

На правах рукописи

М.С. Слободянюк

Слободянюк Инна Геннадьевна

**ТЕХНОЛОГИЯ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

– 6 фев 2019



008700454

Екатеринбург – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО УрГУПС)

Научный руководитель – доктор технических наук
Тушин Николай Андреевич

Официальные оппоненты:

Рахмангулов Александр Нельевич, доктор технических наук, доцент – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», кафедра «Логистики и управления транспортными системами», профессор.

Климов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения», кафедра «Железнодорожные станции и узлы», доцент.

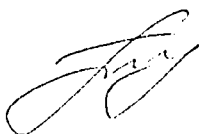
Ведущая организация – Акционерное общество «Институт экономики и развития транспорта» (АО «ИЭРТ»).

Защита диссертации состоится 22 марта 2019 г. в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 218.013.01 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: 620034, Екатеринбург, ул. Колмогорова, д. 66, ауд. Б2-15 – зал диссертационного совета.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уральский государственный университет путей сообщения» по адресу: <http://www.usurt.ru>.

Автореферат диссертации разослан « ____ » _____ 201_ г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимухина Е.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень ее разработанности. В современных условиях повышается роль экономических критериев, поэтому уделяется все большее внимание совершенствованию методов оценки проектов. Об этом говорится и в Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года: для обеспечения экономической эффективности необходимо «проведение имитационной экспертизы инвестиционных проектов развития транспортной инфраструктуры (в особенности крупных транспортных узлов), создание имитационных систем, ... комплексное исследование на моделях функционирования проектируемых транспортных объектов с выдачей их реальной пропускной способности, "узких мест" и показателей работы». Наилучшим методом оценки такого рода проектов является имитационная экспертиза, то есть исследование проектируемого объекта на подробной имитационной модели. К настоящему времени был накоплен значительный опыт моделирования железнодорожных станций. Однако даже в транспортных узлах, где станции работают в тесном взаимодействии и существенно влияют друг на друга, они зачастую рассматривались на моделях обособленно, так как строить подробную модель всего узла представлялось проблематичным.

В диссертации предлагается технология макромоделирования станций и узлов, которая позволяет получать содержательные результаты и оценивать проекты развития крупных железнодорожных объектов в целом.

В качестве **объекта исследования** выбраны железнодорожные станции. На их базе проводится сравнительный анализ подробных и укрупненных моделей.

Предметом исследования является технология расчета железнодорожных станций на укрупненных моделях.

Целью исследования являлась разработка принципов укрупненного отображения структуры и технологии транспортных объектов, служащих основанием для создания имитационной системы, а также разработка технологии макромоделирования.

Задачи исследования. Для реализации цели потребовалось решить следующие задачи:

- предложить новый, отличный от структурного, способ отображения железнодорожных станций в имитационной модели;
- установить способ отображения пропускной способности горловин и парков станций в имитационной макромодели;
- выполнить расчеты на подробных имитационных моделях предельной функциональной емкости различного типа парков путей;
- определить зависимости темпа накопления готовых составов в сортировочных парках от уровня их заполнения;

- разработать методику отображения технологических процессов в укрупненной имитационной модели;
- проверить технологию имитационного макро моделирования путем сравнения результатов работы подробных и укрупненных моделей одних и тех же станций.

Научная новизна исследования. В диссертации впервые разработаны принципы и технология макро моделирования крупных объектов железнодорожного транспорта, на основе которых можно строить имитационные системы макро моделирования. В том числе:

- разработан принцип функционального описания параметров структурных элементов железнодорожных станций, заменяющий непосредственное отображение физической структуры при построении укрупненной модели;
- предложен новый термин «виртуальный канал», отражающий число возможных параллельных передвижений;
- сформулирована и обоснована гипотеза об уровне загрузки горловины на основе числа занятых виртуальных каналов;
- разработаны методические основы расчета предельной функциональной емкости парков различных типов для использования в укрупненной модели вместо их физической вместимости;
- разработана технология построения технологических операций и элементарных процессов в укрупненной модели;
- определен характер выдаваемых результатов, обладающих необходимой информативностью для целей макро моделирования.

Теоретическая значимость исследования заключается в разработке технологии макро моделирования железнодорожных станций и узлов на основе функционального способа описания их структуры, укрупненного отображения технологии. Это является вкладом в теорию имитационного моделирования на транспорте.

Практическая значимость. Разработанная в диссертации технология макро моделирования даст возможность содержательно оценивать проекты развития транспортных узлов и проводить имитационные эксперименты по совершенствованию их структуры и технологии.

Методология исследования базируется на использовании аппарата оптимизации, теории принятия решений, теории случайных процессов, теории множеств и методологии имитационного моделирования.

Методической основой явились труды ведущих учёных отрасли в области расчёта транспортных систем, технологии работы транспорта и методов их моделирования В.М. Акулиничева, А.Э. Александрова, В.И. Апатцева, А.П. Батурина, А.Ф. Бородинна, Н.П. Бусленко, И.П. Владимирской, Ю.В. Дьякова, Ю.И. Ефименко, П.А. Козлова, В.А. Кудрявцева, О.В. Осокина, В.А. Персианова, В.Ю. Пермикина, Н.В. Правдина, С.М. Резера, А.Н. Рахмангулова; Е.А. Сотникова,

И.Б. Сотникова, Е.Н. Тимухиной, Н.А. Тушина, В.А. Шарова, а также разработки ведущих научных организаций отрасли.

Результаты исследования, выносимые на защиту:

- принцип функционального описания параметров структурных элементов железнодорожных станций;
- способ задания функциональных возможностей горловин парков на основе числа возможных передвижений;
- способ расчета предельной функциональной емкости парков путей различного типа;
- способ определения зависимости темпа накопления готовых составов в сортировочных парках от уровня их заполнения;
- технология построения технологических операций и элементарных процессов в укрупненной модели.

Степень достоверности исследования и апробация результатов, выводов и рекомендаций подтверждается логичным построением процесса исследования, корректным использованием математических методов и оптимизирующих процедур, а также экспериментальными расчётами и внедрением результатов исследования в практику.

Основные положения диссертации обсуждались на заседаниях кафедры «Управление эксплуатационной работой» (УрГУПС) и на научно-практических конференциях: «Интеграция образовательной, научной и воспитательной деятельности в организациях общего и профессионального образования» (Екатеринбург, 2017), «Современные концепции научных исследований» (Москва, 2014), «Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами на транспорте» (Москва, 2014), «Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом» (Москва, 2014).

В целом результаты диссертационного исследования представлены и получили одобрение на заседании кафедры «Управление эксплуатационной работой» (УрГУПС) 10 октября 2018 г.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 6 работ, в том числе 3 – в ведущих изданиях, входящих в Перечень изданий, рекомендованных ВАК для публикации научных результатов диссертаций.

Структура и объём диссертации. Работа содержит 184 страницы машинописного текста, включая 121 рисунок и 40 таблиц. Структура диссертации включает: введение, 5 глав основного текста, заключение, список использованной литературы (102 наименования).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении даётся обоснование актуальности темы, степень ее разработанности, формируются цели и основные задачи, приводится научная новизна,

теоретическая и практическая значимость, методика исследования, положения, выносимые на защиту, достоверность и апробация результатов.

В главе 1 приводится анализ процесса развития и современного состояния методов расчета железнодорожных станций, а также запросов практики по расчету проектируемых станций и узлов. Анализ существующих методов расчета позволяет сделать вывод, что имитационное моделирование является наиболее адекватным. Детальное, подробное моделирование железнодорожных узлов трудноосуществимо и не нужно. При моделировании узла главной задачей является оценка роли и характера взаимодействия станций. Расширение применения имитационного моделирования требует разработки принципов макро моделирования крупных железнодорожных объектов.

В главе 2 рассматриваются теоретические основы построения имитационных моделей. Имитационные модели, так же как другие средства и методы, обладают рядом недостатков. Существенное снижение трудоемкости процесса создания имитационных моделей может обеспечить совершенствование специализированных программ.

В настоящее время в России существуют имитационные системы для моделирования объектов железнодорожного транспорта (станций, узлов, полигонов) разработки разных организаций:

- система моделирования станций Aurora (Ленгипротранс);
- система моделирования станций ИСУЖТ ТС (НИИАС);
- различные системы построения прогнозных графиков движения поездов и планирования железнодорожных перевозок.

В исследовании для построения имитационных моделей выбрана система ИСТРА. Эта специализированная система включает встроенные процедуры оптимизации, в процессе ее разработки и применения на практике накоплен серьезный опыт, в системе отработаны и успешно применяются методы устранения основных недостатков, присущих моделированию. Модель в системе ИСТРА представляет собой упорядоченное множество элементов физической структуры станций, множество технологических операций и операторов управления.

Для реализации метода макро моделирования требуется укрупнить элементы структуры, не теряя при этом функционал и системные свойства станций. В функциональном смысле возможность пропуска потока определяется величиной загрузки. Необходимо выбрать метод расчета загрузки горловины, состоящей из десятков стрелок.

Функциональным параметром горловины является число возможных передвижений, то есть число «виртуальных каналов». Число занятых «каналов» будет характеризовать загрузку горловины. Применение такого показателя вызывает вопросы, связанные с практикой организации выполнения технологических операций. Вывод о его функциональной значимости необходимо проверить экспериментально на моделях.

Работа станции в модели представляется в виде набора операций. Технологические операции имитируют продвижение определенного потока в пространстве и времени. Укрупнение элементов в макромодели приведет к сокращению набора записей в операциях. Дополнительные возможности даст переход при создании модели с уровня операций на уровень процессов, что существенно снизит трудозатраты пользователя.

При макроmodellировании операция переносит часть потока из одного сектора в другой. При этом отображается занятость канала обработки – грузового фронта, горки, бригады. Парк в общем случае можно разделить на две части: входную – вагоны до обработки, и выходную – вагоны после обработки. Каждая часть может состоять из нескольких секторов в случае многоструйного потока. В выходной части будут находиться составы, сформированные для отправления, или вагоны, подготовленные для перестановки в другой парк. Например, в предгорочном парке (Рисунок 1) операция переносит состав из сектора S1 в сектор S2 с занятием бригады. Емкость двух секторов в сумме не должна превышать предельной функциональной ёмкости парка.

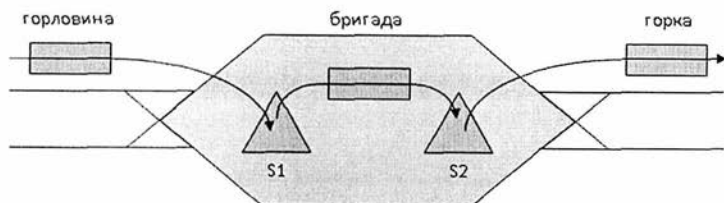


Рисунок 1 – Макроmodellирование работы предгорочного парка

Функциональный подход применяется и при моделировании парков. Вместо физической вместимости задается предельная функциональная ёмкость, такая, при которой парк еще сохраняет свои функциональные возможности. Функциональная ёмкость парка (q , ваг.) всегда меньше физической ёмкости (Q , ваг.):

$$q = \alpha Q,$$

где α – коэффициент соотношения.

Для парков разного типа соотношение функциональной ёмкости и физической будет различным. Влияние разнообразных факторов приводит к тому, что значение коэффициентов соотношения для различных парков следует определять экспериментами на подробных моделях по величине недопустимых задержек.

При отказе от отображения отдельных путей возникают особенности моделирования работы сортировочного парка. Частота появления готовых составов зависит от уровня заполнения парка:

$$M(t) = f(q(t)),$$

где $M(t)$ – математическое ожидание числа появившихся готовых составов после очередного отпуска;

$q(t)$ – число вагонов в сортировочном парке.

Конкретное число – это результат работы случайного датчика на основе $M(t)$. Эти закономерности необходимо также получить из имитационных моделей сортировочных станций.

На основе представленных теоретических исследований можно сформировать принцип функционального описания структурных элементов транспортных систем. Такой подход обладает научной новизной и отвечает требованиям к научной гипотезе. Следствия, выводимые из гипотезы, должны поддаваться опытной проверке. Другой формой проверки является формирование разных гипотез об одном и том же явлении и исключении тех из них, выводы которых противоречат фактам. Методика проведения исследования представлена на схеме (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Схема организации исследований

Общая идея опытно-экспериментальной проверки заключается в сравнении результатов расчетов на экспериментальной макромодели и стандартной имитационной микромодели при одинаковых исходных данных.

Проверка достоверности гипотезы на основе сравнения с другими гипотезами сводится к определению в ходе проведения экспериментов уровня задержек, вызванных наиболее загруженными стрелками.

В главе 3 приведены результаты экспериментальной проверки на имитационных моделях функциональной значимости показателя «число возможных параллельных передвижений».

Пропускная способность горловин будет определяться числом возможных параллельных передвижений (числом виртуальных каналов), а также числом использованных каналов в операциях технологического процесса. Технология построения параллельных передвижений и анализ функциональных возможностей горловин представлена на примере модели сортировочной станции. Выполняемые операции – прием и отправление поездов, маневровая работа по формированию и расформированию составов, подача и уборка вагонов на грузовые фронты. Максимально возможное число передвижений (виртуальных каналов) в горловине – шесть (Рисунок 3).

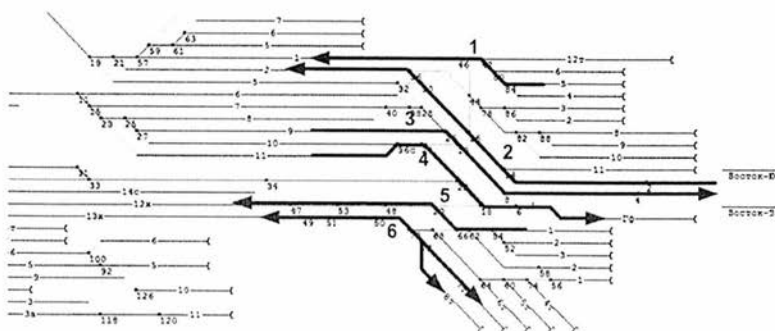


Рисунок 3 – Шесть параллельных маршрутов в горловине станции
Сортировочная

На рисунке 3 представлены маршруты шести одновременных передвижений: 1 – подача локомотива из депо, 2 и 3 – прием и отправление поездов, 4 –

взвешивание вагонов, 5 – перестановка вагонов из тепляка, 6 – маневровая работа по перестановке вагонов на повышенном пути.

При выполнении некоторой операции занимаются вполне определенные виртуальные каналы (Таблица 1).

Таблица 1 – Число виртуальных каналов, занятых выполнением операции

Операция	Среднее количество операций в сутки	Количество занятых виртуальных каналов
Выезд локомотива из депо	12	1
Прием поезда на второй путь	5	1
Отправление поезда с 9 пути	2	3
Перестановка вагонов из тепляка	20	2
Формирование подачи	25	4
Расформирование подачи	12	4

Операция «формирование подачи» снимает наибольшее число передвижений и выполняется большое количество раз. Соответственно, она вызывает много задержек.

В диссертации приведен аналогичный анализ ряда других станций. И хотя технология работы отличается, к ним при макромоделировании горловин можно применить тот же подход – фиксируется множество возможных параллельных передвижений и подмножества их, которые становятся недоступными при выполнении той или иной операции.

Для достижения большей статистической представленности в качестве объектов моделирования выбираются пять горловин, различных по характеру работы станций. Для каждой станции строятся две модели объекта. Первая модель строится стандартным микромоделированием с детальным отображением структуры. Во второй модели выделенная горловина будет представлена каналами передвижений.

Под функцией отклика понимается результирующая пропускная способность горловины. Для удобства исследований будет измеряться суммарное время задержек по операциям. Влияющими факторами являются: варианты технологии, величина входного потока, структура потока. Границы факторного пространства определяются на основе анализа действующего технологического процесса работы станции и колебаний потока. Для каждой станции задаются три

возможных варианта технологии. Эксплуатационные потоки заданы для максимальных, средних и минимальных размеров. Период расчета составляет 10 суток. Комбинация различных факторов является планом эксперимента.

Отклонение результатов, получаемых на сравниваемых моделях, по суммарным задержкам не превысило 6,3 %. По отдельным элементам расхождение колеблется в пределах 4 – 13 %, что можно считать приемлемым результатом.

В главе 4 раскрывается технология макро моделирования парков путей с применением функционального подхода. При построении микро модели парков отображается физическая структура. В качестве элемента модели используется бункер с ёмкостью, равной физической вместимости пути. В макро модели ставится задача минимизировать количество элементов. В предельном случае весь парк отображается одним бункерным элементом. Возникает задача определения количественной величины общей бункерной емкости парка. Предлагается задавать не физическую, а некоторую предельную технологическую емкость парка, при которой еще сохраняются его функциональные возможности. Коэффициент соотношения емкостей пересекается с понятиями: технически допустимый уровень загрузки путей парка; эксплуатационная надежность станции; резерв станционной мощности.

Для моделирования важно определить коэффициент соотношения функциональной и физической емкости парков. Очевидно, что для парков разного типа это соотношение будет различным. Принято считать, что допустимый уровень загрузки парков находится в пределах 70 – 80 процентов. Для оценки коэффициента соотношения необходимо провести исследования на подробных моделях станций.

Приведем пример экспериментального определения предельной функциональной емкости транзитного парка станции Курган. Выполняемые операции: прием и отправление поездов, маневровая работа по отцепке-прицепке групп вагонов, подача вагонов на грузовые фронты. Максимально возможное число вагонов в парке – 958 (Рисунок 4). Фактическое количество вагонов колеблется в пределах от 450 до 918. Среднее – 674. Использование полной вместимости парка 70 %.

На приведенном на рисунке 4 графике можно увидеть два всплеска в состоянии парка – число вагонов больше 800. В обоих случаях резко возрастают задержки по выходу, возрастают, хотя и менее значительно, задержки по входу. Функциональные свойства парка ухудшаются. На основе анализа статистики за

10 суток и динамики работы парка можно рекомендовать предельную функциональную емкость – 720 вагонов.

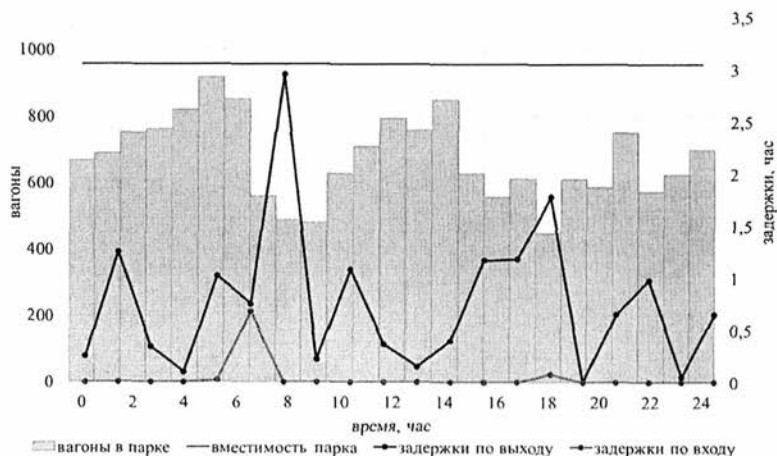


Рисунок 4 – Вагоны и задержки в транзитном парке станции Курган

В ходе исследования моделировались рабочие парки пяти станций. Технология работы и размеры входных потоков являлись дополнительными факторами экспериментов на моделях. Результаты исследований позволяют сделать вывод, что для всех типов парков средневзвешенное фактическое наличие вагонов не является информативным показателем. Соответственно, процент использования полной вместимости парка не стоит брать за основу определения функциональной емкости. Критические задержки в операциях, как правило, связаны с максимальным фактическим заполнением парка. Абсолютная величина задержек не является однозначным индикатором. Более информативным является соотношение максимального наличия вагонов к физической вместимости. Наблюдается зависимость между этой величиной и уровнем задержек в операциях.

Анализ результатов моделирования работы парков позволяет сделать вывод, что парки приема и парки формирования более сбалансированы в техническом и технологическом смысле, имеют более ровные коэффициенты соотношения. Транзитные парки не однородны по соотношению использования полной вместимости и уровню задержек в операциях. Просматривается некоторая группировка парков. Это требует дополнительных дальнейших исследований. У парков отправления наблюдается более низкий процент использования полной

вместимости, что связано с неполным учетом в модели влияния участка примыкания.

В целом, для определения функциональной емкости просматривается следующая последовательность действий:

1. Анализ путевого развития парка: исключение из расчета путей, не участвующих в операциях;
2. Анализ действующей технологии: исключение из расчета главных путей, путей пропуска пассажирских поездов, ходовых путей;
3. Определение физической емкости парка;
4. Выделение логических элементов в модели парка;
5. Анализ эксплуатационных характеристик парка: определение соотношения максимального фактического количества вагонов в парках к физической вместимости;
6. Определение коэффициента соотношения: корректировка коэффициента максимальной загрузки;
7. Расчет функциональной емкости парка.

На стартовом этапе моделирования величину функциональной емкости парков можно определить с помощью рекомендованных коэффициентов соотношения (Таблица 2).

Таблица 2 – Коэффициенты соотношения физической и функциональной емкостей парков

Тип парка	Критические задержки	Средняя за- полненность парков, %	Максималь- ная заполнен- ность парков, %	Рекомендуемый коэффициент соотношения
Приема	По выходу	30 – 50	40 – 75	0,8
			75 – 85	0,7
			85 – 95	0,65
Формирования	По входу	40 – 60	до 50	0,5
			50 – 90	0,75
			90 – 95	0,9
Транзитный	По выходу	50 – 70	до 70	0,6
			70 – 95	0,75
Отправления	По входу и по выходу	30 – 40	40 – 70	0,6

Особенностью моделирования сортировочного парка является необходимость отображения процесса накопления составов. Для определения зависимости темпа накопления готовых составов от уровня заполнения парка также проведены эксперименты на подробной имитационной модели. Для примера рассмотрен процесс появления накопившихся составов в парке формирования станции Дема на направление Иглино. Динамика числа вагонов в парке и частота появления накопившихся составов представлена на рисунке 5.

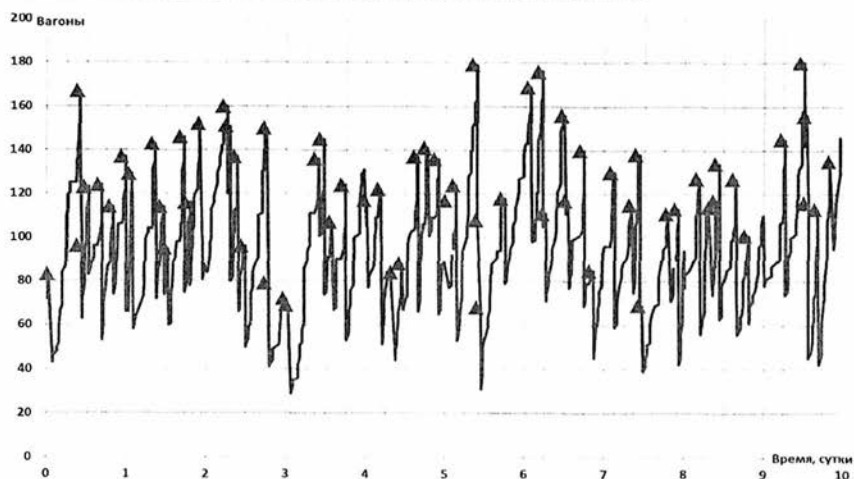


Рисунок 5 – Динамика вагонов направления «Иглино» за 10 суток с моментами накопления

Обработанная статистика появления накопленных составов приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Вероятность накопления в четном направлении «Иглино»

Количество вагонов в парке формирования	Количество операций	Количество накопленных составов	Вероятность накопления
35-51	12	0	0,00
52-68	28	1	0,04
69-85	60	6	0,10
86-102	74	5	0,07
103-119	70	17	0,24
120-136	38	13	0,34
137-153	30	14	0,47
154-170	10	5	0,50
171-180	3	3	1,00

На основании полученных данных построена диаграмма (Рисунок 6)

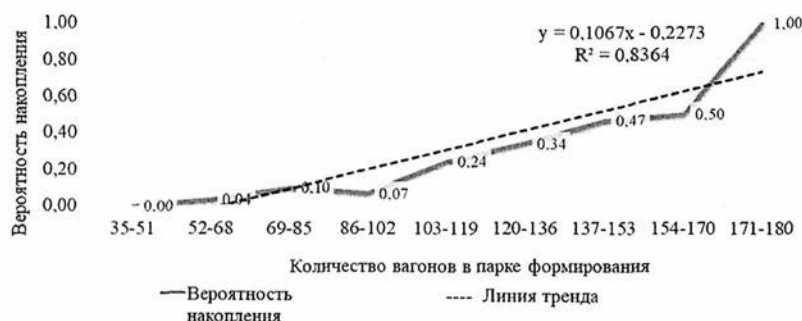


Рисунок 6 – Вероятность накопления составов направления «Иглино»

В главе 5 выполняется сравнительный анализ процесса построения модели и информативности результатов в двух типах моделирования.

В макро моделировании схема станции задается не детально, а укрупнено, элементами являются парки и горловины (Рисунок 7).

Технологический процесс строится в виде последовательности операций с укрупненными структурными элементами, но в результатах операции заменяются элементарными процессами. На таком уровне удобнее анализировать технологию целого узла.

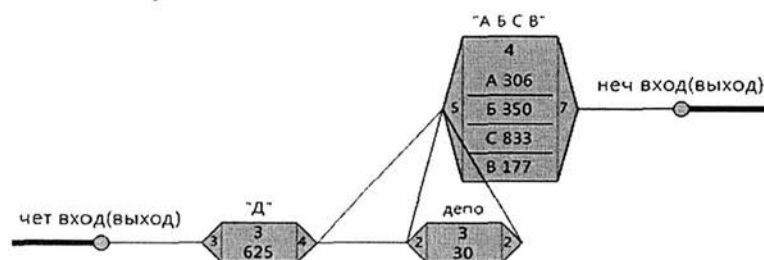


Рисунок 7 – Схема станции при макро моделировании

Проверку корректности работы макро модели следует проводить сопоставлением результатов двух типов моделирования одной и той же станции. Такая проверка для конкретной станции показала высокую степень совпадения сопоставимых результатов (Таблицы 4 и 5).

Материал приведенных таблиц позволяет сделать заключение, что макро модель работает корректно и макро моделирование имеет право на существование.

Таблица 4 – Время нахождения вагонов на станции (час)

Парк	Микромодель	Макромодель	Отклонение
А	2,3	2,13	0,17
Б	2,7	3,0	0,3
В	1,77	1,6	0,17
С	9,6	8,9	0,7
Д	2,52	2,77	0,22
Станция	3,9	3,7	0,2

Таблица 5 – Задержки (составо-час)

Парк	Микромодель	Макромодель	Отклонение
А	1,83	2,01	0,18
Б	1,92	1,82	0,1
В	0,07	0,1	-0,03
С	1,99	1,8	0,19
Д	10,09	9,55	0,54

Следует отметить высокую информативность результатов макро моделирования. Впервые можно определить загрузку горловины по числу занятых виртуальных каналов (Рисунок 8). Ведь по загрузке отдельных стрелок этого сделать нельзя. Представляет функциональный интерес и загрузка отдельных каналов и задержки из-за них.

элемент	задержка и загрузка	
левая горловина парка "А Б С В"[К.]	26:45	43,8 %
Канал ЛГ 4 п. "А Б С В"[Карымская]	7:01	11:58
Канал ЛГ 2 п. "А Б С В"[Карымская]	5:54	10:52
Канал ЛГ 1 п. "А Б С В"[Карымская]	5:13	9:09
Канал ЛГ 5 п. "А Б С В"[Карымская]	4:23	12:00
Канал ЛГ 3 п. "А Б С В"[Карымская]	4:13	8:34
левая горловина парка "Д"[Карым.]	9:07	34 %
Канал ЛГ 2 п. "Д"[Карымская нов]	6:24	10:59
Канал ЛГ 1 п. "Д"[Карымская нов]	1:31	6:10
Канал ЛГ 3 п. "Д"[Карымская нов]	1:11	7:18

Рисунок 8 – Показатели работы горловины в макро модели

В диссертационном исследовании экспериментально проверялся принятый в Инструкции по расчету пропускной способности станций подход по определению пропускной способности горловин по наиболее загруженной стрелке. Для этого в ходе имитационного моделирования горловин фиксировались уровни загрузки отдельных стрелочных зон и вызванные этими элементами задержки в выполнении операций.

На рисунке 9 приведено сравнение показателей для горловины сортировочной станции. Прямой зависимости задержек от загрузки не наблюдается. Принятый подход является не совсем корректным. Наиболее загруженная стрелка не всегда является «узким» местом. С другой стороны, исчерпание пропускной способности станции в целом в некоторых случаях наблюдалось при максимальной загрузке стрелок в 47 %.

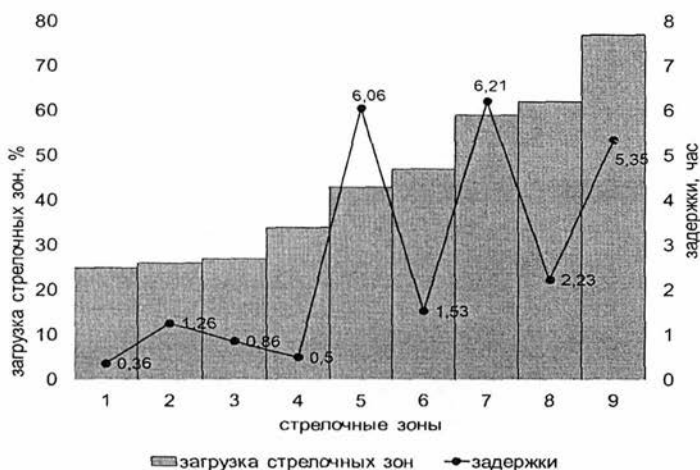


Рисунок 9 – Соотношение загрузки стрелочных зон сортировочной станции и уровня задержек

Укрупненный график исполненной работы также несет полезную информацию для оценки работы станции в узле (Рисунок 10). Непосредственно виден и уровень загрузки горловин и парков, и динамика вагонов на станции по струям потока.

Модель выдает широкий набор результатов, которые приведены в диссертации.

– разработана технология расчета показателей функционирования модели, полно характеризующих работу станции в составе узла. Сравнительный анализ результатов двух типов моделирования показал, что предложенный их набор в макромодели более соответствует задаче укрупненного моделирования;

– предложена методика проверки корректности работы макромоделей, проведена ее реализация на конкретном примере;

– построена укрупненная имитационная модель конкретной станции и выполнено сопоставление результатов микро- и макромоделирования. Расхождение сопоставимых результатов колеблется в пределах 8 – 11 %. Это доказывает правомерность применения укрупненного моделирования станций для оценки их роли в транспортном узле.

Применение результатов исследования: используются в учебном процессе Уральского государственного университета путей сообщения.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в ведущих периодических изданиях, входящих в перечень ВАК:

1. Слободянюк, И.Г. Технология макромоделирования транспортных узлов / П.А. Козлов, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Транспорт Урала. 2014. – № 3. – с. 3-6.

2. Слободянюк, И.Г. Макромоделирование транспортных узлов / П.А. Козлов, Н.А. Тушин, В.Ю. Пермикин, И.Г. Слободянюк // Железно-дорожный транспорт. – 2015. – № 10. – с. 38-40

3. Слободянюк, И.Г. Функциональный подход к моделированию транспортных систем // Транспорт Урала. – 2017. – № 2. – с.96-101

Публикации в других изданиях:

4. Слободянюк, И.Г. Макромоделирование транспортных узлов / Н.А. Тушин, В. Ю. Пермикин, И. Г. Слободянюк. // Современные концепции научных исследований: научно–пр. конф. - М: Еразмийский Союз Ученых (ЕСУ), 2014. – № 6 Часть 3. – с. 132-135

5. Слободянюк, И.Г. Имитационная экспертиза проектов развития транспортной инфраструктуры / П.А. Козлов, И.Г. Слободянюк // Современные реалии, тренды и инновации в управлении бизнес-процессами на транспорте: научно–пр. конф. – М: МГУПС (МИИТ). – 2014. – с.242-244.

6. Слободянюк, И.Г. Имитационная экспертиза проектов развития железнодорожных станций и узлов / П.А. Козлов, И.Г. Слободянюк // Современные проблемы развития железнодорожного транспорта и управления перевозочным процессом: научно–пр. конф. – М: МГУПС (МИИТ). – 2014. – с. 23-24

Слободянюк Инна Геннадьевна

**ТЕХНОЛОГИЯ МАКРОМОДЕЛИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ
СТАНЦИЙ И УЗЛОВ**

05.22.08 – Управление процессами перевозок (технические науки)

Подписано в печать 17.01.2019 Формат 60х84 1/16.

Усл. печ. л 1,2. Тираж 100 экз. Заказ 1

Издательство УрГУПС

620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66