

УДК 656.212: 004.94

Имитационное моделирование развития Ванино-Совгаванского мультимодального транспортного узла

М. В. Нечипорук¹, В. А. Анисимов²

¹ Дальневосточный государственный университет путей сообщения, Российская Федерация, 680021, Хабаровск, ул. Серышева, 47

² Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Российская Федерация, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Нечипорук М. В., Анисимов В. А. Имитационное моделирование развития Ванино-Совгаванского мультимодального транспортного узла // Бюллетень результатов научных исследований. — 2022. — Вып. 3. — С. 73–88. DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-73-88

Аннотация

Цель: Разработка имитационной модели функционирования мультимодального транспортного узла для решения задачи развития региональной транспортной инфраструктуры. Определение оптимального соотношения технических и технологических параметров железнодорожной и морской портовой инфраструктуры, а именно: технических параметров объектов МТУ, определяющих их мощность с учетом надежности их функционирования; время обработки заявок (вагонов, поездов, судов и др.) на каждом из объектов МТУ. **Методы:** Применены методология структурного системного анализа, теория систем, агентное, дискретно-событийное и системно-динамическое моделирование. **Результаты:** Рассмотрены теоретические основы методов моделирования, и обосновано применение имитационного моделирования для решения задачи эффективного функционирования крупных транспортных систем в условиях неопределенности. Разработана имитационная модель развития Ванино-Совгаванского мультимодального транспортного узла для обоснования проектных решений по изменению облика и мощности железнодорожной инфраструктуры МТУ. Определены значения параметров, при которых система может бесперебойно функционировать в условиях возрастания вагонопотока. **Практическая значимость:** Разработанная имитационная модель позволяет проанализировать работу ключевого транспортного узла Дальнего Востока с целью его эффективного и устойчивого функционирования. Кроме того, модель может быть использована для рационализации работы существующих транспортных узлов и решения задачи опережающего развития региональной транспортной инфраструктуры, в первую очередь Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей, Северного морского пути, морских портов, пограничных переходов и подходов к ним, с целью обеспечения развития производства для добычи, переработки и транспортировки природных ресурсов и реализации транзитного потенциала Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России.

Ключевые слова: Имитационное моделирование, имитационная модель, мультимодальный транспортный узел, постоянные устройства, переменные устройства, моделирование, поточная обработка заявки, мощность, поездопоток, Ванино-Совгаванский узел, коэффициент загрузки устройств.

Введение

При изучении транспортных систем возникают трудности из-за большого количества объектов, которые в них входят, их высокой стоимости, продолжительности исследования или вообще отсутствия самих объектов на этапе их проектирования. В таких случаях активно используется моделирование, когда исходный объект заменяется его моделью и укрупнением нескольких объектов в один.

Моделирование практически во всех отраслях современной науки используется как универсальный метод научного познания. С его помощью исследуют процессы или системы путем построения и изучения их моделей.

В зависимости от характера изучаемых процессов методы моделирования делят на детерминированные и стохастические, статические и динамические, дискретные, непрерывные и дискретно-непрерывные [1].

Детерминированные методы моделирования применяют для описания процессов, в которых отсутствуют случайные события. Стохастические методы используют при моделировании вероятностных процессов. Статические методы служат для изучения состояний исследуемых систем в определенные моменты времени. Динамические методы позволяют моделировать поведение систем во времени. Дискретные процессы исследуют дискретными методами. Непрерывные процессы — непрерывными. Сложные системы, в которых происходят и дискретные, и непрерывные процессы, моделируют соответственно с помощью дискретно-непрерывных методов.

В зависимости от формы представления исследуемой системы для ее описания применяют или мысленное моделирование, или реальное.

Мысленное моделирование используют при изучении систем, которые невозможно физически воспроизвести или для которых в заданном интервале времени отсутствуют необходимые условия для их физического создания. Мысленное моделирование чаще всего осуществляется в знаковой форме посредством образов, символов, математических формул. Реальное моделирование реализуется с помощью физических экспериментов в реальной системе.

Наиболее часто при мысленном моделировании используют математические методы. Если при построении моделей применяют математические зависимости и логические отношения и они достаточно просты, то объект моделирования исследуют с помощью аналитических методов, которые являются результатом упрощений и существенных ограничений. Однако большинство транспортных систем являются сложными и применение аналитического метода для их изучения возможно при существенном обобщении их моделей, что дает лишь ориентировочные результаты, и эти модели становятся слишком грубым приближением к действительности.

Кроме того, на надежность работы транспортных систем оказывают влияние множество случайных факторов. Поведение сложных систем в этом случае более эффективно исследуется с помощью имитационного моделирования [2–6]. Имитационная модель системы дает возможность учесть связи между ее объектами, изучить их взаимодействие, оценить влияние случайных факторов на их работу, исследовать закономерности функционирования транспортной системы во времени и определить ее оптимальные технические и технологические параметры.

Теоретические основы

Рассмотрим применение имитационного моделирования для решения задач функционирования и развития мультимодальных транспортных узлов (МТУ). В них осуществляется взаимодействие разных видов транспорта, существенно влияющее на эффективность мультимодальных перевозок. Под термином «мультимодальный транспортный узел» будем понимать техническую систему, объединяющую в себе технологически связанные между собой объекты разных видов транспорта, обеспечивающие перевозку грузов и пассажиров [7, 8].

Целью имитационного моделирования МТУ является определение оптимального соотношения технических и технологических параметров железнодорожной и морской портовой инфраструктуры, а именно:

- технических параметров объектов МТУ, определяющих их мощность с учетом надежности их функционирования;
- времени обработки заявок (вагонов, поездов, судов и др.) на каждом из объектов МТУ. При превышении нормативного времени нахождения заявки на объекте из-за воздействия случайных факторов возникает отказ в его работе.

Результатом моделирования должно быть определение значений параметров, при которых система сможет бесперебойно функционировать в условиях возрастания вагонопотока, а также назначение мероприятий по этапному увеличению мощности объектов МТУ для пропуски перспективного грузопотока.

В имитационной модели необходимо различать:

- постоянные устройства;
- переменные устройства;
- поступающие заявки — вагонопотоки и поездопотоки с прилегающих участков, морские суда;
- время обработки поступающих заявок.

В качестве постоянных устройств выступают элементы, предназначенные для физического размещения заявок — это станции, парки станции, перегоны, терминалы порта, пути необщего пользования и др. В имитационной модели постоянные устройства представлены двумя типами элементов: одноканальными

и многоканальными. В принципе все постоянные устройства можно представить многоканальными элементами. Для многоканальных устройств указывают число каналов, определяющих максимальное число заявок, которые одновременно могут находиться в устройстве. Выделение в особый класс одноканальных устройств позволяет построить более эффективную имитационную модель. Однако современная вычислительная техника в большинстве случаев позволяет мириться с некоторым ухудшением имитационной модели при одинаковом отражении в ней одноканальных и многоканальных устройств. Поэтому в дальнейшем предположим, что все устройства многоканальные. На транспортном объекте в любой момент времени заявка занимает одно или несколько постоянных устройств. Устройство может освободиться от нее только, передав ее на другие устройства или на выход с транспортного объекта. Это принципиально для построения имитационной модели объекта [9].

К переменным устройствам относятся погрузочно-выгрузочное оборудование, устройства разморозки, количество и состав бригад, обслуживающих поступающие заявки, маневровые локомотивы и пр.

Время обработки поступающих заявок зависит от постоянных и переменных устройств [10]. К ним относятся время на маневровые операции с вагонами и составами (перестановка, расформирование, формирование, группировка, подборка, перестановка и пр.), время на осмотр составов по прибытию и отправлению, время на погрузочно-выгрузочные операции с вагонами, время на разморозку смерзшегося груза, время накопления вагонов на состав поезда, приемосдаточные операции, время на швартовку судов, время на таможенные операции и пр.

В процессе исследования закономерностей функционирования транспортной системы представляют интерес значения времени нахождения заявок на каждом устройстве. В имитационной модели необходимо предусмотреть вычисление простоев заявок на каждом устройстве. При этом качество обслуживания заявок транспортным объектом зависит от многих факторов. Важнейшие из них:

- средняя интенсивность потока заявок;
- вид функции распределения вероятностей интервалов между двумя последовательными заявками;
- максимальная длина очереди в ожидании обслуживания постоянными и переменными устройствами;
- средние значения времени обслуживания на каждом устройстве транспортной системы;
- вид функций распределения этого времени обслуживания;
- число каналов обслуживания в каждом из многоканальных устройств.

Имитационная модель функционирования транспортных объектов при поточной обработке заявок имеет наиболее простой вид (рис. 1). Система МТУ

в укрупненном виде состоит из трех основных блоков (объектов): сортировочная станция ($SS — Y_1$), припортовая станция ($PS — Y_2$) и морской грузовой порт ($MGP — Y_3$), представляющий собой совокупность терминалов. Между этими блоками существуют пассивные связи — железнодорожные подходы h_1 и h_2 . Всю систему можно представить в следующем виде (рис. 1), где X — входящий вагонопоток (входящая заявка), Z — выходящий вагонопоток (обработанная заявка).

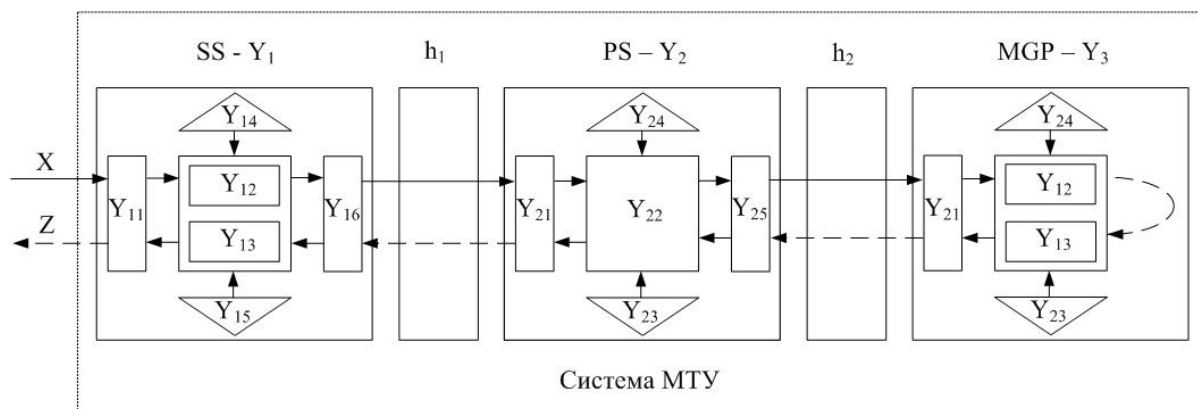


Рис. 1. Схема функционирования МТУ при поточной обработке заявок

Первоначально заявки X принимаются на обработку устройством Y_1 — на сортировочную станцию. Если станция занята обработкой предыдущих составов и не имеет возможности принять поступающий поездопоток, то заявка становится в очередь Q . Если длина очереди превышает заданную величину Q , то заявка получает отказ в обслуживании. Время обслуживания — случайная величина и для заявок разного рода различная. Так, например, высокий приоритет имеют массовые грузы — маршрутные поезда, назначением на промышленные объекты (в нашем случае направлением в порт).

Обработка устройством Y_1 . При прохождении в устройстве Y_1 с заявками выполняются несколько последовательных операций: одну осуществляет устройство Y_{11} — входная стрелочная горловина, время занятия на которой состоит из времени подготовки маршрута и открытия входного сигнала и времени прохода поездом самой стрелочной горловины. Проходя через нее, заявка поступает на приемоотправочные пути станции — устройство Y_{12} . Если устройство Y_{15} (бригада коммерческого и технического осмотра) не занята, то с заявкой осуществляется технический и коммерческий осмотр. В случае занятия устройства Y_{15} заявки простаивает в ожидании на устройстве Y_{12} . После обработки на устройстве Y_{15} заявка поступает в устройство Y_{14} (маневровый локомотив и маневровая бригада), где происходит прицепка маневрового локомотива и подача на сортировочные устройства — Y_{13} . Значительную роль при обработке составов и сокращение

времени обслуживания и ожидания здесь играют наличие локомотива и локомотивных бригад.

- Продолжительность занятия сортировочных устройств Y_{13} состоит из:
- времени заезда маневрового локомотива на путь приема за составом;
 - перестановка его на вытяжной путь;
 - сортировка вагонов по путям;
 - простой вагонов на сортировочных путях в ожидании формирования;
 - формирование, которое включает сортировку и сборку вагонов;
 - перестановка состава на путь отправления;
 - возвращение маневрового локомотива.

После устройства Y_{13} заявка с помощью устройства Y_{14} поступает вновь на устройство Y_{12} и простаивает в ожидании освобождения устройства Y_{15} . После обработки устройством Y_{15} заявка поступает на устройство Y_2 через Y_{16} (выходная горловина станции).

После прохождения устройства Y_1 заявки поступают на устройство Y_2 , проходя при этом через устройство h_1 , которое является связующим звеном между Y_1 и Y_2 .

Обработка устройством Y_2 . При прохождении в устройстве Y_2 с заявками, так же как и на устройстве Y_1 , выполняются несколько последовательных операций: первую осуществляет устройство Y_{21} — входная стрелочная горловина. Проходя через нее, заявка поступает на пути станции — устройство Y_{22} , где с заявкой выполняется вторая операция. Если устройство Y_{23} (бригада коммерческого и технического осмотра) не занято, то с заявкой осуществляется третья операция, а именно технический и коммерческий осмотр. В случае занятия устройства Y_{23} заявки простаивает в ожидании на устройстве Y_{22} . После обработки на устройстве Y_{23} заявка поступает в устройство Y_{24} . В случае занятия устройства Y_{24} (маневровый локомотив и маневровая бригада) заявка простаивает в ожидании.

После обработки на устройстве Y_{24} заявка поступает на устройство Y_{25} , но только лишь тогда, когда свободно устройство Y_3 , в противном случае заявка простаивает в ожидании его освобождения на путях припортовой станции, увеличивая тем самым общее время нахождения заявки в системе.

После прохождения устройства Y_2 заявки поступают на устройство Y_3 , проходя при этом через устройство h_2 , которое является связующим звеном между Y_2 и Y_3 .

Обработка устройством Y_3 . В устройстве Y_3 заявка поступает либо в устройство Y_{31} — на причал, в случае прямой перевалки, либо на устройство Y_{32} — склад. Устройства Y_{31} и Y_{32} многоканальные. Если вместимость устройств Y_{31} и Y_{32} использована полностью, то заявка остается в устройстве Y_2 , т. е. образуется очередь в ожидании обслуживания. При прохождении в устройствах Y_{31} и Y_{32} с заявками выполняют две операции. Одну осуществляют непосредственно устройства Y_{31} или Y_{32} , вторую — устройство Y_{33} (погрузочно-разгрузочные механизмы).

Операции на складе и причале по выгрузке/погрузке вагонов можно выполнять одновременно, так как погрузочно-разгрузочные механизмы складов и причалов работают независимо друг от друга. После окончания обработки на устройствах Y_{31} и Y_{32} заявка поступает обратно на устройство Y_2 через h_2 , далее через h_1 в устройство Y_1 , проходя при этом операции, описанные выше.

Время обслуживания заявки — случайная величина, зависящая от категории поезда, рода отправки, вида погрузочно-разгрузочных механизмов.

Показателями качества обслуживания заявок служат:

- среднее время нахождения в системе с момента поступления до момента выхода (время ожидания в очереди Q также входит в этот показатель);
- вероятность отказа в обслуживании транспортным устройством.

В процессе исследования закономерностей функционирования транспортной системы представляют интерес значения времени нахождения заявок на каждом устройстве. Поэтому в имитационной модели необходимо предусмотреть вычисление простоев заявок на каждом устройстве.

Рассмотренная укрупненная модель функционирования системы МТУ служит для анализа характеристик процесса взаимодействия между объектами системы.

Рассмотрим имитационную модель МТУ на примере Ванинско-Совгаваньского узла, который входит в региональную мультимодальную транспортную сеть Дальнего Востока России [11] и включает в себя:

- железнодорожную станцию Дюанка, которая по характеру работы является разъездом без объема грузовой работы;
- железнодорожную станцию Ванино, которая является припортовой внеклассной станцией с последовательным расположением парков. Путевое развитие состоит из парков Токи, Ванино, Чудиново и Ванино-Нового района;
- железнодорожную станцию Советская Гавань-Сортировочная, которая является участковой станцией третьего класса, с внутренним расположением главных путей. Путевое развитие станции состоит из одного главного и шести приемоотправочных путей;
- железнодорожную станцию Десна. Путевое развитие станции состоит из главного и двух приемоотправочных путей;
- железнодорожную станцию Мыс Мария, которая по характеру работы является промежуточной, отнесена к пятому классу. Путевое развитие станции включает главный путь и три приемоотправочных пути;
- железнодорожную станцию Советская Гавань-Город, которая по характеру работы является промежуточной, отнесена к четвертому классу. Путевое развитие станции состоит из одного главного и двух приемоотправочных путей;
- железнодорожный путь необщего пользования — станция Терминал АО «Дальтрансуголь». По характеру работы является грузовой и отнесена к первому

классу. Станция Терминал представляет собой железнодорожную промышленную грузовую станцию, предназначенную для выгрузки угля из полувагонов для дальнейшей перевалки его на морской транспорт;

– железнодорожный путь необщего пользования — станция Терминал ООО «Сахатранс», запроектирован как припортовая станция необщего пользования. Терминал предназначен для перевалки угля с железнодорожного транспорта на морской, а также для временного хранения груза на открытых складских площадках;

– железнодорожный путь необщего пользования ЗАО «Трансбункер-Ванино» — терминал для перевалки темных и светлых нефтепродуктов;

– железнодорожный путь необщего пользования — АО «Ванинский морской торговый порт». Инфраструктура порта включает 16 причалов, открытые и закрытые склады, оснащенные портовыми сооружениями и объектами, крановым оборудованием и перегрузочной техникой, осуществляет перевалку разного рода грузов;

– железнодорожный путь необщего пользования — АО «ВаниноТрансУголь» — транспортно-перегрузочный комплекс для перегрузки угля и железорудного концентрата;

– АО «Ванинский морской торговый порт» (порт Ванино) — инфраструктуру порта образуют шестнадцать причалов, открытые и закрытые склады, оснащенные портовыми сооружениями и объектами, крановым оборудованием и перегрузочной техникой;

– паромную переправу Ванино-Холмск. К перевозке паромами принимаются практически все грузы, допускаемые к перевозке ОАО «РЖД», включая наливные грузы в цистернах, скоропортящиеся грузы в рефрижераторных вагонах, рефрижераторных секциях и вагонах-термосах, а также опасные грузы;

– железнодорожный путь необщего пользования — порт Советская Гавань. Морской порт Советская Гавань специализируется на перегрузке навалочных, генеральных, лесных и нефтеналивных грузов, включая грузы «северного завоза». Также в порту развита перевалка морепродуктов для нужд рыбоперерабатывающих комплексов, производящих продукцию на внутренний рынок России;

– прочие пути необщего пользования.

Расчетная схема Ванинско-Совгаваньского МТУ представлена на рис. 2.

Имитационная модель позволяет моделировать работу МТУ по функциональным устройствам: парк станций, пути портов и паромной переправы, вагоноразмораживающие устройства и вагоноопрокидыватели. На этих устройствах поочередно рассматривается состояние заявки (поездотока) в моделируемой системе с заданной единицей модельного времени (минуты, часы, сутки).

Для объективной работы имитационной модели вводятся статистические исходные данные, которые содержат следующую информацию:

– расписание движения поездов;

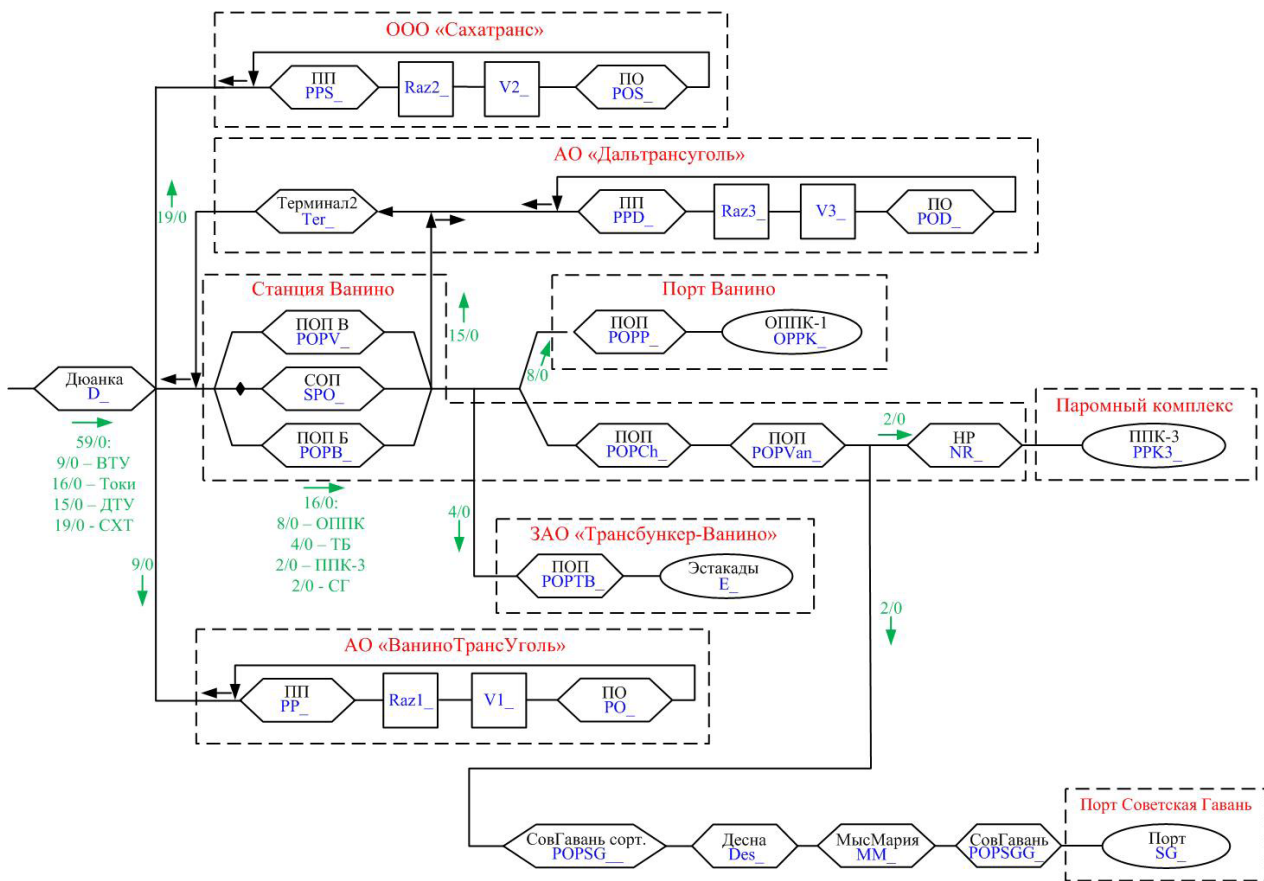


Рис. 2. Схема Ванинско-Совгаваньского МТУ

- план формирования поездов по назначениям в адрес основных грузополучателей МТУ;
- время обработки заявок (составов поездов) на каждом из устройств МТУ — время нахождения на путях парков станций, время обработки в порту, время для разморозки и выгрузки генеральных грузов;
- существующее техническое состояние устройств — количество путей в парках станций и в порту, количество размораживающих и погрузочно-разгрузочных механизмов;
- направление движения заявок в системе во время и после обработки в каждом из устройств МТУ.

Имитационная модель МТУ для рассматриваемого примера разрабатывается в системе AnyLogic, которая включает в себя основные направления моделирования: агентное, дискретно-событийное и системно-динамическое. AnyLogic позволяет получить множество вариантов процесса движения поездопотока в режиме реального времени при заданных параметрах системы и учесть временные характеристики его нахождения в системе по основным объектам, а также выявить «узкие» места.

Разработанная имитационная модель описывает фрагмент железнодорожной сети, которая взаимодействует с системой морского транспорта и совокупностью терминалов по переработке генеральных грузов.

В качестве единиц имитационного времени принимаются минуты. Смоделировать работу МТУ возможно на протяжении длительного времени — в течение нескольких месяцев. Модель позволяет вводить исходные данные отдельно для каждого из объектов, уменьшая или увеличивая их пропускную способность в процессе моделирования. В случае недостаточной пропускной способности программа предлагает изменить параметры системы с целью обработки заявки и ликвидации «узкого» места.

Результаты и их обсуждение

Для проверки модели на адекватность рассмотрен временной период — 3 суток. Этого времени достаточно для анализа работы рассматриваемого МТУ. Смоделированы несколько вариантов работы:

1. Имитационная модель МТУ работает в существующих условиях (рис. 2): заданные технические параметры объектов соответствуют имеющимся в настоящее время, с учетом модернизации и осуществления 1 этапа развития Ванинско-Совгаваньского железнодорожного узла. В узел поступают 59 составов поездов в сутки, из них:

- 9 поступают в АО «ВаниноТрансУголь»;
- 16 поступают в АО «Дальтрансуголь»;
- 19 поступают в ООО «Сахатранс»;

– 16 расформируются в парке Токи станции Ванино через вытяжной путь путем роспуска через сортировочную горку на сортировочно-отправочные пути. После накопления на специализированных путях парка Токи вагоны формируются в составы поездов в соответствии с установленными нормами массы и длины и передаются на грузовые районы порта и на станцию Советская Гавань-Сортировочная. Окончательная подборка и сортировка вагонов для подачи на причалы и паромы осуществляется в парках Ванино-порт, Ванино — Новый район и на станции Советская Гавань. Их них 8 поездов — передаточным движением подаются в порт Ванино, 4 — на ЗАО «Трансбункер-Ванино», 2 — на паромную переправу (ППК-3), 2 — в порт Советская Гавань.

Из рис. 3 видно, что узел функционирует в нормальном режиме и справляется с существующим поездопотоком, однако пути необщего пользования ООО «Сахатранс» и АО «Дальтрансуголь» работают в загруженном режиме, коэффициенты загрузки вагоноопрокидывателей равны 0,76 и 0,79 соответственно. Станция Ванино так же работает в условиях большой загрузки, коэффициент использования сортировочно-отправочного парка составляет 0,86, путей приемо-отправочного парка Ванино-порт — 0,72.

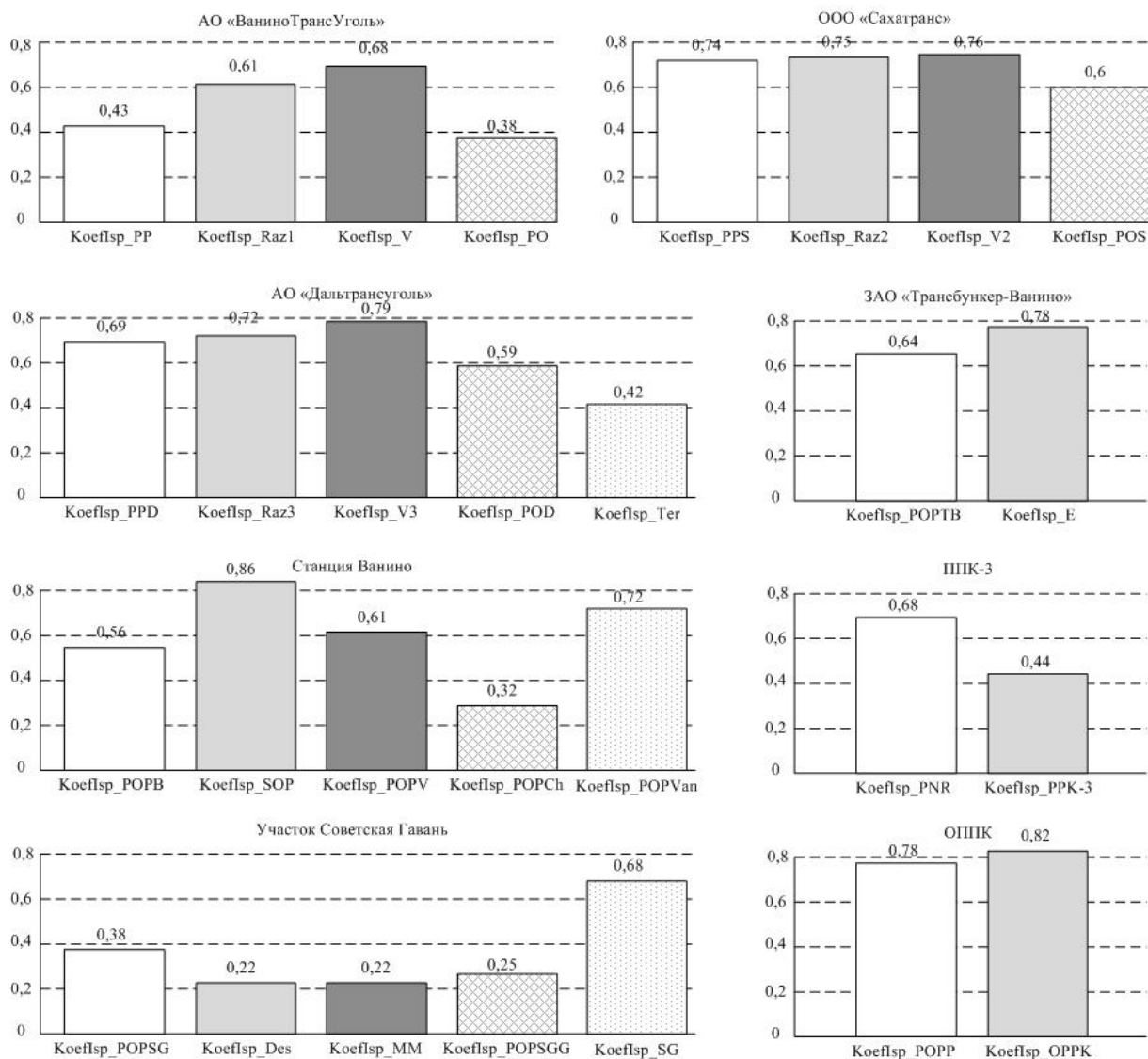


Рис. 3. Графическое представление коэффициента использования основных устройств Ванинско-Совгаваньского МТУ

На основе построенных графиков можно сделать вывод, что у станции есть резерв пропускной способности. Пути необщего пользования также имеют запас пропускной способности. Но незначительный.

2. Имитационная модель МТУ работает в условиях увеличения поездопотока: заданные технические параметры объектов соответствуют имеющимся в настоящее время. В узел, согласно прогнозу перспективных объемов грузовых перевозок на период до 2025 г., планируется прием 70 составов поездов в сутки, из них:

- 11 поступают в АО «ВаниноТрансУголь»;
- 17 поступают в АО «Дальтрансуголь»;
- 21 поступают в ООО «Сахатранс»;

Коэффициент загрузки устройств Ванинско-Совгаваньского МТУ

Наименование устройства	Усл. обознач. уст-ва	1 вариант, 2022 г.		2 вариант, 2025 г.	
		Кол-во поездов	Коэфф. загрузки уст-ва	Кол-во поездов	Коэфф. загрузки уст-ва
АО «ВаниноТрансУголь»: – парк приема; – размораживающие устройства; – вагоноопрокидыватель; – парк отправления	PP Raz1 V PO	27	0,43 0,61 0,68 0,38	33	0,56 0,71 0,93 0,41
ООО «Сахатранс»: – парк приема; – размораживающие устройства; – вагоноопрокидыватель; – парк отправления	PPS Raz2 V2 POS	57	0,74 0,75 0,76 0,60	63	0,84 0,86 0,88 0,64
АО «Дальтрансуголь»: – парк приема; – размораживающие устройства; – вагоноопрокидыватель; – парк отправления; – станция Терминал	PPD Raz3 V3 POD Ter	45	0,69 0,72 0,79 0,59 0,42	61	0,78 0,91 0,92 0,71 0,51
ЗАО «Трансбункер-Ванино»: – приемоотправочный парк; – эстакады слива	POPTB E	12	0,64 0,78	15	0,78 0,92
Станция Ванино: – приемоотправочный парк «Б»; – сортировочно-отправочный парк; – приемоотправочный парк «В»; – приемоотправочный парк Чудиново; – приемоотправочный парк Ванино	POPВ SOP POPV POPCh POPVan	48	0,56 0,86 0,61 0,32 0,72	63	0,58 0,94 0,69 0,38 0,93
ППК-3: – парк Ванино-Новый район; – причальный комплекс	PNR PPK-3	6	0,68 0,44	9	0,82 0,52
Участок Советская Гавань: – станция Советская Гавань – Сортировочная; – станция Десна; – станция Мыс Марии; – станция Советская Гавань – Город; – порт Советская Гавань	POPSG Des MM POPSGG SG	6	0,38 0,22 0,22 0,25 0,68	9	0,42 0,27 0,26 0,31 0,87
ОППК: – приемоотправочный парк Ванино-порт; – порт Ванино	POPP OPPK	24	0,78 0,82	30	0,91 0,96

– 21 расформировываются в парке Токи станции Ванино. Их них 10 поездов — передаточным движением подаются в порт Ванино, 5 — на ЗАО «Трансбункер-Ванино», 3 — на паромную переправу (ППК-3), 3 — в порт Советская Гавань.

На основании результатов функционирования имитационной модели Ванинско-Совгаваньского МТУ в системе AnyLogic составлена сводная таблица результатов экспериментов по 2 вариантам: с существующим размером поездопотока и перспективным (таблица).

По итогам второго эксперимента видно, что узел не справляется с поступающими объемами перевозок. Коэффициент загрузки устройств практически везде превышает условно допустимое значение, это говорит об отсутствии резерва пропускной способности и большой загрузке устройств, которые работают на пределе своих возможностей. В результате возникают сбои в работе всего МТУ, что ведет к заторам на подходах к узлу. При поступлении перспективного поездопотока, с учетом текущего времени нахождения вагонов на устройствах узла, МТУ будет парализован уже на 3 сутки работы.

Заключение

Функционирование мультимодального транспортного узла — это сложная комплексная задача, описать и решить которую без имитационного моделирования практически невозможно. Разработанная имитационная модель позволяет с помощью коэффициента загрузки основных устройств узла выявить «узкие» места в работе и установить максимальный поездопоток, который может быть пропущен.

На основании результатов экспериментов видно, что в условиях увеличения поездопотока и существующей технологии пропуска и обработки поездов коэффициент загрузки растет, что говорит о невозможности нормального функционирования всего МТУ. В таких условиях необходимо предусмотреть возможность увеличения пропускной способности основных устройств и создание ее резерва. Своевременное выявление «узких» мест позволит эффективно использовать ресурсы системы МТУ, обеспечить переработку максимального размера поездопотока, а также разработать мероприятия по увеличению мощности технических устройств при прогнозном росте грузопотока.

С помощью разработанной имитационной модели возможно проанализировать работу ключевого транспортного узла Дальнего Востока с целью его эффективного и устойчивого функционирования. Кроме того, разработанная имитационная модель может быть использована для рационализации работы существующих транспортных узлов и решения задачи опережающего развития региональной транспортной инфраструктуры, в первую очередь Транссибирской и Байкало-Амурской магистралей, Северного морского пути, морских портов, пограничных переходов и подходов к ним, с целью обеспечения развития производства для добычи, переработки и транспортировки природных ресурсов и реализации транзитного потенциала Сибири, Дальнего Востока и Арктической зоны России.

Библиографический список

1. Советов Б. Я. Моделирование систем: учеб. для вузов / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — М.: Высш. Шк., 2001. — 343 с.
2. Слободянюк И. Г. Макромоделирование транспортных узлов / И. Г. Слободянюк, П. А. Козлов, Н. А. Тушин, В. Ю. Пермикин, // Железнодорожный транспорт. — 2015. — № 10. — С. 38–40.
3. Казаков А. Л. Применение многофазных систем массового обслуживания для моделирования сортировочной станции / А. Л. Казаков, М. М. Павидис, М. Л. Жарков // Вестник УрГУПС. — Екатеринбург: УрГУПС, 2018. — № 2(38). — С. 4–14.
4. Супруновский А. В. Применение системы Anylogic для моделирования участковой железнодорожной станции / А. В. Супруновский // Молодая наука Сибири: электрон. научн. журн. — 2020. — № 2 — URL: <http://mnv.urgups.ru/toma/28-20> (дата обращения: 05.02.2022).
5. Хабаров В. И. Создание имитационной модели движения поездов с использованием мультиагентного и дискретно-событийного подходов на примере Западно-Сибирской железной дороги / В. И. Хабаров, К. В. Красникова // Известия Транссиба — Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2017. — № 3(31). — С. 143–154.
6. AnyLogic Многоподходное имитационное моделирование. — URL: <http://www.anylogic.com> (дата обращения: 19.01.2022).
7. Анисимов Вл. А. Модель взаимодействия железнодорожного и морского транспорта для повышения эффективности мультимодальных перевозок / Вл. А. Анисимов, М. В. Нечипорук // Известия Петербургского университета путей сообщения. — СПб.: ПГУПС, 2014. — № 3(40). — С. 9–15.
8. Нечипорук М. В. К вопросу использования сбалансированной системы показателей при моделировании взаимодействия железнодорожного и морского транспорта в мультимодальном транспортном узле / М. В. Нечипорук, Вл. А. Анисимов // Транспорт Урала. — Екатеринбург: УрГУПС, 2014. — № 3(42). — С. 13–17.
9. Козлов И. Т. Пропускная способность транспортных систем / И. Т. Козлов. — М.: Транспорт, 1985. — 214 с.
10. Король Р. Г. Имитационное моделирование системы «железнодорожная станция — морской порт» на примере Владивостокского транспортного узла / Р. Г. Король, А. С. Балалаев // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. — СПб.: ГУМРФ, 2015. — № 3(31). — С. 209–216.
11. Anisimov V. A. Multimodal transport network of the Far Eastern Federal district of Russia / V. A. Anisimov, L. A. Bogdanova, O. S. Morozova et al. // Lecture notes in civil engineerin. — Springer, 2021. — № 130. — Pp. 459–468.

Дата поступления: 01.04.2022

Решение о публикации: 31.07.2022

Контактная информация:

НЕЧИПОРУК Марина Викторовна — ст. преподаватель; miranaforeverrr@mail.ru

АНИСИМОВ Владимир Александрович — д-р техн. наук, проф.; anisvl@mail.ru

Simulation Modeling of Vanino-Sovgavan Multimodal Transport Node Development

M. V. Nechiporuk¹, V. A. Anisimov²

¹Far Eastern State Transport University, 47, ul. Serysheva, Khabarovsk, 680021, Russian Federation

²Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9, Moskovsky pr., Saint Petersburg, 190031, Russian Federation

For citation: Nechiporuk M. V., Anisimov V. A. Simulation Modeling of Vanino-Sovgavan Multimodal Transport Node Development. *Bulletin of scientific research results*, 2022, iss. 3, pp. 73–88. (In Russian) DOI: 10.20295/2223-9987-2022-3-73-88

Summary

Purpose: Working-out of simulation model of multimodal transport node functioning to solve the problem of regional transport infrastructure development. Determination of the optimal ratio of technical and technological parameters of railway and sea port infrastructure, namely: technical parameters of MTN (Multimodal Transport Node) objects which determine their capacity in view of reliability of their functioning; processing time of applications (on cars, trains, ships, etc.) at each MTN object. **Methods:** Methodology for structural systems analysis, system theory, agent-based, discrete-event and system-dynamic modeling were applied. **Results:** Theoretical foundations for modeling methods are considered and the application of simulation modeling to solve the task of effective functioning of large transport systems in the conditions of uncertainty is substantiated. The simulation model of Vanino-Sovgavan multimodal transport node development was carried out to justify design decisions on change of MTN railway infrastructure oblique and capacity. The values of parameters at which the system can function smoothly in conditions of car traffic rise have been determined. **Practical importance:** The developed simulation model makes it possible to analyze the work of the key transport node of the Far East with the purpose of its effective and sustainable functioning. In addition, the model can be used to rationalize the work of existing transport nodes and to solve the issue of advanced development of a regional transport infrastructure, primarily, the Trans-Siberian and Baikal-Amur Mainlines, the Northern Sea Route, sea ports, border crossings and approaches to them in order to ensure production improvement for mining, processing and transportation of natural resources and realization of transit potential of Siberia, the Far East and the Arctic zone of Russia.

Keywords: Simulation modeling, simulation model, multimodal transport node, permanent devices, variable devices, modeling, application flow processing, capacity, train flow, Vanino-Sovgavan node, device load factor.

References

1. Sovetov B. Ya. *Modelirovanie system* [Modeling systems]. Moscow: Vyssh. Shk. Publ., 2001. 343 p. (In Russian)
2. Slobodyanyuk I. G. Makromodelirovanie transportnykh uzlov [Macromodeling of transport nodes]. *Zheleznodorozhnyy transport* [Railway transport]. 2015, I. 10, pp. 38–40. (In Russian)
3. Kazakov A. L. Primenenie mnogofaznykh sistem massovogo obsluzhivaniya dlya modelirovaniya sortirovochnoy stantsii [Application of multi-phase queuing systems for modeling a marshalling yard]. *Vestnik UrGUPS* [Bulletin of the UrGUPS]. Ekaterinburg: UrGUPS Publ., 2018, I. 2 (38), pp. 4–14. (In Russian)

4. Suprunovskiy A. V. Primenenie sistemy Anylogic dlya modelirovaniya uchastkovoy zheleznodorozhnoy stantsii [Application of the Anylogic system for modeling a local railway station]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young science of Siberia]. 2020, I. 2. Available at: <http://mnv.irkups.ru/toma/28-20> (accessed: February 05, 2022). (In Russian)

5. Khabarov V. I. Sozdanie imitatsionnoy modeli dvizheniya poezdov s ispol'zovaniem mul'ti-agentnogo i diskretno-sobytiynogo podkhodov na primere Zapadno-Sibirskoy zheleznoy dorogi [Creation of a simulation model of train traffic using multi-agent and discrete-event approaches on the example of the West Siberian Railway]. *Izvestiya Transsiba* [Izvestiya Transsib]. Omsk: Omskiy gos.un-t putey soobshcheniya Publ., 2017, I. 3 (31), pp. 143–154. (In Russian)

6. *AnyLogic Mnogopodkhodnoe imitatsionnoe modelirovanie* [AnyLogic Multi-approach simulation]. Available at: <http://www.anylogic.com> (accessed: January 19, 2022). (In Russian)

7. Anisimov V. I. A. Model' vzaimodeystviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta dlya povysheniya effektivnosti mul'timodal'nykh perevozok [Model of interaction between railway and sea transport to improve the efficiency of multimodal transportation]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya* [Proceedings of the Petersburg University of Communications]. St. Petersburg: PGUPS Publ., 2014, I. 3 (40), pp. 9–15. (In Russian)

8. Nechiporuk M. V. K voprosu ispol'zovaniya sbalansirovannoy sistemy pokazateley pri modelirovanii vzaimodeystviya zheleznodorozhnogo i morskogo transporta v mul'timodal'nom transportnom uzle [On the issue of using a balanced scorecard in modeling the interaction of railway and sea transport in a multimodal transport hub]. *Transport Urala* [Transport of the Urals]. Ekaterinburg: UrGUPS Publ., 2014, I. 3 (42), pp. 13–17.

9. Kozlov I. T. *Propusknaya sposobnost' transportnykh system* [Throughput of transport systems]. Moscow: Transport Publ., 1985. 214 p. (In Russian)

10. Korol' R. G. Imitatsionnoe modelirovanie sistemy «zheleznodorozhnaya stantsiya - morskoy port» na primere Vladivostokskogo transportnogo uzla [Simulation modeling of the system “railway station - seaport” 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 Marine and River Fleet. Admiral S.O. Makarova]. St. Petersburg: GUMRF Publ., 2015, I. 3 (31), pp. 209–216. (In Russian)

11. Anisimov V. A., Bogdanova L. A., Morozova O. S., Shkurnikov S. V., Nesterova N. S. Multimodal transport network of the Far Eastern Federal district of Russia. Lecture notes in civil engineerin. Springer, 2021, I. 130, pp. 459–468.

Received: April 01, 2022

Accepted: July 31, 2022

Author's information:

Marina V. NECHIPORUK — Senior Lecturer; miranaforeverrr@mail.ru

Vladimir A. ANISIMOV — D. Sci. in Engineering, Professor; anisvl@mail.ru