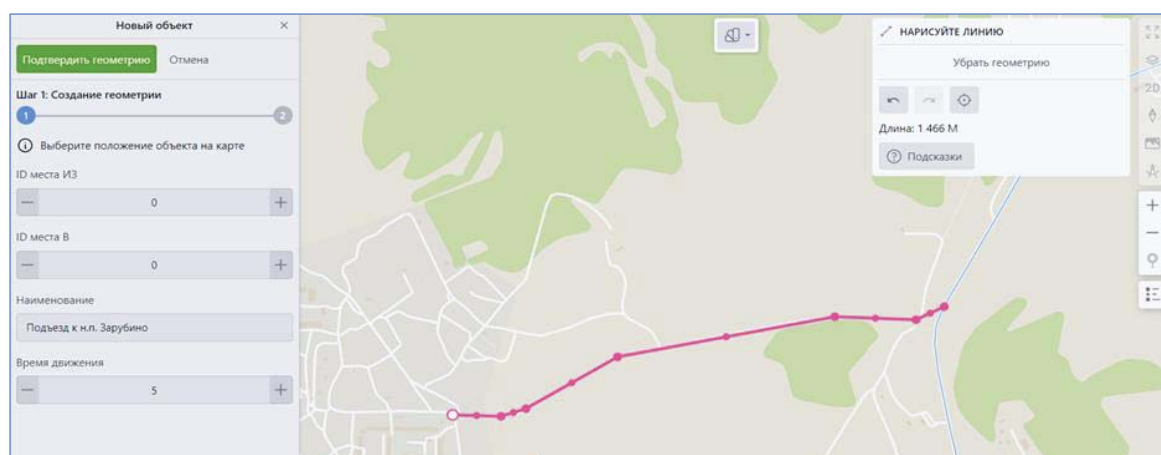


Рис. 1. Задание маршрута движения транспортных средств

Для корректного моделирования грузоперевозок необходимо понимание направления транспортировки грузов. Для каждого типа грузов исследователь может задавать правила (маршруты) их перемещения. Маршрут состоит из последовательности точек, определяющих ключевые станции (транспортные узлы), которые должны быть посещены транспортным средством на пути от места пребывания груза до места его назначения.

Эти и другие параметры используются в модели для расчета графика движения поездов (ГДП). При этом необходимо принимать во внимание множество характеристик, таких как, объем и направление перевозимых грузов, особенности транспортировки грузов на перегонах, время ускорения и замедления поезда, количество приёмоотправочных путей на смежных станциях и другие параметры. Во время расчёта определяется время прохода поездами конкретных станций, схема проезда станций 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				Ярослав - Приморская	12	12	Нет
980				Ярослав - Ярановский	14	14	Нет
981				Ярановский - Яленовод	2	2	Нет
982				Яленовод - Яленовод	2	2	Нет
983				Яленовод - Яленовод	25	24	Нет
984	1326	1328	1	Виневитино - Провало	23	23	Нет
985	1335	1336	1	Сухановка - Гвоздево	20	21	Нет
986	1328	1327	1	Провало - 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	Бабуринов - Блокер (порт...)	20	21	Нет
990	1322	1338	1	Махалино - 207 км	11	11	Нет
991	1336	1337	1	Гвоздево - Посет (порт Посет)	21	21	Нет

Рис. 2. Параметры железнодорожных участков

В отличие от железнодорожного сообщения, для адекватного моделирования которого необходимо соблюдать большое количество правил и ограничений, автомобильные грузоперевозки могут быть смоделированы более просто.

Исследователь определяет граф, узлами которого являются порты, станции, перегрузочные узлы и точки назначения грузов, например, города. Для каждого участка пути определяется время перемещения груза. А в целом для модели задается процентное соотношение и номенклатура грузов, которые могут быть перемещены с помощью автотранспорта, а также максимально допустимая вместимость транспортных средств и интенсивность 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, а номенклатура таких грузов ограничена.

Результаты моделирования

Программный комплекс содержит широкий спектр показателей загруженности морских портов, железнодорожного и автомобильного транспорта.

В части портовой инфраструктуры модель определяет достаточность выбранных проектных решений (количества причальных стенок, вместимости складских помещений, числа железнодорожных и автомобильных погрузочно-разгрузочных пунктов). В частности, для каждого порта определяется количество судов в очереди (рис. 3) из-за нехватки причалов, или свободного места 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 моделирования представляются в виде графиков и контекстных объектов на карте GIS модуля.

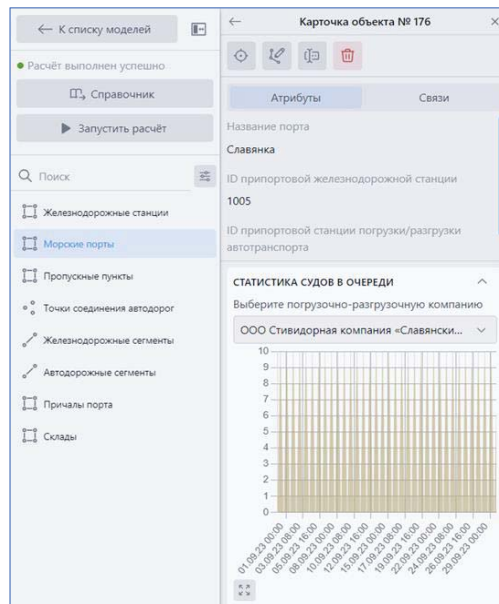


Рис. 3. Пример количественной статистики

В части складов и других мест хранения грузов отображаются данные по фактическому и требуемому объему для каждого типа грузов.

Модель осуществляет оценку достаточности ресурсов железнодорожной инфраструктуры. Определяется расчётная наличная и потребная пропускная способность, расчётная провозная способность. Для каждого перегона вычисляются количество поездов с грузом и порожнем, общий и среднесуточный объем перевезённых грузов. Расчёт ведётся независимо по направлениям движения поездов (четное/нечетное) и в целом по участку.

В процессе моделирования производится автоматическое обнаружение «узких» мест в организации логистики и выявление соответствия портовых мощностей объемам перемещаемых грузов. По окончании моделирования система формирует список возможных причин возникновения найденных «узких» мест в удобочитаемой форме. Пример «дашборда», отображающего кадр анимации и состояние моделируемой системы, представлен на рис. 4.



Рис. 4. «Дашборд» (анимация) движения транспортных средств

В дополнение к графическому представлению система формирует итоговые отчеты, содержащие все вышеуказанные показатели.

Выводы

Разработанный комплекс программ, построенный на базе платформ RITM³ и ALINA GPSS, позволяет исследователям провести комплексный анализ транспортной инфраструктуры Хасанского транспортного узла. Инструмент даёт возможность исследователям из МГУ им. адмирала Невельского проводить различные эксперименты и выявлять ключевые факторы, влияющие на эффективность грузоперевозок, анализировать загруженность транспортной инфраструктуры и ее отдельных элементов, проверять достаточность выбранных проектных решений по добавлению новых объектов и изменению железнодорожных и автотранспортных магистралей.

Практическая значимость работы заключается в возможности прогнозирования развития транспортной системы и оценки эффективности проектных решений по модернизации инфраструктуры, включая, морские порты, железнодорожные станции и транспортные узлы.

Система позволяет проводить расчеты при различных сценариях развития транспортной инфраструктуры и оценивать их влияние на эффективность работы транспортного узла.

Литература

1. ТАСС. Транспорт [Электронный ресурс] // ТАСС : официальный сайт. – 2017. – URL: <https://tass.ru/transport/4206938> (дата обращения: 20.09.2025).
2. RITM³ – цифровая платформа для управления транспортным комплексом [Электронный ресурс] // Официальный сайт. – 2025. – URL: <https://ritm3.ru> (дата обращения: 20.09.2025).
3. **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) (г. Санкт-Петербург, 18-20 октября 2017 г.). СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. С. 239-243.
4. **В.В. Девятков.** Методология и технология имитационных исследований сложных систем: современное состояние и перспективы развития: Монография. – М.: Вузовский учебник: ИНФРА-М, 2014. – 448 с.
5. **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..
6. Реестр программного обеспечения «Платформа имитационного моделирования Alina GPSS» [Электронный ресурс], – Режим доступа: https://reestr.digital.gov.ru/reestr/305965/?sphrase_id=965110
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.