

ТИПОВЫЕ МОДУЛИ ИМИТАЦИОННОГО РАСЧЕТА КРУПНЫХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ УЗЛОВ

Петров А.С., Дмитриев Е.О., Николаев К.Ю.

Институт экономики и развития транспорта

petrov.alexey1@gmail.com, dmitrievogr@mail.ru, constantsurety@gmail.com

Аннотация: Предложена методика разработки типовых модулей имитационного расчета крупных железнодорожных узлов в виде вектор-функций в системе ИМЕТРА. Рассмотрены четыре категории типовых модулей по характеру работы железнодорожных станций и развязок. Актуализированы зависимости надёжности работы и задержек на односторонней сортировочной станции.

Ключевые слова: имитационное моделирование, железнодорожные узлы, надёжность, управление потоками, ИМЕТРА.

Введение

Железнодорожные узлы можно представить как совокупность технических железнодорожных станций (в том числе специализированные: сортировочные, пассажирские и грузовые) и/или пересечений магистральных (промышленных) железнодорожных линий, расположенных и взаимодействующих между собой на относительно небольшой площади.

Получение значений расчётных параметров систем такой высокой сложности, где взаимодействие элементов связано множеством функций ряда переменных, которые возникают при взаимосвязи проходящих потоков и структуры узла, с помощью аналитических методов получить затруднительно [1]. Поэтому основным инструментом решения подобных задач становится использование имитационных систем моделирования. Вместе с тем необходимость ввода значительного количества исходной информации инженером-технологом требует повышения эффективности этого процесса, и поэтому разработка типовых модулей, облегчающих работу с имитационными системами, актуальна.

1 Исследование параметров решения

В общем виде железнодорожный узел представляет собой детерминированно-стохастическую транспортную систему, в которой протекают немарковские процессы [4]. Описание подобных структур с приемлемым уровнем точности возможно с помощью применения имитационных систем моделирования. Данный вопрос подробно рассмотрен в [5], где исследуются модели, в которых узлы сети интерпретируются как совокупность систем массового обслуживания, взаимно связанные многочисленными условиями в целом, подчинённое общей стратегии деятельности.

Одну из первых моделей для железнодорожного транспорта предложили профессора В.А. Персианов и Н.С. Усков в 70-х годах прошлого века. Строились узкоспециализированные модели, где структура системы и технология были зафиксированы в алгоритмах, был опыт применения стандартных алгоритмических языков.

За последние годы в данном направлении проведена значительная работа - вышел ряд трудов, подробно описывающих математический аппарат и программное исполнение по решению задач моделирования транспортных процессов на железнодорожном транспорте. В результате созданы современные решения поставленных задач, а именно имитационная система ИМЕТРА. В основе её работы лежит функциональный подход к описанию железнодорожной инфраструктуры. Парки станций представляют собой «бункер», обладающий заданной ёмкостью, а горловины описываются числом возможных параллельных передвижений (виртуальных каналов). При этом бункер, кроме

«накопления» заявок на обслуживание, выполняет регулируемую (управление) и служебно-техническую (обработка) функцию, что требуется согласно [6].

Данная система применялась при проведении моделирования протяжённого полигона Кузбасс-Узел – Усть-Луга (~2300 км), где определялась очередность развития железнодорожных станций на направлении для обеспечения пропуска поездов длиной 100 условных вагонов в нечетном направлении при прогнозируемых потоках на расчётные годы. Определив элементы системы с наибольшими задержками при условии безусловного приёма всех поездов по стыкам полигона, выявлена рациональная очередность развития станций для увеличенного числа тяжеловесных поездов [7].

Распоряжением [8] утверждена Методика проведения исследования проектов развития железнодорожных станций с использованием аппарата математического моделирования. С применением данной методики разработаны разделы «Технологической части «Предварительного технико-экономической оценки Северного широтного хода» и существующей сети железных дорог в границах полигона (Северная ж.д. и Свердловская ж.д.)», где с помощью системы ИМЕТРА определены мероприятия по повышению пропускной и провозной способности станций рассматриваемого полигона по вариантам различной установленной длины грузовых поездов на направлении Коноша II – Обская. В результате выбран вариант с реконструкцией нескольких десятков станций (строительство новых или удлинение существующих приемоотправочных путей), рассчитаны эксплуатационные показатели работы участков.

Вопрос имитационного макро моделирования крупных железнодорожных узлов был исследован в работе [9], где изложено описание принципов работы горловин, парков станций и технологических процессов в транспортных узлах в терминах функционального подхода.

2 Обобщенная постановка задачи

Целью имитационного моделирования работы крупных железнодорожных узлов является обоснование инвестиций для обеспечения перевозочного процесса на различных этапах эксплуатации. Для достижения данной цели решаются задачи развития инфраструктуры и технологии работы узла. Задача моделирования узлов состоит в определении влияния инфраструктурных (ввод новых или вывод из эксплуатации главных и приемоотправочных путей, соединительных линий, устройств обработки) и эксплуатационных (изменение в технологии работы, размеров входящего транспортного потока, подлежащего обработке и т.д.) изменений в работе узла на эксплуатационные показатели самого узла, его элементов и прилегающих участков. Основным критерием принятия к дальнейшей проработке разрабатываемых инфраструктурных и технологических мероприятий является экономическая эффективность от реализации данных мероприятий. При сравнении вариантов развития имитационное моделирование может быть применено на предпроектной стадии разработки мероприятий, которые не имеют необходимости в точном, структурном моделировании такой сложной структуры, как узел. В условиях текущей эксплуатации требуется совершенствование технологии работы узла при сохранении существующего путевого развития, а также разработки функциональных зависимостей параметров перевозочного процесса при различной конфигурации потоков поездов. На основе полученных посредством имитационного моделирования функциональных зависимостей и расчётных параметров для различных состояний системы осуществляется переход к экономической оценке мероприятий и выбору предпочтительного варианта.

Крупный железнодорожный узел является системой, включающей в себя большое количество элементов, образующих из себя подсистемы (станции), взаимодействующие между собой. Для формализации процесса разработки модели железнодорожного транспортного узла требуется разработать типовые модули имитационной системы, которыми были приняты железнодорожные станции, разделяемые по характеру работы (сортировочная (участковая), припортовая (грузовая) и пассажирская (пассажирско-техническая)), а также развязки и соединительные ветви, связывающие все элементы железнодорожного узла в единое целое. В работе решается задача разработки методологических принципов создания типовых модулей, включающих в себя функциональную структуру и технологию работы.

Основным показателем, характеризующим надёжность работы системы (H), являются задержки (t_3), возникающие при различных уровнях загрузки структуры. В связи с этим, требуется разработка зависимостей указанных параметров для указанных типовых модулей.

3 Принципы решения

Типовой модуль состоит из двух подсистем – инфраструктурной и технологической. Инфраструктурная часть включает в себя парки, перегоны и соединительные пути, технологическая – технологический процесс обработки потоков на станции, в узле и типовом модуле осуществляется управление очередями, содержащееся в технологии.

Основным структурным элементом типового модуля является парк железнодорожной станции, представленный бункером (n), характеризующийся рядом параметров, представляемых в виде вектор-функции.

$$(1) R_{\text{бунк}}(n) = A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br)) + A_2(c_1; c_2(ch)) + A_3(nz_1 \dots nz_k(e))$$

где $A_1(x_1 \dots x_k(e; lok; br))$ – группы путей парка (n), объединённых общей горловиной, характеризующихся суммарной ёмкостью (e), наличием бригад пункта технического обслуживания (br) и локомотивом (lok);

$A_2(c_1; c_2(ch))$ – количество каналов (ch) в горловинах ($c_1; c_2$).

$A_3(nz_1 \dots nz_k(e))$ – ёмкость путевого развития (e), предназначенная для работы с определённой категорией поездов по типу, длине, назначению плана формирования ($nz_1 \dots nz_k$).

Бункеры между собой соединяются с помощью соединений (перегон, соединительные пути).

$$(2) R_{\text{соед}}(l) = A_1(kl(d))$$

где $A_1(kl(d))$ – соединение (l), характеризующееся количеством каналов (d) и направлением движения по ним (kl).

Технология работы станций определяется на основе технологического процесса их работы методом формализации его элементов, основывающемся на укрупнении однородных групп операций (операции перемещения и без перемещения). Операция технологической цепочки в модели описывается вектор-функцией одной скалярной переменной:

$$(3) R_{\text{техн}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$$

где $A_1(x_1(p; k); x_2)$ – орта, описывающая маршрут перемещения транспортной единицы или её дислокации, где $x_1(p; k)$ – множество парков станции (p), входящих в маршрут следования, и каналов в горловинах парков (k); x_2 – множество соединительных путей и перегонов;

$A_2(t)$ – орта времени (t) занятия элементов или выполнения операции A_1 ;

$A_3(v)$ – орта локомотивов, используемых для перемещения, вида (v);

$A_4(b)$ – орта бригад ПТО вида (b), обслуживающих транспортную единицу;

$A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$ – орта назначений (n) (видов поездов разной нормы длины).

Операции технологической цепочки перемещения имеют следующее описание вектор-функцией:

$$(4) R_{\text{пер}}(t) = A_1(x_1(p; k); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$$

Операции без перемещения имеют следующее описание вектор-функцией:

$$(5) R_{\text{б.пер}}(t) = A_1(x_1(p); x_2) + A_2(t) + A_3(v) + A_4(b) + A_5(n_1; n_2; \dots; n_n)$$

Элементы технологической цепочки характеризуют возможные условия, имитирующие диспетчерское руководство – управление очередями. Условия позволяют регулировать подвод поездов на станцию и передачу из парка в парк станции в зависимости от заполнения ёмкости парков станции и технологически допустимого заполнения ёмкости парков станции. Прилегающие участки к станции характеризуются технологическими окнами, проводимыми на инфраструктуре (продолжительность и периодичность).

Общий порядок определения расчётных зависимостей в модели узла приведён на рисунке 1.

3.2 Развязки и соединительные ветви

Моделирование транспортных железнодорожных узлов неразрывно сопряжено с выделением развязок и соединительных ветвей в отдельную группу типовых модулей в связи с их важным значением для организации эффективной технологии работы узла, так как грамотная технология работы на развязке позволяет сократить величину структурных потерь, вызванных враждебностью потоков.

В условиях формирования макромоделей узла необходим переход от структурной формы развязки к её макроэквиваленту – формализация развязки. Основным условием формализации является наличие на развязке маршрутных светофоров и потребность в регулировании потока, подводимого к враждебным элементам развязки (стрелочные переводы). Элементом, имитирующим маршрутный светофор, где возможно путём задания условий регулировать поток, является бункер, включающий в себя один путь.

В работе рассматриваются типовые развязки, классифицирующиеся по зонам возникновения враждебности потоков: сонаправленное схождение/разделение потоков (в разных уровнях); замкнутые развязки, работающие с одним парком (в разных уровнях); развязки противоположно направленных потоков в одном уровне; развязки противоположно направленных потоков в одном уровне (со шлюзовыми путями).

Структурные схемы типовых модулей развязок и их макроэквиваленты представлены на рисунках 3-6.

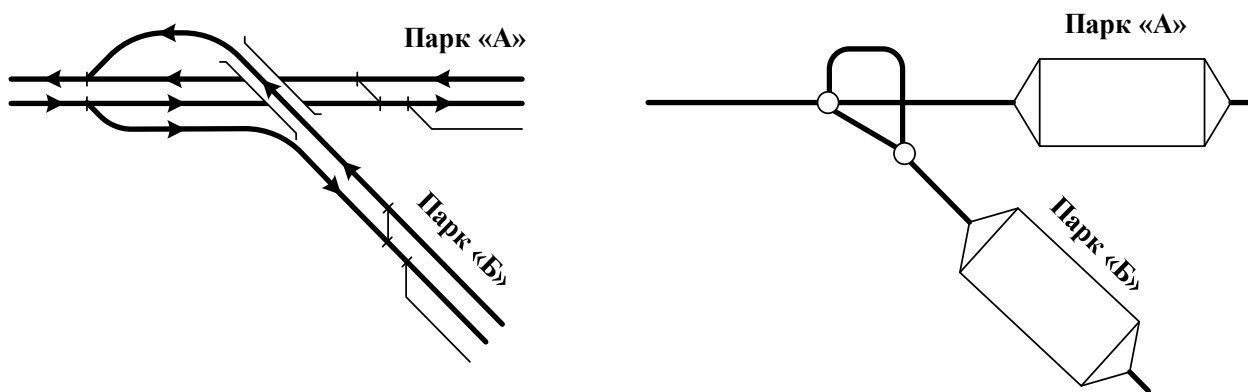


Рис. 3. Развязка с сонаправленным схождением/разделением потоков (в разных уровнях)

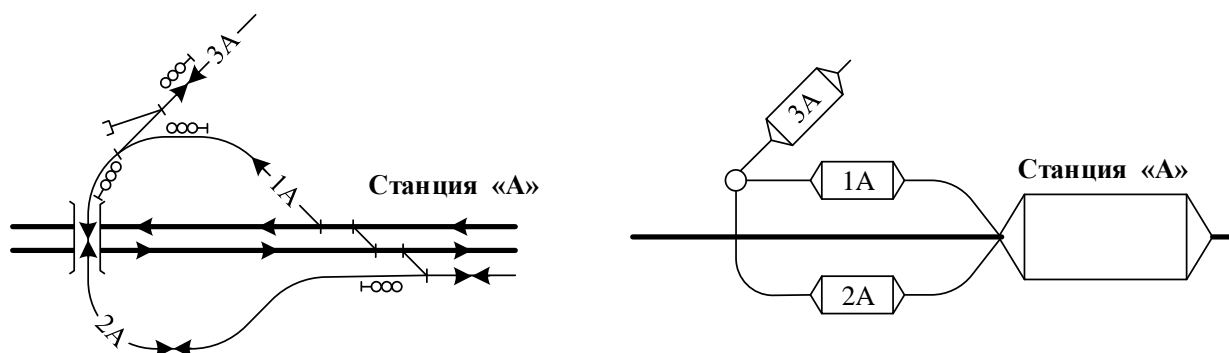


Рис. 4. Замкнутая развязка, работающая с одним парком (в разных уровнях)

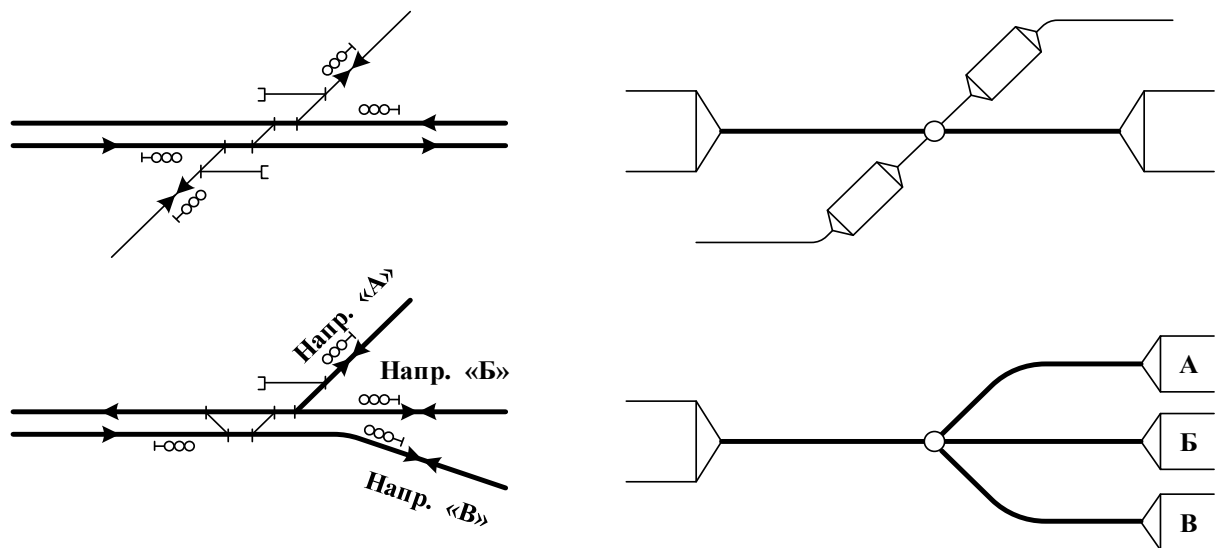


Рис. 5. Развязка противоположно направленных потоков в одном уровне

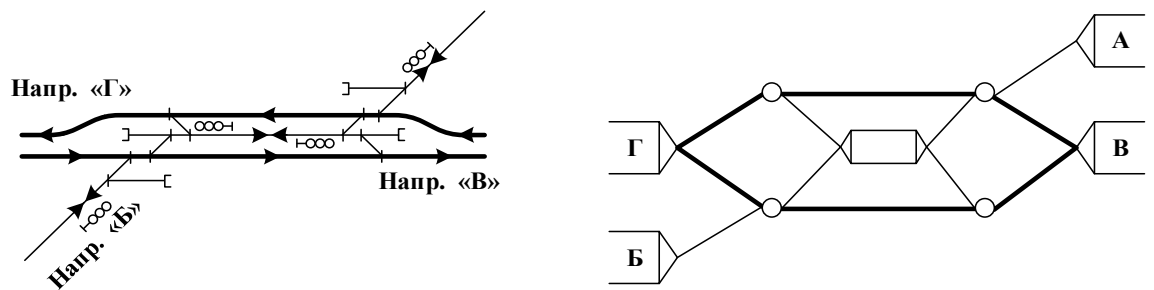


Рис. 6. Развязка противоположно направленных потоков в одном уровне (со иллюзовыми путями)

3.3 Пассажирская (пассажирская техническая) станция

Типовая пассажирская станция представляется в виде системы комплексов по обработке разнотипного входящего транспортного потока. При этом каждая подсистема будет обозначаться отдельным бункером или группой бункеров. Для пассажирской станции будут характерны следующие бункерные элементы $R_{бунк}(n)$: $R_{бунк}(1)$ - пассажирский парк с перронными путями для поездов дальнего следования (ППД) и $R_{бунк}(2)$ - технический парк для обслуживания и отстоя составов ПДС - являются комплексом обслуживания поездов дальнего следования. $R_{бунк}(3)$ - пригородный парк и $R_{бунк}(4)$ - парк отстоя для пригородных поездов - являются комплексом обслуживания пригородных поездов. Если станция обслуживает и грузовое движение, то возможно добавление транзитного парка для грузовых поездов - $R_{бунк}(5)$.

В общем случае схема пассажирской станции с техническим парком с указанием параметров, характеризующих бункеры в модели, представлена на рисунке 7.

Пассажирский парк $R_{бунк}(1)$ включает следующие параметры: $(np_1 \dots np_x)$ - типы всех пассажирских поездов, обслуживаемых в $R_{бунк}(1)$ где e - ёмкость, соответствующая числу перронных путей, lok - число маневровых локомотивов, br_n - число бригад операций обслуживания пассажирского поезда (осмотр, заправка водой и тд.), где n - вид операции обслуживания. Горловины парка характеризуются параметрами, где cp - число одновременно возможных параллельных операций. В техническом парке пассажирской станции $R_{бунк}(2)$ обслуживаются составы, относящиеся к диапазону $(np_{n+1} \dots np_x)$. Здесь e - ёмкость, соответствующая числу путей для отстоя, r - ёмкость, соответствующая числу путей для экипировки составов. br_a - соответствует числу бригад обслуживания, где параметр a - вид операции обслуживания в техническом парке.

Пригородный парк $R_{бунк}(3)$ характеризуется параметрами $(np_1 \dots np_n)$, обозначающими множество категорий пригородных поездов, за исключением поездов дальнего следования, т.к. они не обслуживаются в $R_{бунк}(3)$ и $R_{бунк}(4)$. Парк отстоя пригородных поездов $R_{бунк}(4)$ имеет схожую характеристику, но параметр s в этом случае обозначает количество путей для межрейсового отстоя пригородных поездов.

Характеристики парка $R_{бунк}(5)$ как парка по обслуживанию транзитных грузовых поездов описаны в разделе 3.1 данной статьи.

Операции технологической цепочки перемещения типового технологического процесса работы пассажирской (пассажирской технической) станции после формализации $R_{неп}(t)$ имеют $t = 1-10$: 1 – приём пассажирского поезда, 2 – заезд маневрового локомотива, 3 – отцепка беспересадочных, почтовых вагонов, 4 – уборка поездного локомотива, 5 – перестановка состава на пути отстоя/экипировки в технический парк, 6 – перестановка экипированного состава в пассажирский парк, 7 – подача поездного локомотива, 8 – уборка маневрового локомотива, 9 – прицепка беспересадочных, почтовых вагонов, 10 – отправление поезда. Операции без перемещения $R_{неп}(t)$ имеют $t = 1-4$ могут быть следующие: 1 – техническое обслуживание состава в парках станции, 2 – смена локомотивной бригады, 3 – пассажирские операции, 4 – экипировка составов.

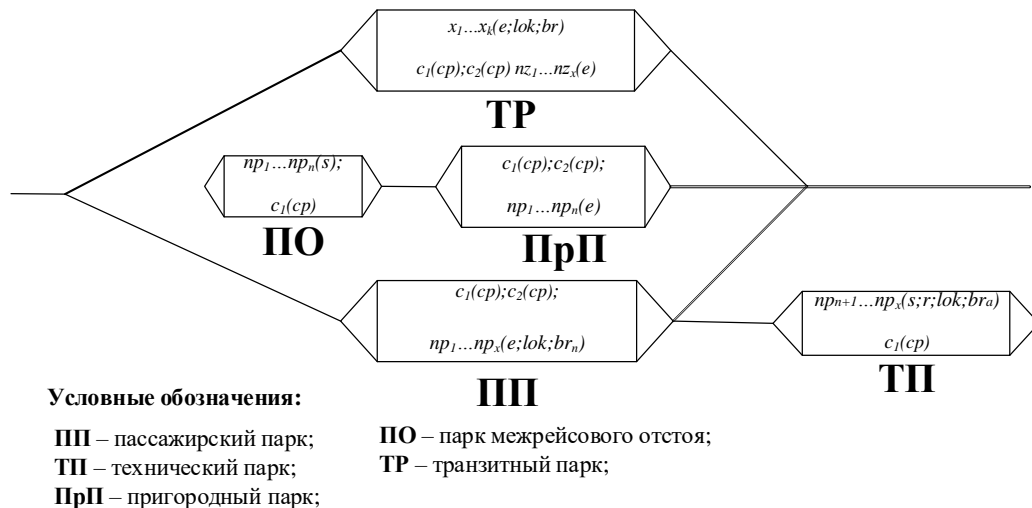


Рис. 7. Типовая схема модели пассажирской-технической станции с транзитным парком

3.4 Припортовая (грузовая) станция

Типовой модуль припортовой станции включает в себя: приёмо-отправочные парки $R_{бунк}(1-2)$, где происходит приём и отправление поездов категорий $(nz_1 \dots nz_x)$, осмотр $A_1(b)$ и приёмо-сдаточные операции $A_2(b)$, имеются горловины $(c_1; c_2)$, занимаемые во время маневровых операций $A_{16}(x_1(p; k); x_2)$ маневровыми локомотивами $A_1(v)$; районные парки $R_{бунк}(3-4)$ для более детальной подборки подач вагонов на ряд путей необщего пользования $R_{бунк}(5-9)$, основной характеристикой которых является $A_6(t)$ и $A_6(n_1)$. Бункеры $R_{бунк}(1-4)$, обладают параметрами $x_1 \dots x_k(e; lok; br)$, $c_1; c_2(ch)$, $nz_1 \dots nz_{11}(e)$, бункеры $R_{бунк}(5-9)$ имеют $x_1(e; lok)$, а также $c_1(ch)$ и $nz_x(e)$. Парки соединены между собой с помощью соединений $R_{соед}(l)$. При этом система расформирования и формирования поездов включает в себя элементы сортировочного модуля – $R_{бунк}(10)$ сортировочная горка (СГ), $R_{бунк}(11)$ сортировочный парк (СП), и $R_{бунк}(12)$ вытяжные пути формирования (ВФ).

Технологические операции по перемещению транспортного потока задаются следующими вектор-функциями (для поездов, поступающих в расформирование): $R_{неп}(t)$ ($t = 1-13$): 1 – приём поезда, 2 – перемещение подачи под выгрузку, 3 – перемещение подачи под погрузку, 4 – уборка подачи из-под выгрузки, 5 – уборка подачи из-под погрузки, 6 – перестановка вагонов на выставочные пути, 7 – перемещение одиночного маневрового локомотива, 8 – проследование маршрутного поезда на пути необщего пользования, 9 – уборка поездного локомотива, 10 – уборка вагонов с выставочных путей, 11 – отправление поезда из приёмо-отправочного парка, 12 – отправление маршрутного поезда с путей необщего пользования, 13 – подформирование на вытяжных путях.

Технологические операции в бункерных элементах $R_{б.неп}(t)$ включают в себя ($t = 1-9$): 1-5 – выгрузка (погрузка) различных категорий грузов, 6 – техническое обслуживание составов, 7 – приёмо-сдаточные операции, 8 – расформирование на вытяжном пути, 9 – отстой вагонов в районных парках.

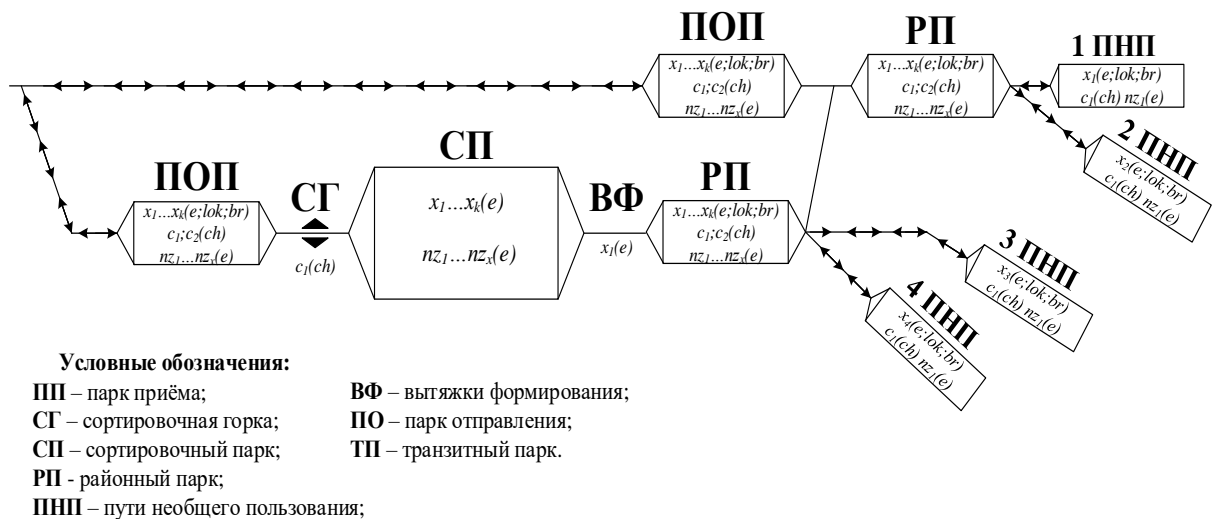


Рис. 8. Схема тупиковой припортовой станции

3.5 Снимаемые с модели зависимости

В целях решения практических эксплуатационных задач, в частности по определению надёжности работы комплекса расформирования (H) и задержек (t_3), возникающих при различных конфигурациях входящего потока в расформирование и формируемого потока, проведён ряд экспериментов для получения графиков расчётных зависимостей (на примере односторонней сортировочной станции с последовательным расположением парков). Также получены зависимости для модели, включающих развязку противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе к сортировочной станции.

Данные по сериям модельных экспериментов были обработаны стандартными методами регрессионного анализа и представлены в виде графиков следующих зависимостей:

- надёжности комплекса расформирования от коэффициента занятости по времени путей парка приёма;
- надёжности комплекса расформирования от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (с учётом загрузки входного участка и развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе) (рисунок 9);
- среднее время задержки разборочного поезда на подходе от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (для задерживаемых поездов и в среднем для поездопотока);
- среднее время задержки разборочного поезда на подходе от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (с учётом загрузки входного участка и развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе) (для задерживаемых поездов и в среднем для поездопотока) (рисунок 10);
- среднее время задержки на подходе, приходящегося на один задерживаемый разборочный поезд, в зависимости от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (с учётом загрузки входного участка и развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе) (рисунок 11);
- технически допустимой загрузки парка отправления от средневзвешенного простоя отправляемых поездов;
- времени ожидания отправления поезда своего формирования от загрузки выходного участка при разном числе поездов своего формирования.

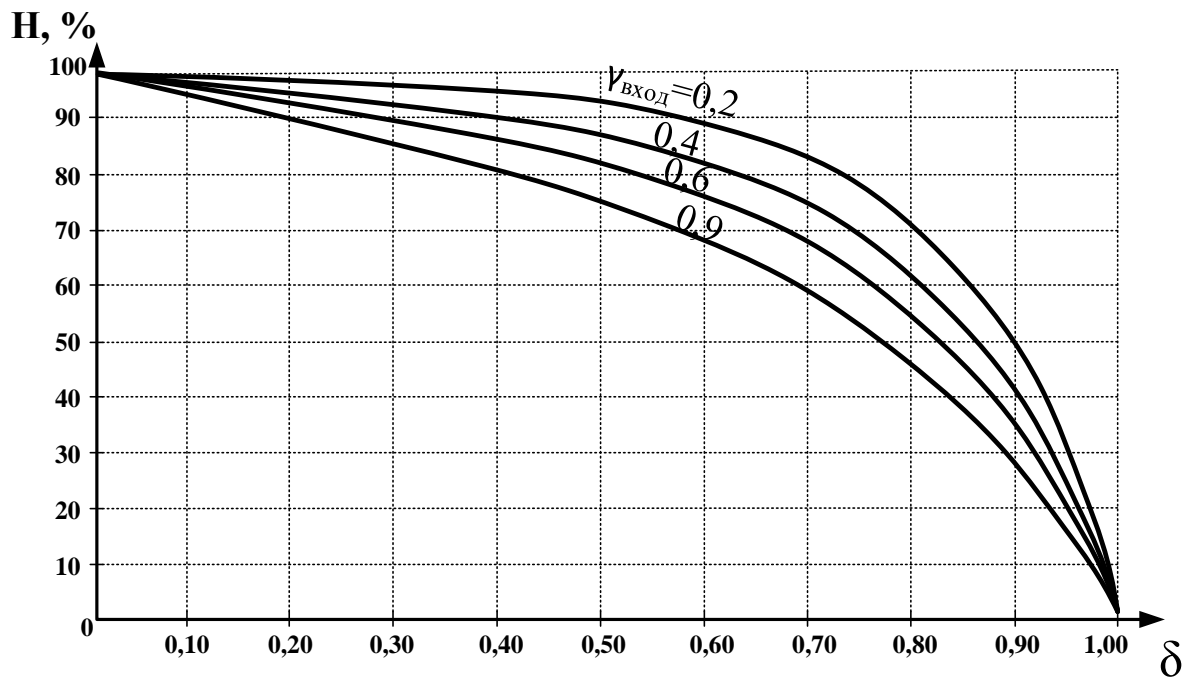


Рис. 9. Номограмма для определения надёжности (H) работы комплекса расформирования в зависимости от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (δ) и загрузки входного участка $\gamma_{\text{вход}}$ (с развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе)

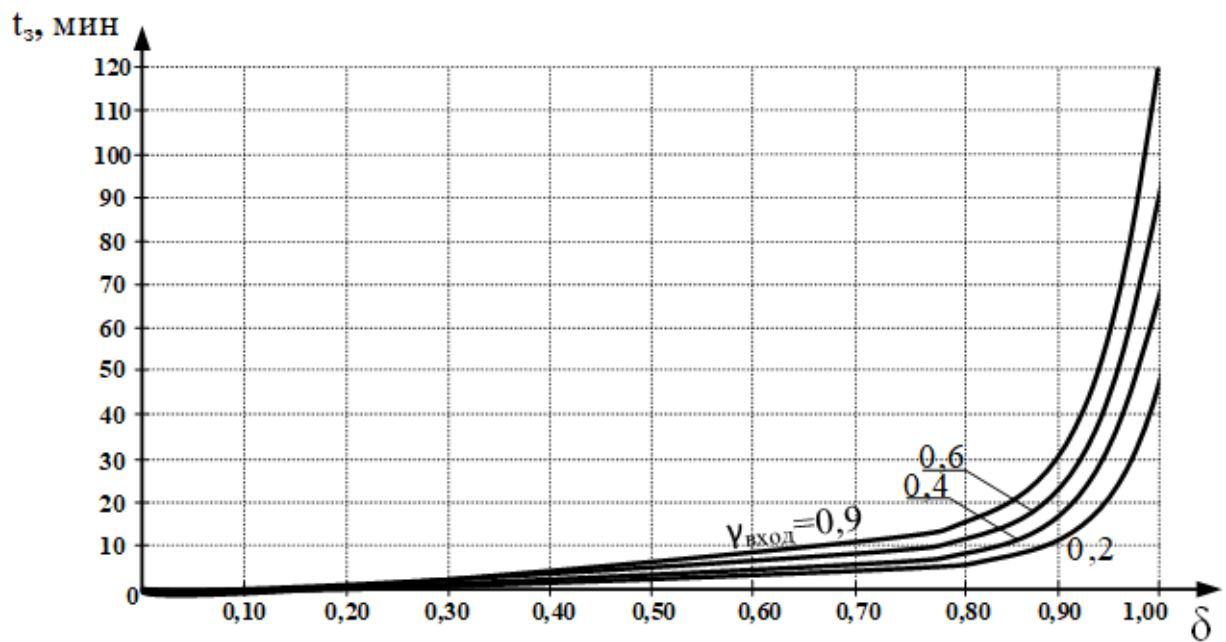


Рис. 10. Номограмма для определения среднего времени задержки на подходе t_3 , приходящегося на один разборочный поезд (от общего числа), в зависимости от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (δ) и загрузки входного участка $\gamma_{\text{вход}}$ (с развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе)

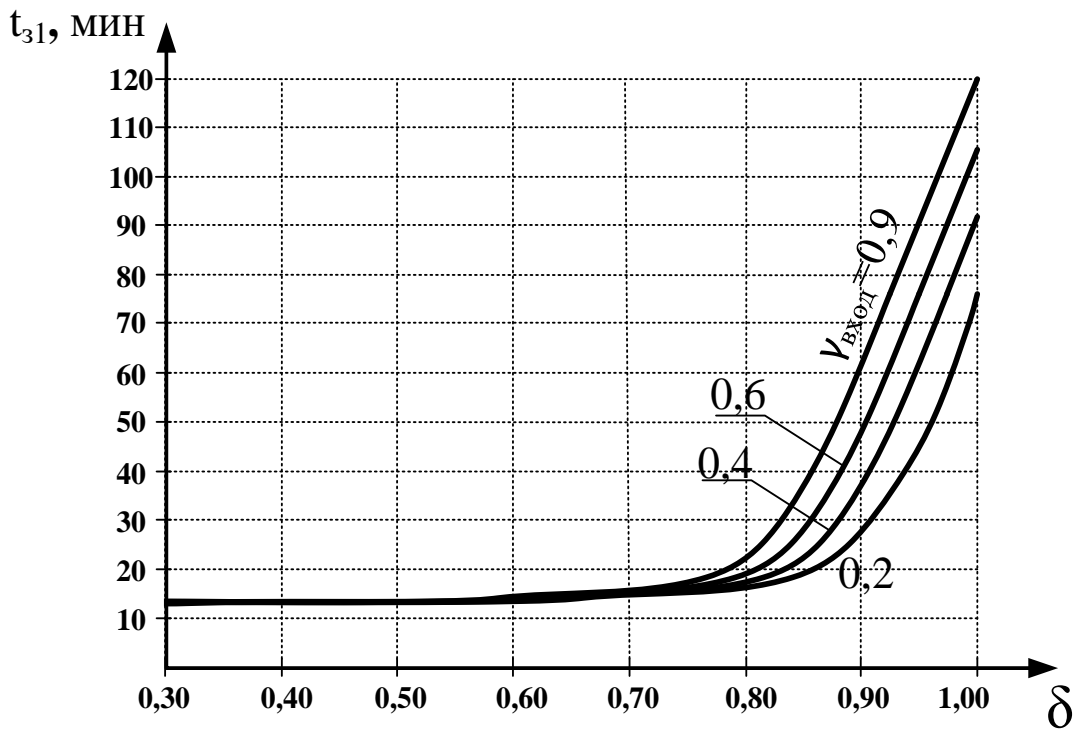


Рис. 11. Номограмма для определения среднего времени задержки на подходе t_{31} , приходящегося на один задерживаемый разборочный поезд, в зависимости от коэффициента занятости по времени путей парка приёма (δ) и загрузки входного участка $\gamma_{\text{выход}}$ (с развязкой противоположно направленных потоков в одном уровне на подходе)

В целях изучения принципов работы припортового узла и проверки работоспособности моделируемого объекта проведён ряд экспериментов, подтвердивших предположения. Так, снижение среднего размера подачи на путь необщего пользования уменьшило время нахождения вагонов в районном парке (рисунок 12). Однако продолжительность задержек при маневровых передвижениях в горловине районного парка (рисунок 13) растёт в этом случае быстрее – увеличивается количество передвижений маневровых локомотивов.

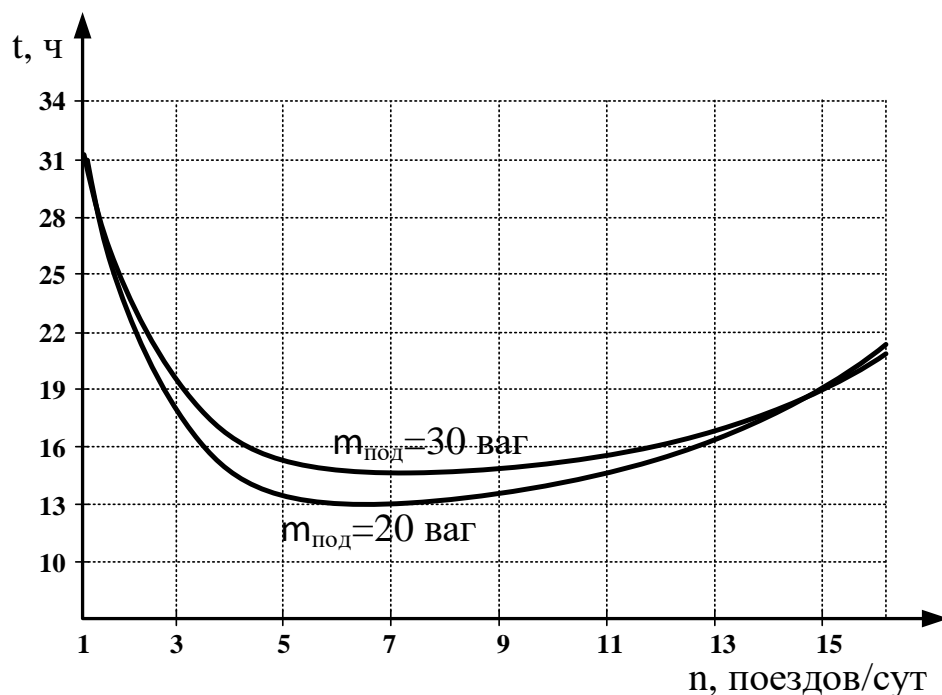


Рис. 12. График изменения зависимости среднего времени нахождения 1 вагона в РП (t) от среднего размера подачи ($m_{\text{под}}$) на ПНП и поступающего среднесуточного поездопотока (n)

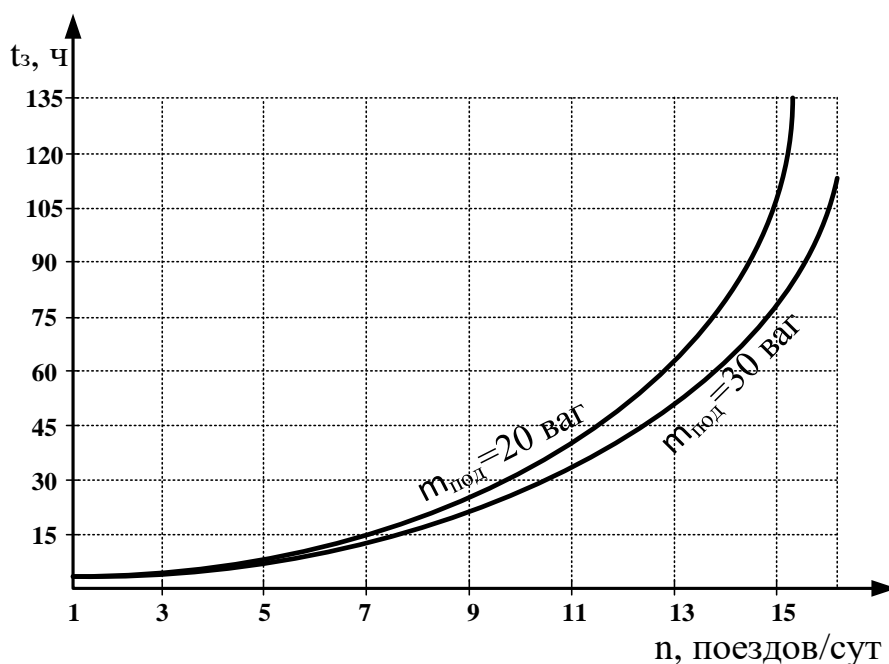


Рис. 13. График изменения зависимости суммы задержек технологических операций в горловине РП, примыкающей к ПНП (t_z), от среднего размера подачи ($m_{под}$) и поступающего среднесуточного поездопотока (n)

Выводы

Изменение объёмов перевозок на сети железных дорог России вызывает необходимость проработки вариантов развития инфраструктуры крупных железнодорожных узлов и сравнение вариантов изменения технологии работы узла. Средством решения данных задач на различных этапах эксплуатации является имитационное моделирование посредством системы ИМЕТРА. В работе предложена методика разработки типовых модулей имитационного расчета крупных железнодорожных узлов с описанием структуры и технологии работы модели в виде вектор-функций. Рассмотрены четыре типа типовых модулей: сортировочная (участковая), пассажирская, припортовая (грузовая) станции, а также развязки и соединительные ветви. Выполнена актуализация зависимостей надёжности работы комплекса расформирования и задержек на односторонней сортировочной станции. Основной научный вклад работы заключается в разработке типовых модулей имитационного расчета крупных железнодорожных узлов и нахождении новых расчётных зависимостей, полученных посредством имитационного моделирования. Полученные результаты внедрены при разработке Инструктивных указаний по организации вагонопотоков [10].

Двойственную технико-технологическую природу узла (подразделения железнодорожной сети) характеризуют, с одной стороны, компоненты типовой инфраструктуры и железнодорожных операций и, с другой стороны, уникальные технико-технологические особенности. В работе предложено усовершенствование процесса разработки и отладки моделей сложных узлов с помощью компоновки типовых модулей из конструктора и последующей настройки технологических процессов с учетом индивидуальных особенностей работы узла, что позволяет ускорить разработку модели и повысить её качество. Моделирование управления продвижением потоков в модели будет рассмотрено в самостоятельной публикации.

Литература

1. Козлов П.А., Колокольников В.С., Сорокин В.И. Совместное использование аналитических методов и имитационных моделей. – Транспорт Урала, 2016. - № 3. – С. 3 – 8.
2. Под ред. Скалова К.Ю., Стефаненко М.Н., Попова Н.Ф. Транспортные узлы (Определение мощности устройств). – М.: Транспорт, 1985. – 200 с.
3. Правдин Н.В., Банек Т.С., Негрей В.Я. и др. Железнодорожные станции и узлы (задачи, примеры, расчеты) – М.: Транспорт, 1984. – 296 с.
4. Маслов А.М. Техничко-технологические параметры функционирования грузовых станций железнодорожного транспорта в условиях стохастического характера вагонопотока диссертация

5. *Лещинский Е.* Имитационное моделирование на железнодорожном транспорте. – М.: Транспорт, 1977. – 176 с.
6. *Бородин А.Ф.* Эффективно использовать станционные мощности. // Железнодорожный транспорт, 2006. - № 6. – С. 37–43.
7. *Козлов П.А., Набойченко И.О.* Исследование на макромодели полигона при организации тяжеловесного движения. – Моделирование транспортных процессов, 2016. - № 1. – С. 104 – 109.
8. Методика проведения исследований проектов развития железнодорожных станций и линий с определением «узких мест», влияния на пропускные и перерабатывающие способности, рациональной технологии и прогнозируемых эксплуатационных показателей с использованием аппарата математического моделирования / ОАО «РЖД»: [Утверждена распоряжением ОАО «РЖД» N 2р от 09.01.2018 г.]. – М., 2018. – 75 с.
9. *Козлов П.А., Тушин Н.А., Пермикин В.Ю., Слободянюк И.Г.* Технология макромоделирования транспортных узлов. – Транспорт Урала, 2014. - № 3. – С. 3 – 6.
10. Инструктивные указания по организации вагонопотоков на железных дорогах ОАО «РЖД» / Утверждены распоряжением ОАО «РЖД» N 2872р от 29.12.2018 г. [Текст]. М., 2018. – 548 с.