

*На правах рукописи*

*Триш*

**Григорьева Татьяна Евгеньевна**

**МЕТОДИКА И КОМПЛЕКС ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ  
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ**

Специальность 05.13.10 – «Управление в социальных  
и экономических системах»

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Томск – 2019

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» (ТУСУР)

**Научный руководитель – Дмитриев Вячеслав Михайлович,**  
доктор технических наук, профессор

**Официальные оппоненты: Корягин Марк Евгеньевич,** доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Высшая математика» Сибирского государственного университета путей сообщения (г. Новосибирск)

**Селиверстов Алексей Алексеевич,** кандидат экономических наук, доцент, начальник нормативно-аналитического отдела Томского государственного педагогического университета

**Ведущая организация –** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Защита состоится 26 декабря 2019 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.268.05 ТУСУРа по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 40, ауд. 201

С диссертацией можно ознакомиться на официальном сайте <https://postgraduate.tusur.ru/urls/ksogfs6g> и в библиотеке ТУСУРа по адресу: 634045, г. Томск, ул. Красноармейская, 146.

Автореферат разослан \_\_\_\_\_ 2019 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Костюченко Евгений Юрьевич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В зимнее время года, особенно в период обильных снегопадов, дорожно-эксплуатационные службы городов испытывают максимальные нагрузки, справляясь с тем, чтобы природное явление не нарушило привычный ритм жизни городского населения. Выпавший снег может привести к транспортным заторам, увеличению числа дорожно-транспортных происшествий и т.п., во избежание таких последствий важно вовремя озаботиться вопросом его уборки и вывоза.

В большинстве случаев дорожно-эксплуатационные службы, выполняющие комплекс работ по процессам зимнего содержания дорог, имеют ограниченные ресурсы, то есть определенное количество снегоуборочной техники, кадрового состава, а также фиксированное значение выделяемых средств на выполнение соответствующих работ. В случае, когда ресурсы у подобных служб ограничены, а погодные условия непредсказуемы, актуализируется этап планирования выполняемых процессов с использованием современных технологий. В рамках диссертационной работы в качестве таких технологий предлагается использовать имитационное моделирование, благодаря которому можно оценить предполагаемые временные и производственные затраты на выполнение соответствующего вида работ, спланировать процессы зимнего содержания дорог с учетом погодных и технических факторов.

**Степень разработанности проблемы.** Анализ современного состояния исследований показывает, что планированию и моделированию процессов зимнего содержания дорог посвящены работы авторов: Телушкиной Е.К., Бобровой Т.В., Слепцова И.В., Белоусова В.Е., Нехай К., Самодуровой Т.В., Тропынина Е.Н., James F. Campbell, André Langevin, Nathalie Perrier, Ciro-Alberto Amaya, Holmberg K., Carrie Lee Ing Ho и других. В исследованиях, посвященных планированию зимнего содержания дорог, в основном освещаются этапы планирования и прогнозирования потребляемых ресурсов и финансовых затрат. В работах, связанных с моделированием процессов зимнего содержания дорог, наличие комплекса имитационных моделей планирования процесса снегоуборки, построенных с учетом единиц снегоуборочной техники и с последующим описанием методики оценки временных и производственных затрат на ее эксплуатацию не прослеживается. Это и обусловило выбор темы данного исследования.

**Целью** исследования является разработка комплекса имитационных моделей планирования процесса снегоуборки и методики оценки их результатов.

Для достижения указанной цели поставлены следующие **задачи**:

- проанализировать процесс снегоуборки и выявить существующие подходы, инструменты к его планированию;
- предложить методику оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки с использованием имитационного моделирования;

- определить и разработать необходимый инструментарий построения комплекса имитационных моделей процесса снегоуборки;

- разработать модель оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей и апробировать ее на примере Ленинского района города Томска;

- разработать комплекс многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки и апробировать их на примере нескольких улиц Ленинского района города Томска;

- разработать предложения по реформированию системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки дорожно-эксплуатационной службы посредством дополнения ее модельной подсистемой.

**Объектом исследования** в работе являются этапы процесса снегоуборки (механизованная посыпка проезжей части противогололедными материалами; механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц; механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами).

**Предметом исследования** выступают: методика, инструментарий и модели планирования процесса снегоуборки.

**Научную новизну** составляют следующие результаты исследования:

- предложена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники, которая, в отличие от существующих, основана на методологии имитационного моделирования и позволяет планировать процесс снегоуборки с учетом влияния на него погодных и технических факторов;

- разработана модель оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей, которая отличается от существующих модификацией структуры графа задачи коммивояжера и позволяющая учитывать направленность полос убираемых улиц, а также минимизировать «холостой ход», тем самым сокращая временные затраты на его прохождение;

- разработаны модели единиц снегоуборочной техники, основанные на применении сетей Петри в формате метода компонентных цепей, отличающиеся от существующих многоуровневой структурой взаимодействия и позволяющие построить оригинальный комплекс имитационных моделей процесса снегоуборки.

**Теоретическая значимость** работы заключается в развитии применения имитационного моделирования к процессу снегоуборки и основанной на нем методики оценки временных и производственных затрат на этапе планирования.

**Практическая значимость работы.** Комплекс универсальных имитационных моделей процесса снегоуборки и методика оценки их результатов позволяют руководителям дорожно-эксплуатационных служб принимать обоснованные управленческие решения на этапе планирования. Результаты исследования были внедрены в МБУ «ТомскСАХ», что

дополнило этап планирования новыми возможностями и позволило определить временные и производственные затраты с целью принятия обоснованных решений. Также результаты данной работы могут быть полезны при организации подобных процессов, например, при поливке улиц, уборке мусора и т.д.

Полученные результаты диссертации использованы: при выполнении гранта РФФИ №16-37-00027 на 2016–2017 г. «Разработка программных средств автоматической параметризации компьютерных моделей эколого-экономических систем предприятий нефтегазовой промышленности»; в учебном процессе кафедры компьютерных систем в управлении и проектировании ТУСУРа при проведении лабораторных работ по дисциплине «Компьютерное моделирование систем» у студентов направления 27.03.03 – Системный анализ и управление.

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства образования и науки РФ, проект №8.8184.2017/8.9.

**Методология и методы исследования,** применяемые в работе: имитационное моделирование, теория систем массового обслуживания, сети Петри, теория графов, метод сравнительного анализа и сопоставления результатов исследований, системный анализ.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1) методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники, содержащая описание этапов процесса планирования снегоуборки с учетом применения имитационного моделирования и позволяющая ЛПР выбирать наилучшие альтернативы решения. Соответствует п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» паспорта специальности 05.13.10;

2) модель оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей, основанная на модификации структуры графа задачи коммивояжера к формализации процесса снегоочистки и позволяющая учесть разграниченность дорог по категориям, направленность полос убираемых улиц, а также минимизировать «холостой ход», тем самым сокращая временные затраты на его прохождение. Соответствует п.3 «Разработка моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» паспорта специальности 05.13.10;

3) модели активных компонентов и их макрокомпонентов основных единиц снегоуборочной техники, позволяющие получить, а также визуально отобразить количественные оценки параметров моделей процесса снегоуборки. Соответствует п.3 «Разработка моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах», п.12 «Разработка новых информационных технологий в решении задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» паспорта специальности 05.13.10;

4) многоуровневые имитационные модели процесса снегоуборки, позволяющие оценить и подобрать наилучшие варианты временных и производственных затрат эксплуатации каждой единицы снегоуборочной техники. Соответствует п.2 «Разработка методов формализации и постановка задач управления в социальных и экономических системах», п.3 «Разработка моделей описания и оценок эффективности решения задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах», п.12 «Разработка новых информационных технологий в решении задач управления и принятия решений в социальных и экономических системах» паспорта специальности 05.13.10.

**Достоверность результатов исследования** диссертационной работы базируется на корректной постановке задач исследования, многообразии используемых методов, а также подтверждается соответствием моделей экспериментальным данным и результатами внедрения разработок, предложенных автором, в практику МБУ «ТомскСАХ».

**Апробацию** представляемая работа прошла на научно-технических семинарах кафедры и на следующих конференциях: Международной научно-методической конференции «Современное образование: новые методы и технологии в организации образовательного процесса»; XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Современные техника и технологии»; Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2013»; Third postgraduate consortium international workshop ICST 2013 «Innovations in information and communication science and technology»; Международной научной студенческой конференции МНСК-2014 «Информационные технологии»; 21-й Международной научно-практической конференции «Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири»; XI, XII и XIV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления»; Международной научно-практической конференции «Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики»; Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Научная сессия ТУСУР–2016, 2017, 2018»; XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук»; Международной научно-методической конференции «Современное образование: развитие технологий и содержания высшего профессионального образования как условие повышения качества подготовки выпускников»; Региональной научно-практической конференции «Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения».

**Публикации.** По результатам исследований автором опубликовано 25 работ, среди которых 5 статей в журналах из перечня ВАК РФ, в том числе имеется свидетельство о регистрации ПрЭВМ «Библиотека моделей компонентов систем массового обслуживания среды моделирования MAPS».

**Личный вклад автора.** Постановка задач исследования, обсуждение результатов, а также подготовка материалов к печати была осуществлена совместно с научным руководителем. Основные научные результаты были получены автором самостоятельно.

**Структура и объем диссертации.** В состав диссертации входит введение, 3 главы, заключение, список использованной литературы из 156 наим., приложения на 30 страницах. Объем диссертации без приложений – 178 с., в т.ч. 84 рисунка, 15 таблиц.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы; представлена степень ее проработанности; сформулированы цель и задачи исследования; рассмотрены объект, предмет и методы исследования; отражена научная новизна; представлена теоретическая и практическая значимость результатов.

**В первой главе** проанализирован процесс снегоуборки в целом; обобщены результаты исследований, посвященные существующим подходам и инструментам планирования процесса снегоуборки; представлена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки, а также осуществлена постановка задач исследования.

В диссертационной работе под процессом снегоуборки понимается процедура уборки и вывоза снега с проезжей части улиц, включающая в себя следующие этапы (рис. 1):

1) механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами – это процесс, при котором пескоразбрасыватели обрабатывают проезжую часть противогололедными материалами;

2) механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц – это процесс, во время которого снегоуборочная техника избавляется от излишков снега, сталкивая его на обочину;

3) формирование снежного вала — это процесс, при котором снег, очищаемый с проезжей части, сдвигается в лотковую часть дороги для временного складирования снежной массы;

4) механизированная погрузка снега — это процесс, при котором подготовленный снег сгружается в самосвалы;

5) вывоз снега самосвалами — это процесс, при котором груженный снег вывозится на полигон самосвалами.

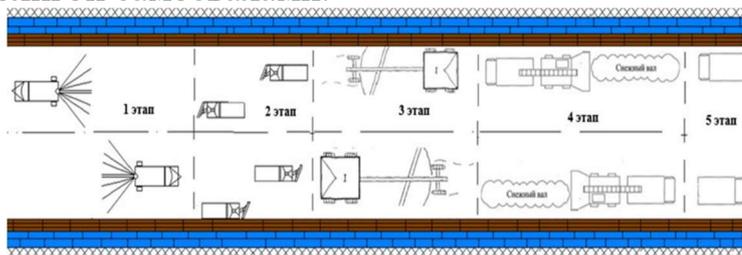


Рисунок 1 – Этапы процесса снегоуборки

Зимняя уборка проезжей части улиц осуществляется дорожно-эксплуатационными службами, которые стремятся к планированию и организации процесса снегоуборки с учетом влияния на него метеорологических и технических факторов, а именно «непредсказуемых» погодных условий, ограниченных ресурсов и т.д. В таком случае актуализируется предложение об использовании в дорожно-эксплуатационных службах лицами, принимающими решения (ЛПР) имитационного моделирования на этапе планирования.

На рисунке 2 представлена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники ЛПР, посредством применения имитационного моделирования для процесса снегоуборки.

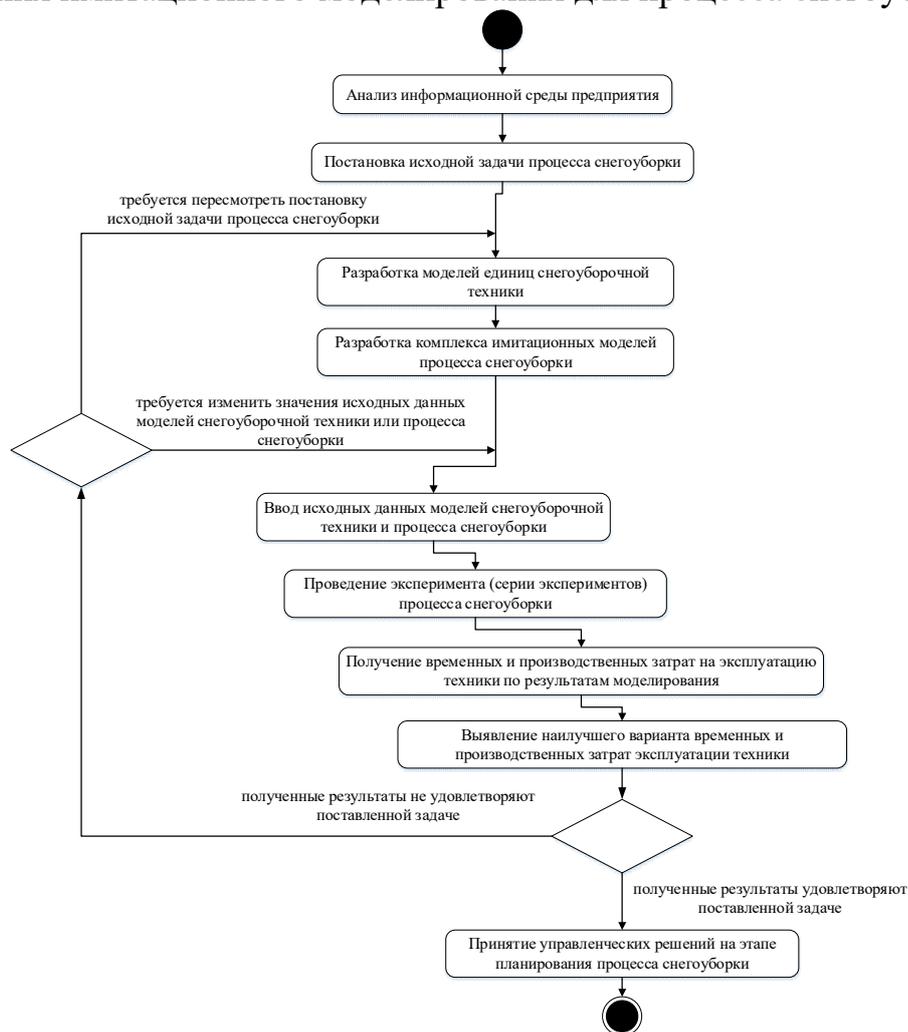


Рисунок 2 – Методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки

Первым этапом в предложенной методике является анализ ЛПР информационной среды предприятия, которая включает в себя, например, данные о погодных условиях, о ситуации на дорогах, о состоянии и количестве ресурсов и т.д.

На втором этапе методики, исходя из результатов анализа информационной среды предприятия, ставится задача процесса снегоуборки, которую ЛПР необходимо решить в процессе моделирования.

На третьем этапе осуществляется разработка имитационных моделей единиц снегоуборочной техники, например, самосвала, снегопогрузчика и т.д.

На четвертом этапе разрабатывается комплекс имитационных моделей процесса снегоуборки, который отражает взаимодействие техники между собой.

На основе информационного блока задаются исходные данные имитационных моделей единиц техники и процесса снегоуборки, что соответствует пятому этапу методики.

На шестом этапе проводится эксперимент или серия экспериментов путем варьирования как составом структурных единиц снегоуборочной техники, так и исходными данными разработанных моделей.

На седьмом этапе происходит получение временных и производственных затрат на эксплуатацию техники по результатам моделирования.

На восьмом этапе ЛПР выявляется наилучший вариант временных и производственных затрат эксплуатации техники, соответствующий решению изначально поставленной задачи. В случае, если полученные результаты не соответствуют поставленной задаче, необходимо изменить значения исходных данных имитационных моделей техники или процесса снегоуборки (5 этап) или пересмотреть постановку задачи процесса снегоуборки (2 этап), иначе происходит переход на 9 этап.

На завершающем девятом этапе, на основе результатов моделирования ЛПР формируется управленческое решение, которое в дальнейшем реализуется на практике, где определяется его эффективность путем сравнения плановых и фактических показателей и впоследствии, при необходимости, формируются оптимизирующие мероприятия.

**Во второй главе** осуществлен выбор инструментального средства моделирования, описана методика построения многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки, произведено преобразование аппарата сетей Петри в метод компонентных цепей, разработаны активные компоненты и их макрокомпоненты для единиц снегоуборочной техники, а именно для самосвала и снегопогрузчика.

Для построения моделей процесса снегоуборки предлагается использовать среду моделирования МАРС (СМ МАРС), которая разрабатывается и развивается в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники. СМ МАРС состоит из трех уровней обработки информации, выраженных на соответствующих слоях редактора: объектном, логическом и визуальном. Исходя из ее имеющейся многоуровневой архитектуры, рассмотрим структурно-функциональную схему многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки (рис. 3).



Рисунок 3 – Структурно-функциональная схема многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки

Входными данными модели выступают: перечень убираемых улиц, ситуация на дорогах, погодные условия и т.д. Выходные данные модели могут быть представлены в виде статических или динамических результатов.

На объектном уровне формируется модель, отражающая физическое поведение исследуемого объекта (т.е. взаимодействие снегоуборочной техники между собой, динамику движения, погрузки и пр.) с подключенными к нему моделями исполнительных и измерительных устройств.

На логическом уровне формируется дискретно-событийная модель объекта исследования (то есть функциональная модель каждой единицы снегоуборочной техники), которая описывает состояние объекта в модели событий с выработкой управляющих воздействий на нее и с учетом заданных входных данных, сформированных пользователем. По результатам дискретно-событийных моделей процесса снегоуборки фиксируются временные затраты каждой единицы снегоуборочной техники, которые в дальнейшем дополняют экономическую модель исходными данными. В диссертационной работе под экономической моделью понимается модель, позволяющая определить производственные затраты соответствующего вида работ за определенный промежуток времени.

Визуальный уровень содержит средства визуализации результатов анализа имитационной модели объекта исследования, формирования задающих воздействий и других реакций от модели.

Для наглядности и упрощения имитационного моделирования процесса снегоуборки в качестве инструмента предлагается использовать активные компоненты и их макрокомпоненты, а также сети Петри.

Под активным компонентом (АК) процесса снегоуборки понимается какая-либо одна единица снегоуборочной техники, со всеми процессами, происходящими с ней, например, учитывающая процесс движения, погрузки, разгрузки и т.д., и отображающаяся на трех взаимосвязанных уровнях.

В рамках диссертационной работы аппарат сетей Петри преобразован в метод компонентных цепей и применяется для построения дискретно-событийных процессов АК техники.

Под макрокомпонентом понимается компьютерная модель АК, сформированная с помощью многоуровневого интерфейса, на который выводятся параметры АК, необходимые для варьирования и получения наилучших результатов моделирования.

В диссертации автором представлена практическая реализация, а также алгоритмические сценарии АК и их макрокомпонентов на примере «Самосвала» и «Снегопогрузчика».

**В третьей главе** результаты исследования апробированы на примере города Томска, а именно произведен анализ организации и состояния зимней уборки дорог, разработан комплекс имитационных моделей процесса снегоуборки, разработаны предложения по реформированию системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки дорожно-эксплуатационной службы.

В городе Томске при организации зимней уборки автомобильных дорог особое внимание уделяется УМП «Спецавтохозяйство г. Томска» (которое с 1 июля 2019г. переименовано в МБУ «ТомскСпецавтохозяйство» (далее Спецавтохозяйство) по причине того, что за ним закреплены дороги наибольшей значимости, а именно дороги I и II категорий в объеме 2823,229 тыс. м<sup>2</sup>. Проанализировав практическое состояние зимней уборки и информационные источники, видно, что периодически Спецавтохозяйство с уборкой снега не справляется, что подтверждается жалобами жителей города, результатами опроса агентства новостей и пр.

В настоящее время в Спецавтохозяйстве для осуществления технологической операции по сгребанию и подметанию снега разработаны логистические маршруты, которые минимизируют расстояние «холостого хода» плужно-щеточных машин без учета разделения дорог на категории. Но с выходом нового ГОСТа Р 50597-2017 актуализируется потребность в разработке маршрутов уборки, разграничивающих дороги по категориям и при этом позволяющих минимизировать расстояние «холостого хода» плужно-щеточных снегоочистителей.

При разработке оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей применена теория графов, а именно задача коммивояжера, математическую постановку которой применительно к построению такого маршрута можно сформулировать следующим образом: исходными данными зададим множество убираемых от снега полос движения  $I = \{1, \dots, A_1, A_2, \dots, B, \dots, C_1, C_2, \dots, n\}$  и попарные расстояния между убираемыми полосами в виде матрицы  $(c_{ij})$ , причем  $1 \leq i, j \leq n$ , где  $n$  – это общее количество убираемых полос, не считая 0-й, так как это исходная и конечная точка. Требуется найти гамильтонов контур наименьшей общей длины.

При решении поставленной задачи рассмотрим предлагаемую модель разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей и классическую постановку задачи графов (рис. 4).

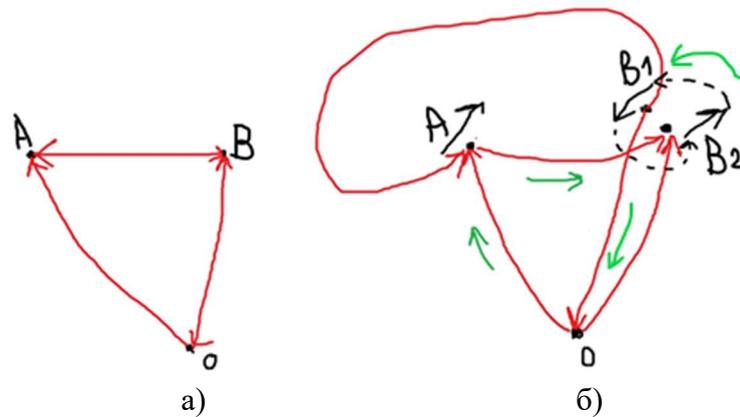


Рисунок 4 – Модели разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей

а) пример классической постановки задачи графа; б) предлагаемая модель разработки оптимального маршрута

В обеих представленных моделях за 0 принимается исходная и конечная точка маршрута. Относительно классической постановки задачи за вершины A и B принимаются убираемые улицы, которые соединены между собой дугами. В предлагаемой модели построения оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей за вершины A, B1 и B2 принимаются полосы убираемых улиц, что позволит при разработке их маршрута учесть направление уборки и избежать потери участков улиц, подлежащих уборке. Соответственно дуги, соединяющие эти вершины, выстраиваются с учетом направленности полос убираемых улиц и подразумевают расстояния от конца одной полосы движения до начала другой. Вес дуг определяется как длина этого расстояния в километрах. В итоге, в предлагаемой модели, имеется граф с большим количеством вершин, но с таким же направлением и количеством дуг, как и в классической постановке задачи. В предлагаемой модели зелеными стрелочками обозначен итоговый маршрут примера, который был определен среди альтернативных вариантов с учетом нахождения гамильтонова контура.

Так, используя средство анализа Microsoft Excel «Поиск решений», разработан оптимальный маршрут для дорог I и II категорий Ленинского района города Томска (рис. 5).

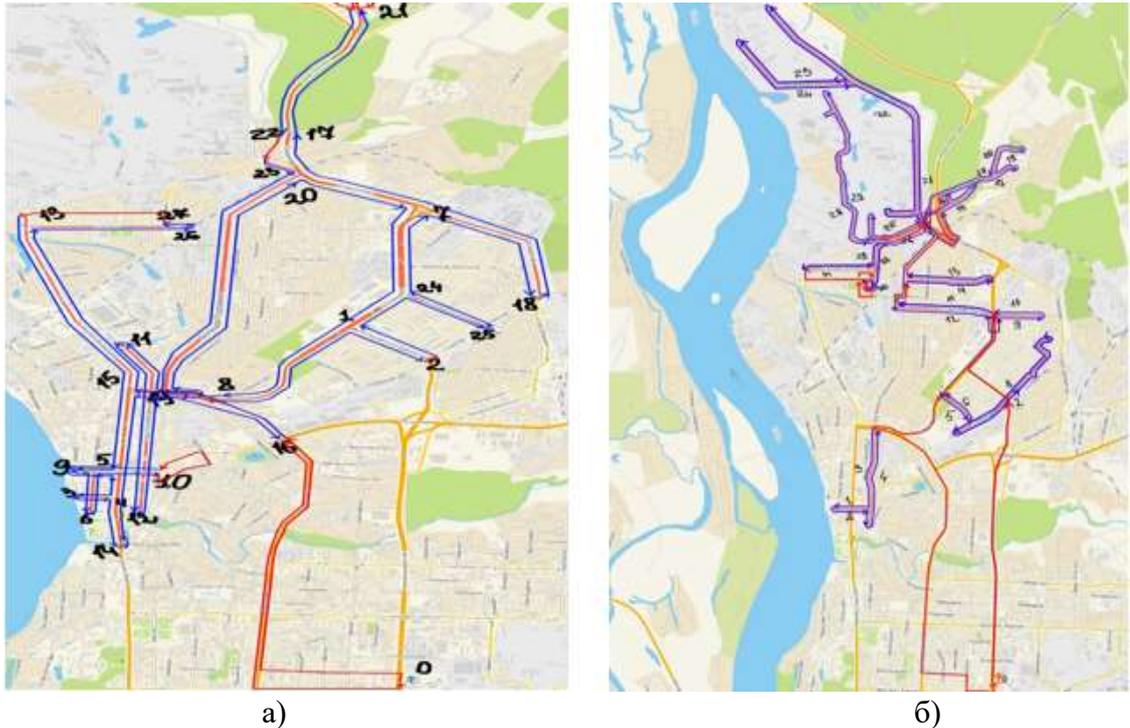


Рисунок 5 – Оптимальный маршрут для дорог I и II категорий Ленинского района г. Томска

а) для дорог I категории; б) для дорог II категории

На рисунке 5 красным цветом изображен «холостой ход» плужно-щеточных снегоочистителей, синим – механизированное сгребание и подметание снега. Таким образом, разработанный оптимальный маршрут снегоуборки позволяет минимизировать расстояние «холостого хода» плужно-щеточных машин, тем самым сокращая временные затраты на его прохождение.

На основе разработанных оптимальных маршрутов снегоуборки созданы базы данных в Microsoft Access, значения которых с помощью компонента «Маршрут» учитываются в имитационной модели этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц.

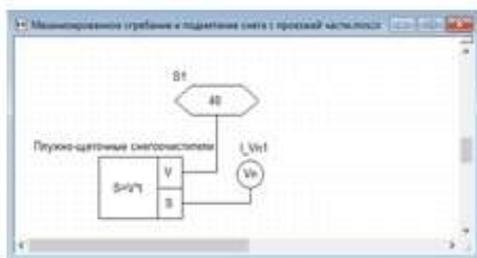


Рисунок 6 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на объектном уровне

На объектном уровне модель отражает физическое поведение плужно-щеточных снегоочистителей (то есть динамику их движения и уборки) с подключенными к ним исполнительными и измерительными устройствами (рис. 6).

Скорость и заданное расстояние движения/уборки изначально устанавливается пользователем или разработанной базой данных. Имитация пройденного пути продолжается до тех пор, пока это значение не совпадет с заданным расстоянием. При этом фиксируется время, затрачиваемое на его прохождение.

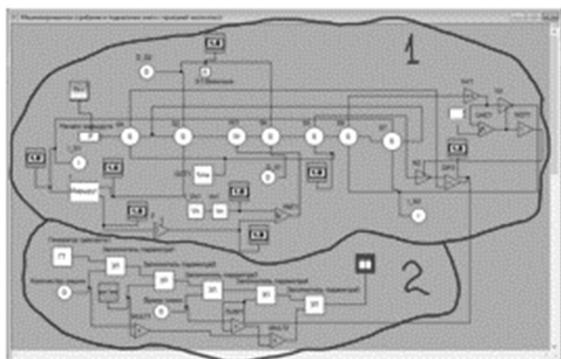


Рисунок 7 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на логическом уровне

На логическом уровне формируется функциональная модель плужно-щеточных снегоочистителей, которая в диссертационной работе предваряется алгоритмическим сценарием. Данная модель имитирует прохождение следующих выделяемых событий: перемещение техники от автопарка до места уборки по маршруту; механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц; перемещение с места уборки до автопарка (рис. 7).

На рисунке 7 дискретно-событийная модель, формирующаяся на основе вышеуказанных событий плужно-щеточных снегоочистителей обозначена 1, экономическая модель – 2.

В результате моделирования дискретно-событийных процессов определяется время каждого события одной единицы снегоуборочной техники. Помимо моделирования событий плужно-щеточных снегоочистителей их экономическая модель позволяет оценить производственные затраты, формулы расчетов которых отражаются в компоненте «Генератор транзактов», а исходные данные задаются с помощью компонента «Заполнитель параметров».

Визуальный уровень содержит средства визуализации результатов анализа модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий», а также формирования исходных данных экономической модели (рис. 8).

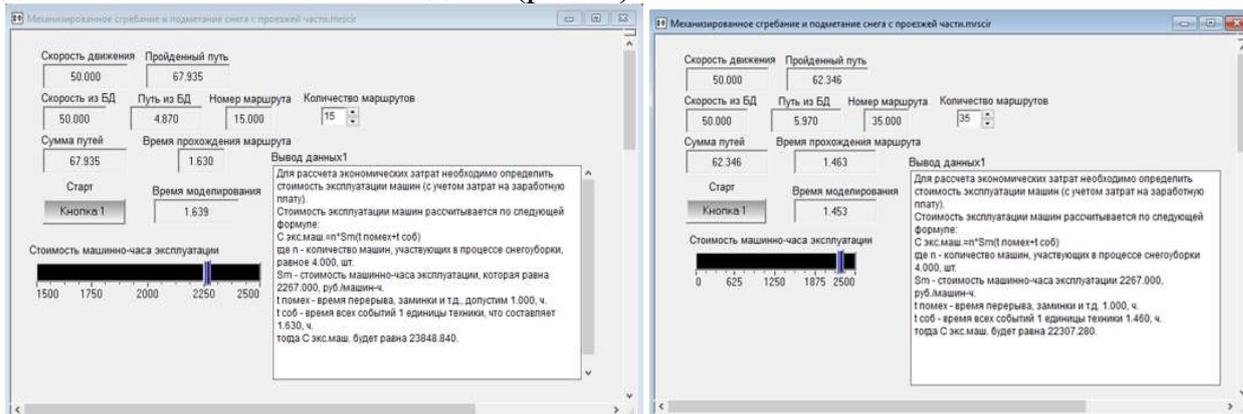


Рисунок 8 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на визуальном уровне  
а) для дорог I категории; б) для дорог II категории

По результатам моделирования, например, для проезжей части улиц I категории видно, что всего плужно-щеточными снегоочистителями было пройдено 67, 935 км; время прохождения составило 1,63 ч. По причине того, что плужно-щеточные снегоочистители осуществляют сгребание и

подметание снега колоннами, примем их количество равное 4 шт. Исходя из того, что снегоуборочная техника проработала 1,63ч., а ее 1 час стоит 2 267 руб., стоимость ее эксплуатации составила 23 848, 840 руб.

Рассмотрим имитационную модель этапа погрузки и разгрузки снега на примере небольшого участка проезжей части улицы Розы Люксембург, имеющей следующие размеры:  $L=480$  м,  $b=3,75$ м, что соответствует одной полосе движения. Исходя из этого, площадь убираемой территории составляет  $1800 \text{ м}^2$ . Пусть высота снежного покрова ( $h$ ) равна  $0,0186$  м тогда объем выпавшего снега ( $V_{\text{вып.сн.}}$ ) составляет:  $V_{\text{вып.сн.}} = L \cdot b \cdot h = 1800 \text{ м}^2 \cdot 0,0186 \text{ м} = 33,48 \text{ м}^3$ . Для осуществления работ на выбранном участке улицы выделили 2 самосвала и 1 лаповый снегопогрузчик. На основании технических характеристик снегоуборочной техники, объем кузова самосвала составляет  $18 \text{ м}^3$  и  $14 \text{ м}^3$ , время разгрузки примем за  $0,13$  ч, фактическая производительность снегопогрузчика равна  $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ . В результате моделирования требуется определить временные и производственные затраты снегопогрузчика и самосвалов на этапе погрузки и вывоза снега.

Перед моделированием для каждой единицы снегоуборочной техники необходимо предопределить исходные данные ее событий, которые вырабатываются в процессе работы.

События, относящиеся к самосвалу:

- 1) движение от автопарка до места уборки, при этом  $S_1=4,08$  км,  $v_{\text{ср1}}=55$  км/ч;
- 2) погрузка снега в самосвал лаповым снегопогрузчиком;
- 3) движение с места уборки до полигона, при этом  $S_2=6,45$  км,  $v_{\text{ср2}}=40$  км/ч;
- 4) разгрузка самосвала на полигоне;
- 5) движение от полигона до автопарка, при этом  $S_3=6,02$  км,  $v_{\text{ср3}}=55$  км/ч.

События, относящиеся к снегопогрузчику:

- 1) движение от автопарка до места уборки, при этом  $S_4=4,08$  км,  $v_{\text{ср4}}=20$  км/ч;
- 2) погрузка снега в самосвал;
- 3) движение с места уборки до автопарка, при этом  $S_5=4,55$  км,  $v_{\text{ср5}}=20$  км/ч.

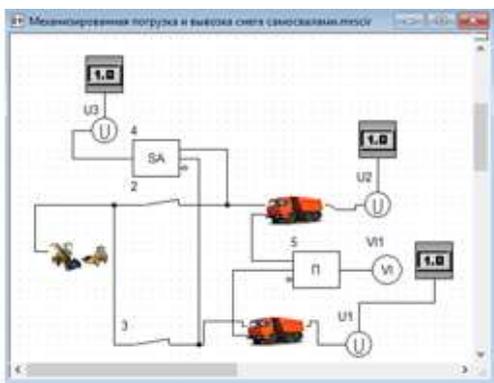


Рисунок 9 – Модель «Механизированная погрузка и вывозка снега самосвалами» на объектном уровне

На рисунке 9 модель «Механизированная погрузка и вывозка снега самосвалами» представлена на объектном уровне, отображающем взаимодействие снегопогрузчика, самосвалов, исходной площадки (SA) и полигона (П) между собой. Изначально перед запуском эксперимента, в свойствах компонента «Исходная площадка» (SA) фиксируется объем выпавшего снега. При взаимодействии снегопогрузчика и самосвала (то есть при

погрузке снега в самосвал), объем выпавшего снега на исходной площадке уменьшается, исходя из величины загруженного снега. При разгрузке снега его объем на полигоне увеличивается, исходя из величины привезенного снега. С помощью компонента «Управляемый ключ» погрузка снега осуществляется сначала в первопришедший самосвал, то есть либо в первый, либо во второй, а затем уже в последующий, причем условия срабатывания управляемого ключа описаны на логическом уровне.

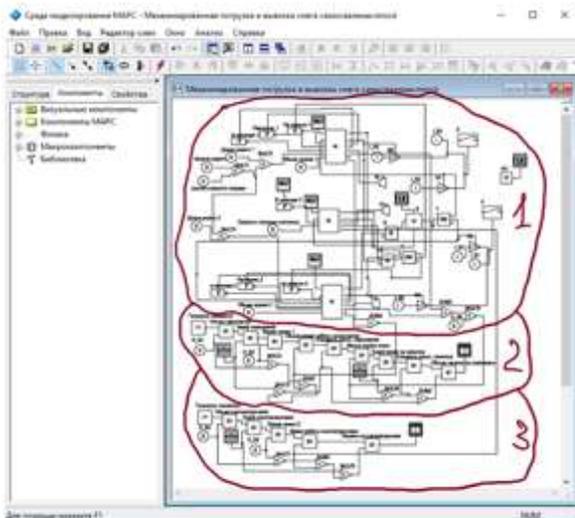


Рисунок 10 – Модель «Механизированная погрузка и вывозка снега самосвалами» на логическом уровне

Модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на логическом уровне в диссертационной работе предваряется алгоритмическим сценарием и представлена на рисунке 10, на котором дискретно-событийная модель, формирующаяся на основе вышеуказанных событий самосвалов и снегопогрузчика обозначена – 1; экономическая модель самосвалов – 2; экономическая модель снегопогрузчика – 3.

На логическом уровне для каждой единицы снегоуборочной техники (то есть для самосвалов и снегопогрузчика) указывается начало, конец и условия срабатывания, происходящих с ней вышеописанных событий. В результате моделирования дискретно-событийных процессов определяется время каждого события и в итоге фиксируется общее время работы каждой единицы снегоуборочной техники.

Учитывая полученное в ходе эксперимента время работы техники, можно оценить производственные затраты. Построение экономической модели происходит аналогично имитационной модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий».

Визуальный уровень содержит средства отображения результатов анализа модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами», а также формирования исходных данных как для дискретно-событийной, так и для экономической моделей (рис. 11).

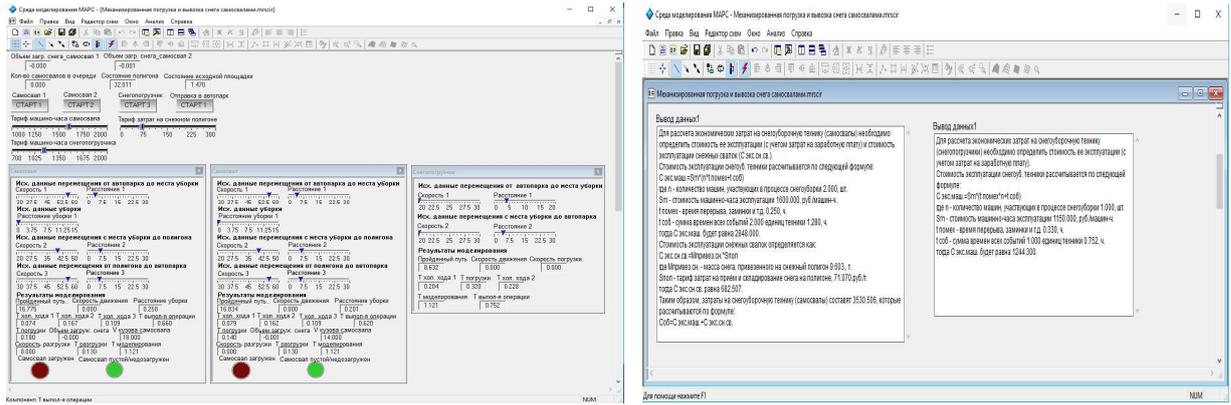


Рисунок 11 – Модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на визуальном уровне

Исходные данные представленной модели задаются с помощью движковых регуляторов. По завершении эксперимента можно оценить объем снега на полигоне и на исходной площадке, величину пройденного пути самосвалов, время «холостого хода», время погрузки-разгрузки и общее время работы техники.

По результатам моделирования видно, что первым самосвалом было затрачено 0,660 ч., вторым – 0,620 ч., а снегопогрузчиком – 0,752 ч. На снежный полигон вывезен объем снега равный 32,011 м<sup>3</sup>, в тоже время на исходной площадке осталось 1,47 м<sup>3</sup>. Исходя из того, что стоимость 1 часа работы самосвала равна 1 600 руб., затраты на снежный полигон составляют 682,507 руб., то общие затраты на их работу равны 3 530,506 руб. Относительно снегопогрузчика, стоимость его 1 часа работы равна 1 150 руб. тогда общие затраты составляют 1 244,30 руб.

В рамках диссертационной работы общая стоимость моделируемого и фактического выполнения этапов процесса снегоуборки рассчитана для улиц I категории Ленинского района г. Томска: пр. Ленина (1 полоса движения от ул. Нахимова до ул. Профсоюзная), ул. Дальне-Ключевская (от пр. Ленина до начала ул. Мира), ул. Мира, ул. Смирнова, ул. Розы Люксембург и ул. Большая Подгорная, период времени – январь 2019 года (рис. 12).

Этапы процесса снегоуборки	Стоимость
Механизированной посылки проезжей части ПГМ	1 496 767,38р.
Механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц	114 723,14р.
Формирования снежного вала автогрейдером	88 740,12р.
Механизированной погрузки и вывозки снега самосвалами	895 691,32р.
Стоимость приема и складирования снега на полигоне	72960,462
<b>Общая стоимость</b>	<b>2 668 882,42р.</b>

а)

Этапы процесса снегоуборки	Стоимость
Механизированной посылки проезжей части ПГМ	1 496 767,38р.
Механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц	114 723,14р.
Формирования снежного вала автогрейдером	129 502,62р.
Механизированной погрузки и вывозки снега самосвалами	888 674,03р.
Стоимость приема и складирования снега на полигоне	60800,385
<b>Общая стоимость</b>	<b>2 690 467,55р.</b>

б)

Рисунок 12 – Общая стоимость моделируемого и фактического выполнения этапов процесса снегоуборки

а) вариант моделируемого выполнения; б) вариант фактического выполнения

Таким образом, при сопоставлении фактического и моделируемого вариантов решения наилучшим является моделируемый вариант уборки стоимостью 2 668 882,42 руб.

Благодаря комплексу разработанных имитационных моделей процесса снегоуборки предлагается реформировать систему поддержки принятия решений (СППР) Спецавтохозяйства за счет добавления в ее информационную систему управления модельной подсистемы (рис. 13).

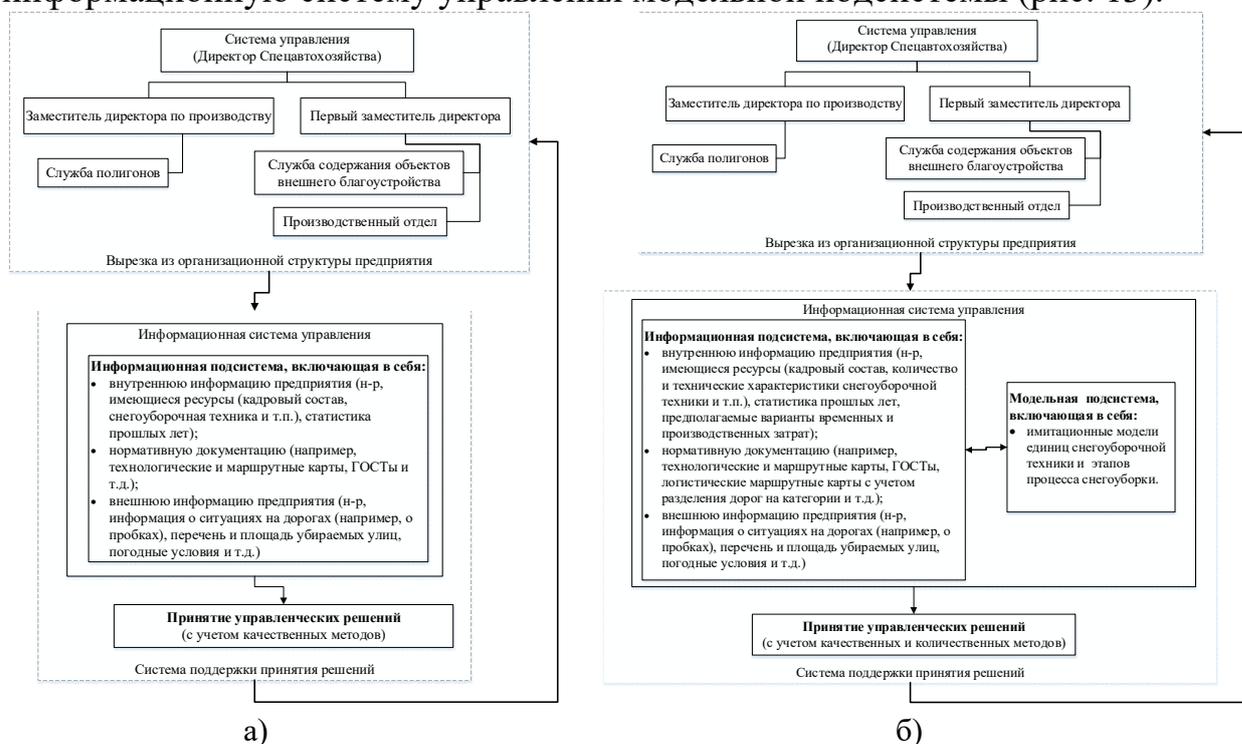


Рисунок 13 – СППР Спецавтохозяйства при планировании процесса снегоуборки  
 а) существующая схема СППР, б) предлагаемая схема реформирования СППР

Анализируя процесс принятия управленческих решений в существующей СППР Спецавтохозяйства выявлено, что руководителями данного предприятия решения принимаются, по большей части, на основе качественных методов, то есть путем теоретического сравнения альтернатив с учетом накопленного опыта и на интуиции руководителя. Преимуществом таких методов является оперативность, среди недостатков можно выделить принятие ошибочного (неэффективного) решения, так как интуиция может подвести.

При реформировании СППР принятие управленческих решений осуществляется на основе комплексного подхода, который предполагает сочетание качественных и количественных методов. В данной работе в качестве количественного метода предусматривается использование имитационного моделирования, которое позволит «воспроизвести» планируемые процессы на моделях и получить обоснованные варианты альтернатив. В целом методы принятия управленческих решений дополняют друг друга, поэтому на практике их рекомендуется использовать комплексно.

### Основные результаты диссертационной работы

1. Проведен анализ процесса снегоуборки и текущего состояния его исследований, в результате которого доказана перспективность применения имитационного моделирования на этапе его планирования.

2. Предложена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники, позволяющая четче планировать процесс снегоуборки и на основе этого принимать обоснованные решения.

3. Произведены преобразования аппарата сетей Петри в метод компонентных цепей для моделирования дискретно-событийных процессов снегоуборки, и задачи коммивояжера к формализации процесса сгребания и подметания снега с проезжей части улиц с целью возможности построения оптимального маршрута уборки.

4. Разработаны модели активных компонентов и их макрокомпонентов применительно к структурным единицам снегоуборочного процесса, что позволяет получить и визуально отобразить количественные оценки параметров моделей процесса снегоуборки, а также расширяет круг моделируемых задач.

5. Разработана модель построения оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей, позволяющая учесть разграниченность дорог по категориям и направленность полос убираемых улиц, а также минимизировать «холостой ход», тем самым сокращая временные затраты на его прохождение.

6. Разработаны многоуровневые имитационные модели этапов процесса снегоуборки, позволяющие оценить и подобрать наилучшие варианты временных и производственных затрат эксплуатации каждой единицы снегоуборочной техники.

7. Разработаны предложения по реформированию системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки Спецавтохозяйства посредством дополнения ее модельной подсистемой, что позволит при разработке управленческих решений применить комплексный подход, то есть использовать не только качественные, но и количественные методы.

### Список публикаций по диссертационной работе

#### Публикации в рецензируемых журналах из списка ВАК:

1. Григорьева, Т.Е. Дискретно-событийное моделирование в СМ МАРС для курса «Системы массового обслуживания» // Доклады ТУСУРа. – 2014. – №1 (31). – С. 152-155.

2. Крутько, М.С. Построение оптимального маршрута транспортной сети процесса уборки снега на примере города Томска / М.С. Крутько, Т.Е. Григорьева // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. – 2018. – № 3(22). – С. 165–178.

3. Григорьева, Т.Е. Концептуальная модель активного компонента в компьютерной модели процесса снегоуборки городских улиц / Т.Е.

Григорьева, В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа // Информатика и системы управления. – 2018. – № 4 (58). – С. 13-24.

4. **Григорьева, Т.Е.** Процесс разработки и принятия управленческих решений в деятельности предприятий по зимнему содержанию дорог / Т.Е. Григорьева, Н.А. Дегтярева // Вестник науки Сибири. – 2018. – №4 (31). – С. 266-275.

5. **Григорьева, Т.Е.** Концептуальная модель планирования процесса снегоуборки / Т.Е. Григорьева, Н.А. Дегтярева, В.М. Дмитриев // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Системный анализ и информационные технологии. – 2018. – №4. – С. 90-98.

#### **Публикации в материалах научных конференций:**

1. Дмитриев, В.М. Интерпретация сетей Петри в метод компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Е.В. Истигечева, **Т.Е. Григорьева** // Современное образование: новые методы и технологии в организации образовательного процесса: материалы Международной научно-методической конференции, Томск, 31 января-1 февраля 2013г. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – С. 176-177.

2. **Григорьева, Т.Е.** Методика моделирования систем массового обслуживания в среде моделирования МАРС / Т.Е. Григорьева, Т.В. Ганджа, А.И. Корнюшина // Современное образование: новые методы и технологии в организации образовательного процесса: материалы Международной научно-методической конференции, Томск, 31 января-1 февраля 2013г. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2013. – С. 177-179.

3. **Григорьева, Т.Е.** Имитационное моделирование сетей Петри с приоритетами / Под ред. В.М. Дмитриева // Современные техника и технологии: сборник трудов XIX Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013г. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – Т. 2. – С. 246 – 247.

4. **Григорьева, Т.Е.** Имитационное моделирование цветных сетей Петри / Под ред. Е.В. Истигечевой // Научная сессия ТУСУР–2013: материалы Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15–17 мая 2013г. – Томск: В-Спектр, 2013. – Ч. 2. – С. 306-308.

5. Istigecheva, E.V. Petri Net Modeling of Mass Service Systems in the MARS Simulation Environment / E.V. Istigecheva, **T.E Grigorieva**, A.I. Kornyuushina // Innovations in information and communication science and technology. Third postgraduate consortium international workshop ICST 2013, Tomsk, September 2-5, 2013. – Tomsk: TUSUR, 2013. – P. 175–180.

6. **Григорьева, Т.Е.** Разработка моделей компонентов в среде моделирования МАРС для моделирования систем массового обслуживания // Информационные технологии: материалы 52-й Международной научной студенческой конференции, Новосибирск, 11-18 апреля 2014г. – Новосибирск: Изд-во НГУ, 2014. – С. 104.

7. Дмитриев, В.М. Компьютерное моделирование процесса уборки и вывоза снега / В.М. Дмитриев, **Т.Е. Григорьева** // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-2015): материалы 21-й Международной научно-практической конференции, Томск, 17-18 ноября 2015г. / отв. ред. Л.С. Петрова. – Томск: САН ВШ; В-Спектр, 2015. – С. 45-48.

8. **Григорьева, Т.Е.** Математическое моделирование процесса уборки и вывоза снега / Т.Е. Григорьева, Е.В. Истигечева // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XI Международной научно-практической конференции, Томск, 25-27 ноября 2015 г. – Томск: В-Спектр, 2015. – Ч. 2. – С. 326-331.

9. Ганджа, Т.В. Алгоритм параметризации многоуровневых компьютерных моделей эколого-экономических систем / Т.В. Ганджа, С.А. Панов, **Т.Е. Григорьева** // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики: материалы XIII международной научно-практической конференции, Тольятти, 21-24 апреля 2016 г. – Тольятти: Волжский университет им. В. Н. Татищева, 2016. – Т. 2. – С. 157-163.

10. **Григорьева, Т.Е.** Моделирование систем массового обслуживания на примере очереди в банке / Под ред. Е.В. Истигечевой // Научная сессия ТУСУР–2016: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25–27 мая 2016 г. – Томск: В-Спектр, 2016. – Ч. 3. — С. 105-108.

11. **Григорьева, Т.Е.** Методика статистического анализа технических объектов в среде многоуровневого компьютерного моделирования / Т.Е. Григорьева, Т.В. Ганджа / Под ред. В.М. Дмитриева // Научная сессия ТУСУР-2016: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 25-27 мая 2016 г. – Томск: В-Спектр, 2016. – Ч. 3. – С. 102-105.

12. Панов, С.А. Разработка архитектуры системы поддержки автоматизированных экспериментов / С.А. Панов, **Т.Е. Григорьева**, С.К. Важенин // Перспективы развития фундаментальных наук: сборник трудов XIII Международной конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Томск, 26-29 апреля 2016 / Под ред. И. А. Курзиной, Г. А. Вороновой. – Томск: Изд-во ТПУ, 2016. – С. 102-104.

13. **Grigorieva, T.E.** The Development of Purchase Optimization Model for Effective Management Solutions at an Enterprise / T.E. Grigorieva, A.R. Artineeva // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XII Международной научно-практической конференции, Томск, 16–18 ноября 2016 г. – Ч. 2. – Томск: В-Спектр, 2016. – С 209-211.

14. **Григорьева, Т.Е.** Автоматизированная параметризация компьютерных моделей с помощью электронных документов / Т.Е. Григорьева, С.А. Панов / Под ред. В.М. Дмитриева // Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции

студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 4. – С. 90-92.

15. **Григорьева, Т.Е.** Методика моделирования систем массового обслуживания и бизнес-процессов для проведения лабораторных работ // Современное образование: развитие технологий и содержания высшего профессионального образования как условие повышения качества подготовки выпускников: материалы Международной научно-методической конференции, Томск, 26-27 января 2017г. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2017. – С. 114 – 115.

16. **Grigorieva, T.E.** Modeling as the basis of making effective management decisions / Scientific adviser V.M. Dmitriev // Научная сессия ТУСУР–2017: материалы Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, посвященной 55-летию ТУСУРа, Томск, 10–12 мая 2017 г. – Томск: В-Спектр, 2017. – Ч. 8. – С. 169-172.

17. **Григорьева, Т.Е.** Моделирование одноканальных и многоканальных систем массового обслуживания на примере билетной кассы автовокзала / Т.Е. Григорьева, А.А. Донецкая, Е.В. Истигечева // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2017. – № 1 (20). – С. 35-38.

18. **Grigorieva, T.E.** Automated information management system for planning management decision on the example of snow removal / Scientific adviser V.M. Dmitriev // Научная сессия ТУСУР–2018: материалы докладов Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 16–18 мая 2018 г. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч.4. – С. 199-202.

19. **Панов, С.А.** Интеграция среды MAPS с геоинформационной системой с целью автоматизированной параметризации компьютерных моделей / С.А. Панов, **Т.Е. Григорьева**, А.С. Болденков // Электронные средства и системы управления: материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции, Томск, 28 – 30 ноября 2018 г. – Томск: В-Спектр, 2018. – Ч.2. – С. 5-8.

20. **Григорьева, Т.Е.** Имитационная модель снегоуборочного процесса для целей управления / Т.Е. Григорьева, В.М. Дмитриев // Наука и практика: проектная деятельность – от идеи до внедрения: материалы докладов региональной научно-практической конференции, 2018г. – Томск: Из-во ТУСУРа, 2018. – С. 585-587.

### **Свидетельства о регистрации программ для ЭВМ:**

1. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ, № 2016610252. Библиотека моделей компонентов систем массового обслуживания среды моделирования MAPS / Т.В. Ганджа, Е.В. Истигечева, **Т.Е. Григорьева**. – 11.01.2016. – М.: Роспатент, 2016.