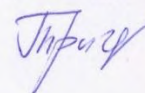


Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ»
(ТУСУР)**

На правах рукописи



Григорьева Татьяна Евгеньевна

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

Специальность 05.13.10 – «Управление в социальных и экономических системах»

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель

д.т.н., профессор

Дмитриев Вячеслав Михайлович

Томск 2019

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ДТП	дорожно-транспортное происшествие
УДС	улично-дорожная сеть
ГУДС	городская улично-дорожная сеть
ПГМ	противогололедные материалы
ПСС	песко-соляная смесь
СППР	система поддержки принятия решений
ПУР	принятия управленческих решений
БД	база данных
СП	сети Петри
СМ МАРС	среда моделирования МАРС
БМК	библиотека моделей компонентов
МКЦ	метод компонентных цепей
КЦ	компонентная цепь
АК	активный компонент
ПК	пассивный компонент

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	6
ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ	13
1.1. Системное представление снегоуборочного процесса	13
1.2. Анализ существующих подходов и инструментов планирования процесса снегоуборки	23
1.3. Методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки	30
1.4. Постановка задач процесса снегоуборки	34
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1	35
ГЛАВА 2. МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ	37
2.1. Выбор инструментального средства моделирования процесса снегоуборки	37
2.2. Методика построения многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки	37
2.3. Применение сетей Петри в методе компонентных цепей для моделирования дискретно-событийных процессов снегоуборки	43
2.4. Разработка активных компонентов и их макрокомпонентов для единиц снегоуборочной техники	49
2.4.1. Методика построения активных компонентов и их макрокомпонентов снегоуборочной техники	49
2.4.2. Модель активного компонента «Самосвала» и его макрокомпонента ...	58
2.4.3. Модель активного компонента «Снегопогрузчика» и его макрокомпонента	65
2.4.4. Формирование обобщенной компонентной цепи процесса снегоуборки	70
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2	72

ГЛАВА 3. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСА МНОГОУРОВНЕВЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА).....	74
3.1. Анализ и организация процесса снегоуборки в городе Томске.....	74
3.2. Разработка модели «Механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами».....	85
3.3. Разработка моделей этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц	96
3.3.1. Модель оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей	96
3.3.2. Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц»	107
3.4. Разработка модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами».....	114
3.5. Разработка модели «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон»	123
3.6. Анализ временных и производственных затрат процесса снегоуборки	134
3.7. Предложения по реформированию системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки Спецавтохозяйства.....	151
ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3	156
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	158
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	160
ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЯД СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ	180
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОНЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ	186
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА В ГОРОДАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА.....	194
ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПЕРЕЧЕНЬ УЛИЦ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ЗА СПЕЦАВТОХОЗЯЙСТВОМ.....	195

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. МАТРИЦА РАССТОЯНИЙ ГРАФА МАРШРУТА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ПРИ УБОРКЕ СНЕГА Г. ТОМСКА.....	197
ПРИЛОЖЕНИЕ Е. АНАЛИЗ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И УСТАНОВЛЕНИЯ КРАТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ СНЕГОУБОРОЧНЫХ РАБОТ	199
ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСЫПКИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ	200
ПРИЛОЖЕНИЕ З. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОГО СГРЕБАНИЯ И ПОДМЕТАНИЯ СНЕГА С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ УЛИЦ	202
ПРИЛОЖЕНИЕ И. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ВАЛА АВТОГРЕЙДЕРОМ	203
ПРИЛОЖЕНИЕ К. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОГРУЗКИ И ВЫВОЗА СНЕГА САМОСВАЛАМИ	205

ВВЕДЕНИЕ

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 [1-3].

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 [4-5]. 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.

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 [6-17]. 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 (механизированная 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 (КСУП) 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».

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 MAPC».

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 – 180 с., в т.ч. 84 рисунка, 15 таблиц.

Краткое 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.

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.

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.

ГЛАВА 1. СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ

1.1. Системное представление снегоуборочного процесса

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. Сроки уборки: дороги I категории - 4 часа после окончания снегопада, II категории - 8 часов, III категории - 12 часов [18];

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.

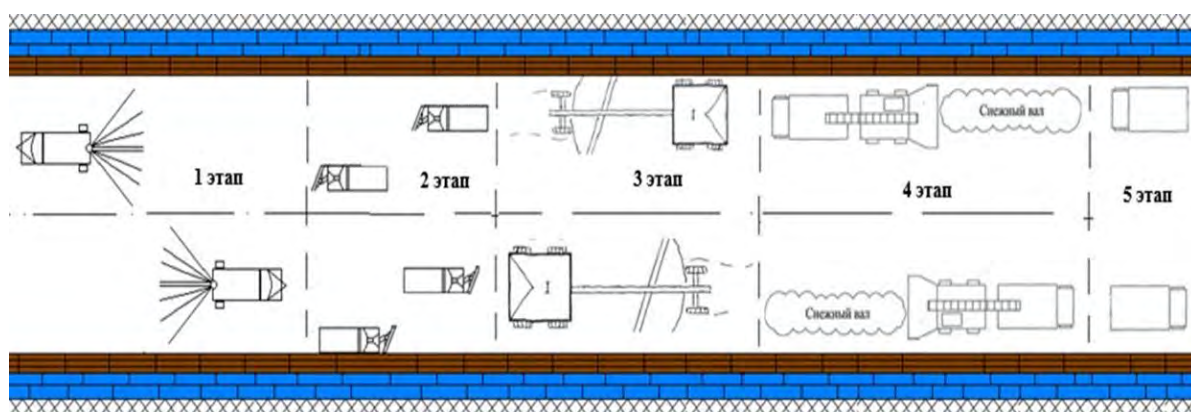


Рисунок 1.1 – Этапы процесса снегоуборки

Вышеперечисленные этапы взаимосвязаны, так как в процессе снегоуборки изменяется изначально зафиксированный объем снега.

Работы по снегоочистке дорог делят на объемные, для которых можно определить объем снега, подлежащий уборке, и безобъемные, для которых объем убираемого снега определить нельзя [19].

Так, процесс посыпки проезжей части противогололедными материалами (1 этап) относится к объемным работам. Практическое применение за счет плавления и снижения объема вывоза снега определяется следующим расчетом:

1. Количество тонн (V) расплавленного снега на улице (магистральной):

$$V = Q \cdot P, \quad (1.1)$$

где Q – общий расход реагента на площади $S \cdot q$ (S – площадь посыпки, м^2 ; q – плотность распределения, $\text{т}/\text{м}^2$); P – плавающая способность реагента при температуре применения.

Плавающая способность P – это сколько единиц льда, снега (г , кг , т) плавит единица химического реагента при данной температуре, определяется по выражению:

$$P = Q_{\text{л}} / Q_{\text{р}}, \quad (1.2)$$

где $Q_{\text{л}}$ – количество льда, которое плавит реагент (кг , т); $Q_{\text{р}}$ – единица применяемого химического реагента (кг , т) в течение заданного времени. Для наиболее применяемых реагентов в стране NaCl и CaCl_2 плавающая способность в зависимости от температуры определяется следующими выражениями:

$$P_{\text{NaCl}} = 60 / t; \quad P_{\text{CaCl}_2} = (40 / t) + 2, \quad (1.3)$$

где t – температура применения реагента.

2. В сантиметрах, расплавленного снега (h_p), это выразится (при плотности выпавшего снега ρ , $\text{т}/\text{м}^3$) следующим выражением:

$$h_p = (V / S \cdot \rho) \cdot 100, \text{ см}, \quad (1.4)$$

где S – площадь улицы, м^2 ; ρ – плотность выпавшего снега, $\text{т}/\text{м}^3$.

Разница ($H - h_p$) между высотой выпавшего снега (H), и расплавленного (h_p) снега, позволит определить объем снега, подлежащий вывозу [20].

Процесс сгребания и подметания снега с проезжей части улиц (2 этап) относится к безобъемным работам.

Все остальные виды снегоуборочных работ, а именно формирование снежного вала, погрузка и вывоз снега самосвалами – относятся к объемным работам [19].

На этапе формирования снежного вала (3 этап) снег уплотняется, причем коэффициент уплотнения свежавыпавшего снега при уборке принимают равным 3-3,5.

На этапе механизированной погрузки (4 этап) процесса снегоуборки, от объема снега, подлежащего уборке, зависит количество самосвалов, требующихся для погрузки.

На этапе вывоза снега самосвалами, объем вывозимого снега учитывается при расчете вместимости полигонов и заработной платы рабочим, в случае, если она у них зависит от объема вывозимого снега.

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что этапы процесса снегоуборки необходимо рассматривать как единое целое, что позволит более четко планировать и распределять ресурсы, например, такие, как снегоуборочная техника, кадровый состав, располагаемые средства и т.д.

Рассмотрим каждый этап процесса снегоуборки более подробно.

Механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами

Механизированная посыпка противогололедными материалами применяется для предотвращения прикатывания снега и примерзания его к дорожному покрытию, а также для снижения скользкости на дорогах (рис. 1.2). Для борьбы с гололедом используют специальные средства – противогололедные реагенты, которые, обладая повышенной плавящей и проникающей способностью, либо предотвращают зимнюю скользкость, либо способствуют таянию льда [21-22].

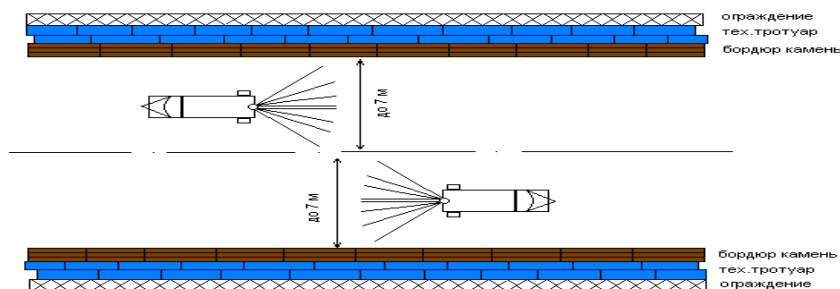


Рисунок 1.2 – Схема распределения противогололедных материалов

Механизированная посыпка проезжей части улиц состоит из последовательности следующих действий:

- загрузка пескоразбрасывателей противогололедными материалами;
- перемещение машин к месту работ;
- посыпка проезжей части;
- разворот после полного расхода противогололедных материалов;
- перемещение пескоразбрасывателей на пескобазу.

Выделяют следующие случаи посыпки проезжей части и искусственных сооружений противогололедными материалами:

- если снегопад продолжается, то производят сплошную посыпку проезжей части;
- при длительных снегопадах посыпают противогололедными материалами после каждого подметания и повторяют эту процедуру необходимое количество раз;
- если мосты и путепроводы уже покрыты ледяной пленкой, их следует в кратчайшие сроки посыпать противогололедными материалами;
- на мостах и путепроводах с интенсивным движением транспорта более 500 машин/час, если гололедные пленки сохраняются, необходимо через 2-3 часа осуществить повторную их посыпку противогололедными материалами [23].

Процесс снегоочистки с применением противогололедных материалов предусматривает следующие этапы: выдержку, обработку дорожных покрытий противогололедными материалами, интервал, сгребание и сметание снега.

Выдержка – период от начала снегопада до момента внесения противогололедных материалов в снег. Продолжительность выдержки зависит от интенсивности снегопада и температуры воздуха. Она должна полностью исключить возможность образования на дорожном покрытии растворов при контактировании снега и противогололедных материалов. Поэтому в период снегопада (интенсивностью 1–3 мм/ч и выше) к распределению противогололедных материалов необходимо приступать через 15–20 минут после

начала снегопада. При слабом снегопаде интенсивностью 0,5–1 мм/ч распределение следует начинать через 30–45 минут после его начала. Обработку покрытия следует производить в максимально короткие сроки.

Среди противогололедных материалов наиболее часто используемым является песко-соляная смесь (ПСС), которая представляет собой смесь песка с хлоридами (90% песка и 10% поваренной соли), что обеспечивает эффективность использования этого материала при снегопадах и гололедах, а также предотвращает смерзание песка при его хранении зимой на открытых площадках. Песко-соляная смесь распределяется равномерно по поверхности покрытия в соответствии с нормами расхода. Расход ПСС может зависеть как от температуры окружающей среды, так и от интенсивности движения. В таблице 1.1 представлена зависимость расхода песко-соляной смеси от температуры окружающей среды.

Таблица 1.1 – Режим и нормы распределения ПСС

Режим	Интенсивность снегопада, мм/ч	Температур а снега, °С	Норма распред еления, гр/м²	Продолжительность этапов, ч				
				Выдержка	Обработка реагентами	Интер- вал	Сгреба- ние и сметание	Всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Первый цикл								
1	0,5—1	Выше —6	100	45 мин	1	3	3	7час45мин
		—6...—18	200	45 мин	1			7час45мин
		Ниже —18	300	45 мин	1			7час45мин
2	1-3	Выше —6	120	15 мин	1	—	3	4часа15мин
		—6...—18	200	15 мин	1			4часа15мин
		Ниже —18	300	15 мин	1			4часа15мин
3	Свыше 3	Выше —6	120	15 мин	1	-	3	2часа45мин
		—6...—18	200	15 мин				2часа45мин
		Ниже —18	300	15 мин				2часа45мин
Последующие циклы								
1	0,5-1	Выше —6	120	-	1	3часа45 мин	3	7час45мин
		—6...—18	200			3часа45 мин		7час45мин
		Ниже —18	300			3часа45 мин		7час45мин
2	1-3	Выше —6	120	-	1	15 мин	3	4часа15мин
		Ниже —18	200					4часа15мин
			300					4часа15мин

3	Свыше 3	Выше —6 —6...—18 Ниже —18	120 200 300	-	1	15 мин	1,5	2 часа 45 мин 2 часа 45 мин 2 часа 45 мин
---	---------	---------------------------------	-------------------	---	---	--------	-----	---

Если норма расхода ПСС зависит от интенсивности движения, то она составляет:

- < 500 авт./сут -100 – 150 г/м²
- 500 – 1000 авт./сут -100 – 250 г/м²
- 1000 – 3000 авт./сут -250 – 400 г/м²

Средней нормой расхода песко-соляной смеси считается 250 г/м². Рабочая скорость пескоразбрасывателей при посыпке составляет 16-20 км/час, при «холостом ходе» до 50 км/час. Ширина обрабатываемого участка улиц за 1 проход составляет 6–7 м [24].

Для распределения реагентов используются пескоразбрасыватели (КАМАЗ КДМ-650-04, МАЗ-6312 МЛ-33001, либо аналог), на шасси которых установлен металлический кузов, в который загружается песок. При посыпке песок подается к разбрасывающему диску и равномерным слоем рассыпается по дорожному покрытию. Плотность посыпки регулируется скоростью движения машины или регулировкой механизма подачи.

Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц

Механизированное сгребание и подметание проезжей части в зимний период должно начинаться сразу после окончания очередного снегопада. При длительных интенсивных снегопадах (свыше 5 см и более) очередное подметание проезжей части должно производиться после выпадения каждых 5 см свежеснежавшего неуплотненного снега с последующей обработкой дорожного полотна ПСС.

Сгребание и подметание снега производится, как правило, в правую сторону с таким расчётом, чтобы снегоочистители шли в общем потоке транспорта и вал укладывался вдоль технического тротуара. При этом первая машина делает проход по оси проезда, а последующие – уступом с интервалом 15–20 м. След впереди идущей машины должен перекрываться на 0,25 – 0,5 м (рис. 1.3). На широких магистралях перекрытие может быть 0,8 – 1,2 м [24]. В колонне должно быть

столько машин, чтобы за 1 проход подмести всю полосу движения до прилотовой части. Это ускоряет процесс сгребания и подметания, а также предупреждает прикатывание снега и разбивание вала, создаваемого снегоочистительными машинами, проходящим транспортом.

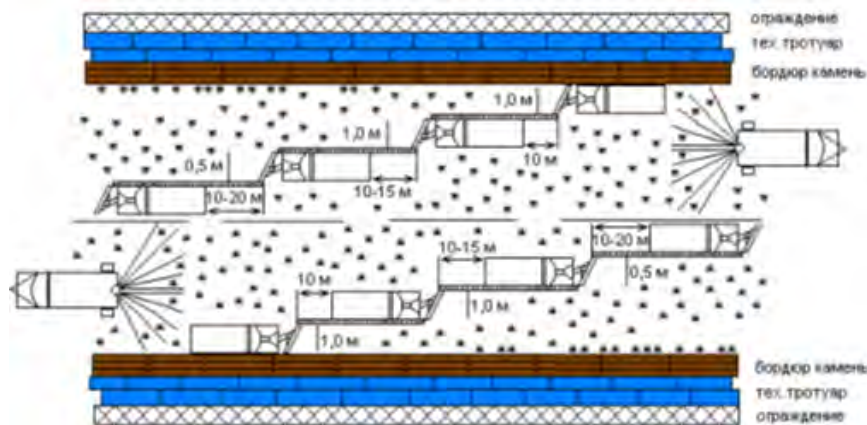


Рисунок 1.3 – Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц с последующей посыпкой ПСС

Последовательность действий по механизированному сгребанию и подметанию снега с проезжей части улиц включает в себя:

- перемещение машин к месту работы;
- приведение снегоочистителя в рабочее положение;
- очистка проезжей части;
- развороты в конце участка работ;
- перемещение машин в исходную точку отправления.

В таблице 1.2 представлены основные параметры плужно-щеточных снегоочистителей.

Таблица 1.2 – Основные параметры плужно-щеточных снегоочистителей

Наименование	Значение
Рабочая скорость машины	40 км/час
Фактическая производительность	20 тыс. м ² /час
Ширина рабочей зоны (плуга)	2,5 м
Ширина рабочей зоны (щётки)	2,3 м

Для сгребания и подметания снега с дорожных покрытий применяют плужно-щеточные снегоочистители (КАМАЗ-43255А3, МКДС-44105 либо аналог).

Формирование снежного вала

Снег, счищаемый с проезжей части улиц и проездов, сдвигается в их лотковую часть для временного складирования снежной массы и для обеспечения беспрепятственного движения автотранспорта. Основной задачей формирования снежного вала является очистка прилотковой части, технического или края совмещенного тротуара с подготовкой снежных масс к погрузке в самосвалы и вывозу на пункты приема снега (полигоны).

Формирование снежного вала производится тракторами со щеткой или двумя автогрейдером (либо одним автогрейдером, осуществляющим два прохода) (рис. 1.4). Ширина валов снега в лотковой части улиц не должна превышать 1,5 метра. Валы снега должны быть сформированы и располагаться на проезжей части на расстоянии 25–30 см от бордюра.

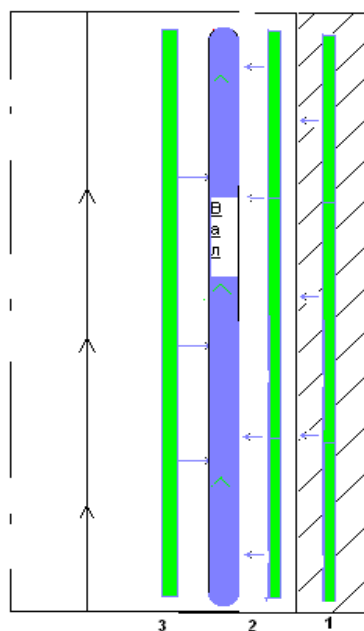


Рисунок 1.4 – Формирование снежного вала автогрейдером

В таблице 1.3 представлены основные параметры автогрейдеров.

Таблица 1.3 – Основные параметры автогрейдеров

Наименование	Значение
Рабочая скорость машины	1–10 км/час
Фактическая производительность	1,8 тыс. м ² /час
Ширина рабочей зоны	до 1,4 м

При формировании снежного вала тракторами-снегоочистителями принцип их работы аналогичен работе автогрейдеров.

Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами

Своевременное удаление снега и скота обеспечивает нормальную пропускную способность улиц и, кроме того, уменьшает возможность возникновения снежно-ледяных образований при колебаниях температуры воздуха. Снег, сгребаемый с проезжей части улиц, складировается в их прилотовую часть, на обочину проезжей части или на технические тротуары для последующего вывоза снега на полигоны. Оставшийся после вывоза снег и скот сдвигается на технический тротуар.

1. Механизированная погрузка снега

При погрузке снега снегопогрузчик должен двигаться вдоль лотка дороги в направлении, противоположном движению городского транспорта [23]. Находящийся под погрузкой самосвал следует подавать задним ходом вслед за снегопогрузчиком, чтобы после погрузки он мог двигаться в общем потоке транспорта, не пересекая его (рис. 1.5).

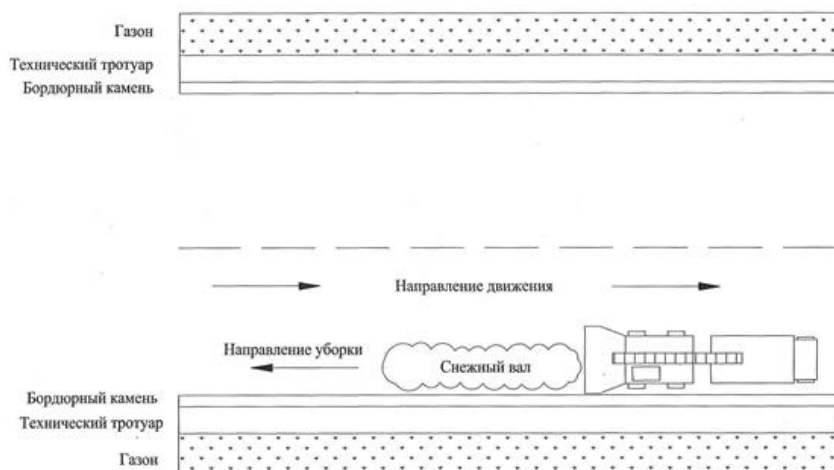


Рисунок 1.5 – Механизированная погрузка снега снегопогрузчиком

Порядок действий по погрузке снега фронтальными снегопогрузчиками с проезжей части включает в себя:

- перемещение снегопогрузчика от автопарка до места погрузки;
- приведение агрегата в рабочее положение;
- наполнение и подъем ковша;

- перемещение снегопогрузчика с материалом;
- разгрузка и опускание ковша;
- возвращение снегопогрузчика;
- установка под погрузку и отъезд автотранспортного средства;
- перемещение снегопогрузчика в исходную точку отправления.

В случае, если используется лаповый снегопогрузчик, то его последовательность действий такова:

- перемещение снегопогрузчика от автопарка до места погрузки;
- приведение агрегата в рабочее положение, установка под погрузку;
- перемещение снегопогрузчика одновременно с самосвалом, при этом осуществляя погрузку снега;
- перемещение снегопогрузчика в исходную точку отправления.

После каждого прохода снегопогрузчика производится зачистка дорожных лотков от остатков снежной массы с последующим их вывозом. Рабочая скорость снегопогрузчика варьируется от 0,18 до 2,5 км/час. Ширина его рабочей зоны составляет 2,35 м.

Порядок действий самосвала при погрузке-разгрузке снега включает в себя:

- перемещение самосвала от автопарка до места погрузки;
- осуществление погрузки снега в самосвал фронтальным / лаповым снегопогрузчиком;
- перемещение самосвала с места погрузки до снежного полигона;
- осуществление разгрузки снега на полигоне;
- перемещение самосвала от полигона до места погрузки или до автопарка.

2. Вывоз снега самосвалами

На снежном полигоне имеется специально подготовленная площадка, на которой организуется бесперебойная разгрузка самосвалов. Такая площадка разбивается на два участка, где на одном участке разгружаются самосвалы, на другом работают бульдозеры.

На снежном полигоне выполняются следующие основные виды работ: приём, складирование и уплотнение снежных масс. С целью складирования выгруженный снег сдвигается бульдозерами с площадки разгрузки на определённый участок снежного полигона и уплотняется. При полной заполняемости отведенной территории и невозможности продолжать буртовку, полигоны подвергаются операции-намораживания, то есть заливке водой верхнего слоя при температурах ниже -10 градусов для стабилизации поверхности наращивания 2-го яруса. При наращивании следующих ярусов операции повторяются. Работа по приёму снега осуществляется круглосуточно, в соответствии с графиком дежурств [24].

Каждый рейс привезенного снега на полигон регистрируется в журнале приёма снега по количеству рейсов разгрузки и тонн снега, а также указывается наименование улицы, с которой вывозился снег. В большинстве случаев на полигоны снег вывозится не только дорожно-эксплуатационными службами (основной поток), но и предприятиями, учреждениями и пр. (дополнительный поток). В таком случае, при необходимости, может учитываться приоритетность обслуживания (разгрузки) тех или иных самосвалов, задаваемая дорожно-эксплуатационными службами, работниками полигона и пр. [25]. Следовательно, при осуществлении вывоза снега на полигон порой наблюдается наличие очередей, которые могут быть спровоцированы недостаточным количеством полигонов; обильными снегопадами; огромным количеством прибывающих самосвалов и т.д., например, это особенно актуально для городов с повышенным уровнем осадков в зимний период, таких, как Оренбург, Томск, Южно-Сахалинск, Уральск и т.д. [26-29]. После снеготаяния территория снежного полигона должна быть очищена от мусора, и должен быть выполнен комплекс работ, направленных на приведение территории полигона в исходное состояние.

1.2. Анализ существующих подходов и инструментов планирования процесса снегоуборки

Расширение сети автомобильных дорог, вызванное постоянным ростом автомобильного парка, увеличением объема грузооборота и перевозок пассажиров,

предъявляет высокие требования к обеспечению безопасности движения по ним, а также их содержанию. Зимний период времени года характеризуется неблагоприятными условиями для движения транспорта, которые возникают, когда на покрытии автомобильных дорог образуются снежно-ледяные отложения, ухудшающие сцепные качества покрытия автомобильной дороги. Это негативно сказывается на уровне безопасности дорожного движения и приводит к увеличению транспортных заторов (табл. 1.4), а также количества дорожно-транспортных происшествий (ДТП) [30-31].

Таблица 1.4 - Ежегодный ущерб, связанный с транспортными заторами

Страна	Россия	США	Великобритания
Ежегодный ущерб, связанный с заторами, млрд. \$	150–177 (7–9% ВВП)	121	6,75
Численность парка, млн. л.а.	42	350	32
Среднегодовые потери времени в пробках, час	40 – 47	45 – 78	39

Показатели аварийности из-за неудовлетворительного состояния дорог в зимний период схожи по странам, например, в России и Литве они находятся в пределах 22-23% [32]. В шведских и немецких исследованиях было установлено развитие риска ДТП на дорогах уже в течение суток с начала выпадения осадков. По результатам исследований можно сделать вывод, что в период до принятия мер по уборке дорожного покрытия увеличивается степень риска попасть в ДТП и, как следствие, затрудняются условия движения. После принятия мер риск ДТП снижается примерно к тому уровню, который имел место до наступления плохих условий движения на дорогах [33].

Анализ статистики смертности при ДТП из-за небезопасного состояния дорог позволяет сделать неутешительные для нашей страны выводы. Так, например, в России – на 100 000 населения приходится 18,9 смертей при ДТП, а в Швейцарии - 3,3 на 100 000 населения [34]. В Европейских странах для обеспечения и поддержания безопасного состояния дорог применяется концепция «нулевой смертности», которая говорит об обеспечении всеми доступными средствами полной безопасности своим гражданам в дорожном движении [35]. Под

доступными средствами в данной концепции понимается современная дорожная техника и использование прогрессивных технологий. В то же время необходимо учитывать и объемы убираемой снежной массы, так страны зарубежья существенно уступают России по величине выпадающих осадков. Среди стран зарубежья наибольший интерес представляют системы снегоуборки и противогололедной обработки в Финляндии и Швеции ввиду значительного сходства их климатических характеристик с условиями России [36].

При организации процесса снегоуборки автомобильных дорог большее внимание уделяется рациональному использованию и планированию материально-технических и финансовых ресурсов, а также повышению качества содержания дорог и безопасности движения автотранспорта на них. В России, согласно этим целям, первостепенное внимание уделяется федеральным и республиканским дорогам, что обусловлено их спецификой (они связывают областные и районные центры, города и крупные поселки и принимают на себя около 80% грузопотока), а также дорогам с постоянным автобусным движением.

В России автомобильные дороги разделены на несколько категорий, причем для снегоочистки и обработки покрытия противогололедными материалами (ПГМ) установлены директивные сроки (табл. 1.5), которые определяются с момента окончания снегопада и (или) метели до полного его устранения, а зимней скользкости – с момента ее обнаружения [37-38].

Таблица 1.5 – Сроки устранения снега и зимней скользкости на проезжей части в России

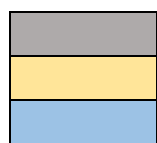
Вид снежно-ледяных образований	Категория дороги	Группа улиц	Срок устранения*, ч, не более
Рыхлый или талый снег	IA, IB	A, Б	4 (3)
	IB, II	В, Г	5 (4)
	III—IV	Д, Е	6
	V	—	12
Зимняя скользкость	IA, IB, IB	A—B	4 (5)
	II, III	Г, Д	5
	IV	Е	6
	V	—	12
Примечание — В скобках указаны сроки устранения для дорог и улиц городов и сельских поселений.			

В Финляндии стандарты зимнего содержания дорог устанавливает Финская Национальная Дорожная Администрация, которая определяет класс сервиса,

обеспечиваемого для каждой автомобильной дороги в стране. По уровню зимнего содержания автомобильные дороги Финляндии классифицируются в соответствии с их функциональным классом и интенсивностью движения (ADT) (табл. 1.6).

Таблица 1.6 – Классификация автомобильных дорог в Финляндии

СИД (ADT)	Магистральные дороги		Главные дороги		Региональные дороги	Связующие дороги
>12000	Isk		Isk		Isk	Is
6000-12000	Is		Is		Is	I
3000-6000	I		I		I	Ib
1500-3000	I	Ib	I	Ib	Ib	Ib
500-1500	Ib	II	Ib	II	II	II
200-500	II		II	II	II	III
<200			II	III	III	II
Пешеходные и велосипедные дорожки	IV	IV	IV	IV	IV	IV



- дороги, содержащиеся с чистым покрытием;

- дороги, содержащиеся с накатом в период холодных зимних условий;

- дороги, содержащиеся с накатом;

Isk – многополосные дороги с разделительной полосой;

Is – дороги без разделительной полосы;

Ib – допускается наличие тонкого слоя уплотненного снега.

Директивные сроки по очистке дорог от снега и обработки ПГМ (время цикла) – это период с момента, когда показатель состояния дороги не соответствует стандартам до момента его восстановления (табл. 1.7) [39].

Таблица 1.7 – Директивные сроки по очистке дорог от снега и обработки ПГМ в Финляндии

Класс автомобильной дороги	Целевое значение, показатель состояния	Время цикла			
		Противогололедные мероприятия	Снегоочистка	Уборка талого снега	Выравнивание поверхности
Isk	4	2 ч.	2,5 ч.	2,0 ч.	1 сут.
Is	4	2 ч.	2,5 ч.	2,0 ч.	1 сут.
Ib	4	2 ч.	3,0 ч.	2,5 ч.	1 сут.
II	4/3	3 ч.	3,0 ч.	3,0 ч.	1 сут.
II	3	4 ч.	4,0 ч.	4,0 ч.	3 дн.

III	2	6 ч.	6,0 ч.	6,0 ч.	5 дн.
IV	3	4 ч.	4,0 ч.	4,0 ч.	2 дн.

Следовательно, принципиальных отличий в уровнях содержания дорог в России и в Финляндии нет, однако директивные сроки по очистке и обработке ПГМ в Финляндии значительно короче, что позволяет обеспечить более безопасные условия движения. Кроме того, анализ исследований, раскрывающих сравнение международного и российского опыта зимнего содержания дорог позволяет сделать вывод, что подход к уборке снега во всех странах одинаковый, но инструменты уборки различаются в зависимости от объема убираемого снега, экологичности, ширины проезжей части, трудоёмкости работ и т.д. [40-42]. Публикации, посвященные инструментам планирования процесса снегоуборки можно разделить на следующие основные группы:

1) усовершенствование снегоуборочной техники и определение ее количества;

Исследования российских ученых в области снегоуборочной техники в основном направлены на ее модернизацию и усовершенствования [43-45]. Так, например, в работе авторов Мерданова Ш.М., Конева В.В., Райшева Д.В., Балина А.В. разработана конструкция отвала для снегоуборочных машин и представлена виртуальная модель для оценки ее работоспособности [46].

В отличие от России, зарубежные страны являются профессионалами в области безопасности дорог. Для осуществления процесса снегоуборки они используют мощную инновационную технику, новые способы борьбы с гололедом (например, теплый гравий, который после оттаивания льда аккуратно собирается для повторного использования) и пр., что позволяет качественно и за короткий промежуток времени избавиться от снега на дорогах. Например, в Финляндии имеется обширный парк необходимого оборудования, территории уборки четко распределены между ответственными организациями, а для посыпки дорог используется каменная крошка. В США используется дорожное покрытие с солнечными панелями, которое позволяет избавиться от наледи и снега, излучая накопленное в светлое время суток тепло; помимо этого, в американском автопарке

содержатся мощные грузовики с двумя ковшами, у которых один ковш – впереди, а второй – по всей длине прицепа, прикрепленного сзади к грузовику [47-48]. Набирая скорость, он разворачивает прицеп поперек автодороги и, таким образом, сгребает снег с более широкой площади.

Сегодня страны-профессионалы открыты к сотрудничеству, и опыт их работы доступен для обмена. Так, например, в Финляндии проводятся различные конференции, семинары и конгрессы, а именно 6-10 февраля 2018 г. был организован 32-й зимний дорожный конгресс «Современные технологии в строительстве и зимнем содержании автомобильных дорог Скандинавии», в рамках которого была продемонстрирована выставка дорожной техники, проведены семинары по новым технологиям зимнего содержания дорог и т.п.; с 16.10.2018 по 20.10.2018 был запланирован конгресс на тему «Новейшие уникальные и эффективные скандинавские технологии всесезонного содержания дорог в Финляндии и Швеции. Пути снижения затрат на содержание дорог. Особенности зимнего содержания дорог в скандинавских странах» [49]. Кроме того, с целью сотрудничества и обмена опытом между городами, была создана «Ассоциация мэров зимних городов мира», в список членов которой входят представители 20 городов и 9 стран (по данным на март 2017г.), в том числе и России (г. Новосибирск, г. Магадан) [50].

В работах Трофимовой И.Ф., Куляшова А.П., Молева Ю.И. и других исследователей представлены методики и рекомендации для определения оптимального количества машин для снегоуборки [51-55].

2) способы вывоза снега;

В работах, посвященных традиционному способу вывоза снега на специально предназначенные для этого полигоны, внимание акцентируется на экологическом состоянии этих площадок, на необходимости снижения и устранения их отрицательного воздействия на окружающую среду [56-58]. Большинство работ в этой области направлены на усовершенствование способов утилизации снега, то есть актуализируется применение снегоплавильных установок [59-62].

Анализ соответствующих данных показал, что часть городов снегоплавильные установки не имеют по причине дорогостоящего их приобретения, например, такие города как Томск, Омск и пр. [63-64]. Но и при наличии снегоплавильных установок все проблемы, связанные с уборкой снега, полностью не решаются. Например, в городе Новосибирске подобные проблемы сохраняются, о чем свидетельствуют неоднократно подаваемые жителями жалобы о плохом состоянии дорог [65-66].

3) способы повышения эффективности процесса организации уборки снега.

О способах повышения эффективности процесса организации уборки снега писали в своих работах такие исследователи, как Цыдыпова Д.О., Петухова О.А., Макарычев Е.А. и др. Они приходят к выводу, что для решения проблемы уборки требуется применить комплексный подход, т.е. учитывать влияние как внешних факторов – условия эксплуатации машины, так и внутренних – изменений параметров машины [67-69].

Анализ современного состояния исследований в области планирования зимнего содержания дорог показывает, что в работах, посвященных выбранному направлению исследований, в основном освещаются этапы планирования и прогнозирования потребляемых ресурсов и финансовых затрат [6-8, 70].

Более того, повысить эффективность процесса организации уборки снега можно с помощью применения метода моделирования, который используется в различных областях исследований. Относительно процессов зимнего содержания дорог его применение наблюдается при исследовании накопления снега и при рассмотрении самих процессов снегоуборки [71-73].

Исследования, посвященные моделированию зимнего содержания дорог, проводили: Телушкина Е.К., Боброва Т.В., Слепцов И.В., Самодурова Т.В., Тропынин Е.Н., Moghadasa S., Gustafssona A-M, Muthannac T.M., Langevin A., Campbell J. F. и другие [9-16, 74-75]. В данных работах модели процесса снегоуборки построены на основе математического и информационного моделирования с учетом данных о погоде и технике, а также уровня загрузки городской улично-дорожной сети. Применение имитационного моделирования

наблюдается в работе Телушкиной Е.К., в которой с точки зрения двухфазной системы массового обслуживания исследован процесс погрузки-транспортировки-разгрузки и утилизации снега на снегосплавных пунктах [76-77].

Таким образом, состояние снегоуборочной техники и ее количество, а также способы вывоза снега, как правило, заранее определены до планирования процесса снегоуборки, а пути повышения эффективности организации такого процесса находятся в стадии развития. Исходя из этого, актуализируется этап планирования с применением моделирования. Результаты анализа литературных источников показали, что применению имитационного моделирования в процессе снегоуборки посвящено сравнительно небольшое количество работ [11-14, 77]. В представленных работах создание комплекса имитационных моделей, построенных с учетом единиц снегоуборочной техники и их взаимодействия в процессе снегоуборки на стадии планирования, а также описание методики оценки полученных в результате моделирования временных и производственных затрат на эксплуатацию техники не прослеживаются. Это и обусловило выбор темы данного исследования.

1.3. Методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки

Современные условия процесса принятия управленческих решений требуют от руководителей дорожно-эксплуатационных служб разработки обоснованных и эффективных стратегий, влияющих на результативность всей системы управления. Например, если на этапе погрузки снега выделено избыточное количество техники, то часть ее останется незадействованной, что приведет к излишним финансовым растратам на топливо и рабочих. Разработка управленческих решений представляет собой процесс, объединяющий основные функции управления: планирование, организация, мотивация, контроль, и является неотъемлемой составляющей системы управления [78-79].

Среди функций управления основополагающим является этап планирования, важность которого можно обосновать с помощью цикла Деминга. Цикл Деминга

начинается с этапа планирования и говорит о том, что для обеспечения видов деятельности дорожно-эксплуатационных служб, контролировать на соответствие требованиям нормативной документации необходимо не результат, а процесс. Затем, применив план на практике, следует сравнить полученный результат с запланированным и, в случае надобности, оптимизировать ресурсы таких служб для соответствующего процесса. Таким образом, планирование является динамической функцией, которая используется для создания прочного фундамента для остальных видов управленческой деятельности. Цель функции планирования состоит в создании взаимообусловленной системы принятия решений, позволяющей улучшить работу предприятия [80-81].

В связи с тем, что деятельность дорожно-эксплуатационных служб тесно связана с «непредсказуемыми» погодными условиями и при этом стремится к распределению и планированию ресурсов с учетом влияния метеорологических и технических факторов, актуализируется предложение об использовании этими службами имитационного моделирования. Выделяют два основных значения термина «моделирование»:

- моделирование – это процесс построения модели как некоторого представления оригинала, отражающей его наиболее важные черты и свойства;
- в случае, когда модель уже построена, под моделированием принято понимать процесс анализа или исследования функционирования системы, точнее, модели этой системы [82].

На рисунке 1.6 представлена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники лицом, принимающим решения (ЛПР) посредством применения имитационного моделирования.

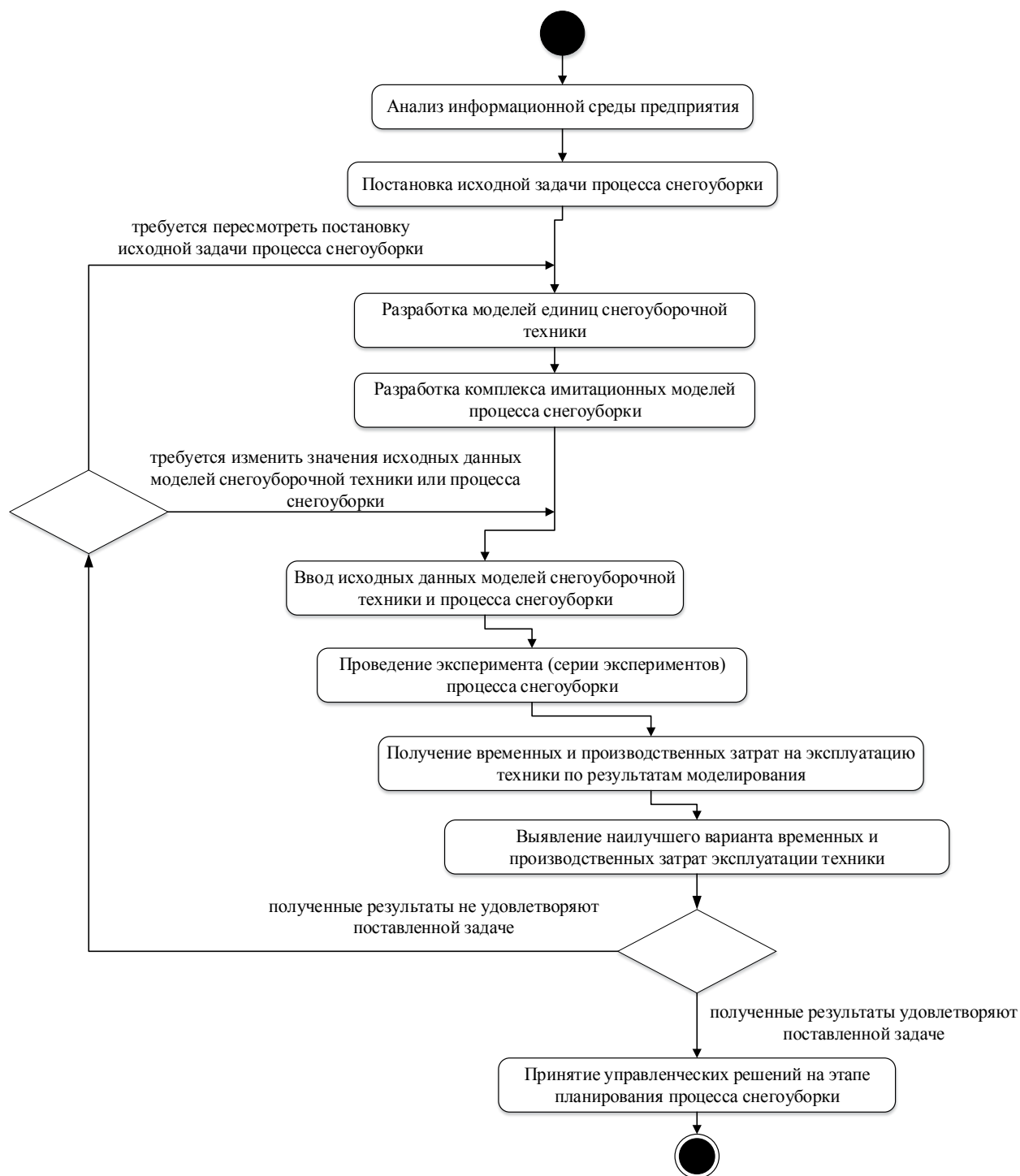


Рисунок 1.6 – Методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки

Особую роль при планировании зимней уборки улично-дорожной сети играет информация и ее упорядоченное представление в виде информационного блока, который включает в себя следующие данные: прогноз погоды; сведения о ситуации на дорогах (например, информация о «пробках»); перечень убираемых улиц; количественный состав ресурсов предприятия (например, материально-

техническая база, кадровый состав, финансовые средства и т.д.); нормативную документацию и пр. Первым этапом в предложенной методике является анализ ЛПР информационной среды предприятия.

На втором этапе методики, исходя из результатов анализа информационной среды предприятия, ставится задача процесса снегоуборки, которую ЛПР необходимо решить в процессе моделирования. Например, выполнение работ процесса снегоуборки необходимо произвести за определенный промежуток времени или фиксированным количеством техники, или в рамках установленного контракта денежных средств и при этом определить временные и производственные затраты на эксплуатацию проработанной техники.

На третьем этапе предложенной методики осуществляется разработка имитационных моделей единиц снегоуборочной техники, например, самосвала, снегопогрузчика и т.д. Каждая модель техники описывает все события, происходящие с ней в процессе снегоуборки.

После построения моделей единиц снегоуборочной техники разрабатывается комплекс имитационных моделей процесса снегоуборки, который отражает взаимодействие техники между собой и реализуется на четвертом шаге, например, взаимодействие снегопогрузчика и самосвала при погрузке снега.

На основе информационного блока задаются исходные данные имитационных моделей единиц снегоуборочной техники и процесса снегоуборки, что соответствует пятому этапу методики. Например, учитывается объем выпавшего снега, технические характеристики техники и пр.

На шестом этапе проводится эксперимент или серия экспериментов путем варьирования как составом структурных единиц снегоуборочной техники, так и исходными данными разработанных моделей. Одно из преимуществ имитационного моделирования, как метода изучения и анализа различных процессов, заключается в том, что оно позволяет без существенных затрат спрогнозировать влияние внедряемых изменений, оценить предполагаемую выгоду, либо возможный ущерб.

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. Для этого существуют различные методы, например, линейное программирование, экспертные методы, метод сравнения, метод дерева решений и др. [83-84]. Применение того или иного метода зависит от специфики исследуемой области; факторов, влияющих на итоговое решение и пр. В случае, если полученные результаты не соответствуют поставленной задаче, необходимо изменить значения исходных данных имитационных моделей снегоуборочной 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 [85-86].

Предлагаемая методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники позволит четче планировать процесс снегоуборки и на основе этого принимать обоснованные решения. Более того такая методика с последующим построением комплекса имитационных моделей процесса снегоуборки является универсальной, другими словами, в данной диссертационной работе она рассматривается применительно к этапам процесса снегоуборки, но при изменении объекта исследования в области вывоза мусора, поливки улиц и других подобных процессов модель может быть перестроена [87].

1.4. Постановка задач процесса снегоуборки

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что основной критерий снегоуборки — это своевременность и минимизация затрат. Для

обеспечения выполнения этих критериев предлагается дополнить этап планирования процесса снегоуборки новыми возможностями, а именно посредством применения имитационного моделирования. Следовательно, задачи процесса снегоуборки, стоящие перед моделированием, заключаются в следующем:

- разработать необходимый инструментарий построения имитационных моделей процесса снегоуборки;
- разработать модель «Механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами»;
- разработать модели этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц;
- разработать модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами»;
- разработать модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон».

Модель формирования снежного вала в рамках моделирования не рассматривается по причине того, что на этом этапе не требуется особых расчетов и для определения производственных затрат на эксплуатацию техники достаточно знать продолжительность выполняемой технологической операции.

В результате моделирования требуется определить и проанализировать временные и производственные затраты каждой единицы снегоуборочной техники на ее эксплуатацию, что позволит оценить выполнение процесса снегоуборки на соответствие изначально заявленным требованиям.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 1

1. Процесс снегоуборки, состоящий из следующих этапов: механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами; механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц; формирование снежного вала; механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами, необходимо

рассматривать как единое целое, что позволит четче его планировать и с учетом этого распределять ресурсы.

2. По результатам анализа российских и зарубежных исследований можно сделать вывод, что подход к уборке снега во всех странах одинаковый, но инструменты уборки различаются в зависимости от объема убираемого снега, экологичности, ширины проезжей части, трудоёмкости работ, технической обеспеченности и т.д. В случае, когда имеющиеся ресурсы уже определены, в качестве инструмента планирования процесса снегоуборки предлагается воспользоваться имитационным моделированием, которому посвящено сравнительно небольшое количество работ. В представленных работах создание комплекса имитационных моделей, построенных с учетом единиц снегоуборочной техники и их взаимодействия в процессе снегоуборки на стадии планирования, а также описание методики оценки полученных в результате моделирования временных и производственных затрат на эксплуатацию техники, не прослеживаются.

3. Представленная методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники позволит четче планировать процесс снегоуборки и на основе этого принимать обоснованные решения.

ГЛАВА 2. МЕТОДИКА И ИНСТРУМЕНТАРИЙ ПОСТРОЕНИЯ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ

2.1. Выбор инструментального средства моделирования процесса снегоуборки

Для моделирования дискретно-событийных процессов можно воспользоваться системами: Arena, VisSim, AnyLogic, среда моделирования MAPC (CM MAPC), ExtendSim, Simio, Simulink и другими. Исходя из специфики процесса снегоуборки, сформулируем критерии выбора системы имитационного моделирования:

- наличие инструментов для моделирования динамического и дискретно-событийного поведения объектов;
- наличие инструментов взаимодействия с базами данных;
- наличие инструментов для моделирования очереди;
- наличие инструментов для построения алгоритмических конструкций;
- наличие инструментов для математических расчетов;
- возможность визуального отображения результатов моделирования;
- возможность пополнения библиотеки новыми инструментами;
- возможность моделирования взаимодействия объектов между собой.

Проведем сравнение некоторых систем имитационного моделирования, отвечающих в той или иной степени вышеперечисленным критериям (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Сравнение некоторых систем имитационного моделирования

№	Основные характеристики	<i>Arena</i>	<i>AnyLogic</i>	<i>CM MAPC</i>	<i>Simulink</i>
1.	Предназначение системы	Предназначена для построения имитационных моделей производственных и технологических процессов, оптимизации обслуживания клиентов в сфере услуг, транспортных задач и т.д.	Предназначена для моделирования различных областей: производство; логистика; сфера обслуживания; здравоохранение; информационные системы;	Предназначена для моделирования физически неоднородных технических устройств и систем; систем массового обслуживания; дискретно-событийных систем и т.д.	Предназначена, в основном, для моделирования задач из различных областей физики и техники.

			социальные и экологические системы и т.д.		
2.	Наличие инструментов для моделирования динамического и дискретно-событийного поведения объектов	+	+	+	+
3.	Наличие инструментов взаимодействия с базами данных	+	+	+	частично
4.	Наличие инструментов для моделирования очереди	+	+	+	-
5.	Наличие инструментов для построения алгоритмических конструкций	+	+	+	-
6.	Наличие инструментов для математических расчетов	+	+	+	+
7.	Возможность визуального отображения результатов моделирования	+	+	+	+
8.	Возможность пополнения библиотеки новыми инструментами;	-	-	+	-
9.	Возможность моделирования взаимодействия объектов между собой	-	-	+	-

По результатам сравнения систем имитационного моделирования процесса снегоуборки выбрана СМ МАРС, которая отвечает большинству заявленных критериев, а главное позволяет оперативно пополнять библиотеку новыми компонентами. Анализируя представленные системы на предмет исследования в

них моделей процесса снегоуборки выявлено, что в работе Телушкиной Е.К. прослеживается имитационное моделирование транспортно-технологического комплекса, а именно погрузки-транспортировки-разгрузки и утилизации снега на снегосплавных пунктах, реализованное в программе AnyLogic версии 6.4.1. Исследования Телушкиной Е.К. посвящены рассмотрению этапа погрузки-разгрузки снега с точки зрения двухфазной системы массового обслуживания, благодаря чему учитывается стохастический характер прибытия и убытия самосвалов с помощью задержек, полученных посредством наблюдения. В результате моделирования автором были получены теоретические зависимости времени ожидания/простоя от количества самосвалов с целью выявления оптимального их количества.

В данной диссертации, в отличие от работы Телушкиной Е.К., представлен комплекс имитационных моделей процесса снегоуборки в СМ МАРС, охватывающий основные его этапы и позволяющий определить временные и производственные затраты каждой единицы снегоуборочной техники. При построении таких моделей учитываются факторы, влияющие на процесс снегоуборки, такие как погодные и технические, а, при необходимости, и ситуация на дорогах (например, транспортные заторы). Временные затраты техники определяются по результатам имитационного моделирования их дискретно-событийных процессов, а это, в свою очередь, позволяет рассчитать производственные издержки с учетом тарифной стоимости каждой машины.

2.2. Методика построения многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки

Для построения моделей процесса снегоуборки предлагается использовать среду моделирования МАРС (СМ МАРС), которая разрабатывается и развивается в Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники. Изначально она была предназначена для моделирования физически неоднородных технических устройств и систем, но в настоящее время ее библиотека моделей компонентов развивается и пополняется новыми компонентами (приложения А, Б),

позволяющими применить метод компонентных цепей к моделированию систем массового обслуживания, процессов снегоуборки, социально-экономических и экологических систем и т.д. [88-92].

В СМ МАРС реализованы взаимосвязанные четыре вида моделирования:

- объектный математический, предполагающий автоматизированное формирование модели исследуемого объекта в виде системы алгебро-дифференциальных уравнений, ее линеаризацию и решение в статическом и динамическом режимах;

- объектный имитационный, предполагающий реализацию статического и динамического имитационного моделирования, а также обработку и обмен информацией между компонентами во времени. Данный вид моделирования может быть применен для объектов с информационными связями, модели компонентов которых представляют собой разнообразные алгоритмы обработки данных. К таким объектам относятся: экологические, экономические, эколого-экономические системы, системы массового обслуживания и иные, моделирование которых основано на аппарате сетей Петри;

- логико-алгоритмический, являющийся составной частью имитационных моделей, используемый для прямой реализации блок-схем алгоритмов на логическом уровне. При таком виде моделирования в каждом отдельном компоненте реализуются методы приема входных данных (аргументов) и их преобразование по определенному алгоритму с целью получения и передачи на другие компоненты его входных данных (результатов), либо их отображения на визуальном уровне СМ МАРС;

- визуальный – тип моделирования, предназначенный для визуализации результатов вычислительного и алгоритмического видов моделирования и интерактивного управления параметрами исследуемого технического объекта [93-94].

В соответствии с указанными типами моделирования многослойный редактор СМ МАРС включает в себя три уровня (слоя):

– объектный – уровень, где из моделей компонентов различных физических областей формируется модель исследуемого технического объекта, предназначенная для моделирования в статическом и динамическом режимах;

– логический – уровень, на котором отображаются компоненты логического уровня моделирования. По соединениям между компонентами данного уровня производится обмен информацией различных типов данных;

– визуальный, на котором отображаются компоненты визуального типа моделирования. Их визуальные образы на данном уровне изменяют свое изображение в зависимости от полученных данных. Такие компоненты с целью приема информации имеют свое отображение также и на логическом уровне [95].

Исходя из имеющейся многоуровневой архитектуры СМ МАРС, рассмотрим структурно-функциональную схему многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Структурно-функциональная схема многоуровневых имитационных моделей процесса снегоуборки

Входные данные модели основаны на представленных базах данных, например, на БД об убираемых улицах, и на информационных источниках, например, о ситуациях на дорогах и пр.

Выходные данные модели могут быть представлены в виде статических или динамических результатов, в виде рисунков, таблиц и т.д.

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 функциональная модель объекта исследования (т.е. 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.

Визуальный уровень содержит средства визуализации результатов анализа имитационной модели объекта исследования (т.е. каждой единицы снегоуборочной техники), формирования задающих воздействий и других реакций от модели.

По результатам дискретно-событийных моделей процесса снегоуборки определяется продолжительность выполнения всей технологической операции каждой единицы снегоуборочной техники. Это, в свою очередь, позволит дополнить экономическую модель процесса снегоуборки исходными данными. В диссертационной работе под экономической моделью понимается модель, позволяющая определить производственные затраты соответствующего вида работ за определенный промежуток времени, которые рассчитываются по формуле:

$$S = T_{\text{ед.тех}} * C_{\text{ед.тех}} \quad (2.1)$$

где S – стоимость работ единицы снегоуборочной техники за определенный промежуток времени T , руб.; $T_{\text{ед.тех}}$ – продолжительность выполнения всей технологической операции каждой единицы снегоуборочной техники, ч.; $C_{\text{ед.тех}}$ – тариф каждой единицы снегоуборочной техники, руб./ч. Помимо этого, в зависимости от вида выполняемых работ при расчете производственных затрат учитываются и сопутствующие расходы каждого этапа, например, на этапе механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами

учитывается стоимость ПГМ, на этапе механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами – затраты на эксплуатацию снежных свалок.

Таким образом, СМ МАРС позволяет частично или полностью заменить физический эксперимент вычислительным, исследовать и оптимизировать характеристики создаваемых устройств или подсистем в поисках наилучшего варианта. Основными ее функциями являются:

- удобный графический набор структуры и процессов исследуемого объекта;
- обработка результатов моделирования;
- моделирование схем и систем любой природы (электронные, механические, управляющие и т.д.);
- возможность сочетать различные методы моделирования;
- возможность сопряжения с аппаратной частью [93].

Обобщая все вышесказанное, можно сделать вывод, что метод имитационного моделирования является универсальным и позволяет выявить в модели проблемные участки, тем самым усовершенствовать процесс планирования и организации. Одним из основных преимуществ имитационного моделирования, как метода изучения и анализа различных процессов, является то, что оно позволяет без существенных затрат спрогнозировать влияние внедряемых изменений, оценить предполагаемую выгоду, либо возможный ущерб. Кроме того, имитационное моделирование позволяет провести серию экспериментов, осуществляющихся варьированием исходных данных модели.

2.3. Применение сетей Петри в методе компонентных цепей для моделирования дискретно-событийных процессов снегоуборки

Для моделирования дискретно-событийных процессов техники предлагается использовать сети Петри (СП), которые состоят из вершин двух типов — позиций и переходов, соединённых между собой дугами. Вершины одного типа не могут

быть соединены непосредственно. В позициях могут размещаться метки (маркеры), способные перемещаться по сети (рис. 2.2).

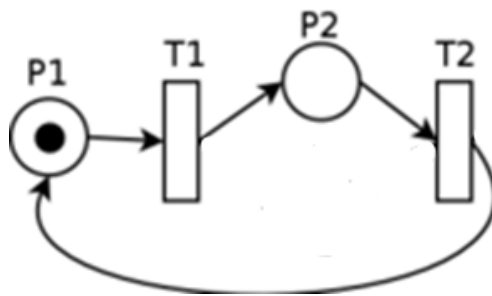


Рисунок 2.2 – Пример сети Петри

На рисунке 2.2 белыми кружками обозначены позиции, полосками — переходы, чёрными кружками — метки.

Структура сетей Петри описывается следующей четверкой:

$$C = (P, T, I, O), \quad (2.2)$$

где $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ — конечное множество позиций, $n \geq 0$, $T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}$ — конечное множество переходов, $m \geq 0$. Множество позиций и множество переходов не пересекаются, $P \cap T = \emptyset$. $I: T \rightarrow P^\infty$ является входной функцией — отображением переходов в комплекты позиций. $O: P \rightarrow T^\infty$ есть выходная функция — отображение комплектов позиций в переходы [96].

Перед моделированием определяются, какие действия происходят в системе, состояния, предшествовавшие этим действиям, а также те состояния, которые примет система после выполнения действия. Событийная модель в сетях Петри описывает поведение системы, причем анализ результатов может сказать о том, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе не достижимы [97].

Классификация сетей Петри обширная, но для моделирования процесса снегоуборки можно выделить следующие виды:

- 1) временная сеть Петри;
- 2) стохастическая сеть Петри;
- 3) функциональная сеть Петри;
- 4) сети с приоритетами;
- 5) автоматные сети.

Рассмотрим каждый вид сети Петри более подробно.

1. Чтобы моделировать не только последовательность событий, но и их привязку ко времени, нужно ввести модельное время. Это осуществляется приданием переходам веса — продолжительности (задержки) срабатывания, которую можно определять, используя задаваемый при этом алгоритм. Полученную модель называют временной сетью Петри. Временная сеть Петри — это сеть, которая характеризуется введением задержек при перемещении маркера. Задержка может быть связана как с переходом, так и с позицией. Данный вид сети Петри применяется для моделирования любого процесса снегоуборки городских улиц.

2. В случае, когда задержкой являются случайные величины, то сеть называют стохастической сетью Петри. В стохастических сетях возможно введение вероятностей срабатывания переходов. Этот вид сети Петри может быть применен при погрузке или разгрузке снега самосвалами.

3. Если задержки определяются как функции некоторых аргументов, которыми могут быть количества маркеров в каких-либо позициях, состояния некоторых переходов и т.п., то речь идет о функциональной сети Петри, отражающей не только последовательность событий, но и процессы обработки некоторых потоков данных. Для этого в описание каждого перехода добавляется алгоритм обработки данных.

В функциональных сетях Петри дополнительно с каждым переходом связывается процесс обработки потоков данных (приоритеты, очереди), то есть можно ввести обработку, связанную с каждым переходом; также существует привязка маркера к цвету (например, задание приоритета). Этот вид сети Петри необходим для выполнения вычислений в сети, определяющих параметры модели, и, например, может быть использован в любых моделях для определения временного интервала задержки [98].

4. Сети Петри с приоритетами добавляют к разрешенным переходам приоритеты и тем самым позволяют снизить недетерминированность срабатываний, ограничивая множество разрешенных переходов группой переходов

с наивысшим приоритетом. Такие сети Петри в области снегоуборки могут быть применены на полигонах при необходимости одновременной разгрузки нескольких самосвалов [99].

5. Автоматные сети Петри — сети, в которых переход имеет не более одного входа и не более одного выхода. Такие сети обычно описывают последовательные процессы с ветвлением по условию. Данный вид сети Петри может быть применен для процессов, содержащих срабатывания переходов по условию. Например, самосвал будет отправлен на погрузку, в случае, когда объем снега в кузове будет равен 0.

В основе работы СМ МАРС лежит метод компонентных цепей (МКЦ), который позволяет представить физически неоднородный технический объект (например, снегоуборочную технику (самосвал, снегопогрузчик и т.д.)) в виде компонентной цепи, т.е. набором компонентов, входящих в библиотеку моделей и связанных между собой согласно принципиальной, кинематической, структурной схеме или другой формальной структуре. После этого производится моделирование в статическом или динамическом режимах [93]. В тезисном выражении основные характеристики формализма метода компонентных цепей можно представить в виде следующих составляющих:

1) МКЦ – это объектно-ориентированный язык для моделирования сложных и физически неоднородных систем с энергетическими и информационными потоками в связях;

2) компоненты таких систем могут иметь различную физическую природу (электроника, робототехника, автомобилестроение и др.);

3) исследуемый объект представляется в форме компонентной цепи, модель которой строится из моделей независимых компонентов;

4) модель компонента формируется автоматически с учетом четырех основных аспектов – топологического, физического, математического (логического) и геометрического, а также представляет собой систему алгебро-дифференциальных уравнений в обыкновенных или частных производных. Можно строить модели, содержащие логические соотношения;

5) для объектов с функционально обособленными подсистемами введено понятие структуры – подцепи, допускающей автономное решение. Здесь четко разделяются непрерывные (уравнения) и дискретные (алгоритмы) процессы;

6) форма уравнений компонентной цепи и ее топологическая структура могут меняться в зависимости от поведения переменных или наступления определенных событий.

Таким образом, базовыми понятиями МКЦ являются понятие компонента и компонентной цепи. Компонентная цепь (КЦ) представляет собой компьютерную модель любого физически неоднородного сложного объекта, представленную в виде объединения следующих множеств:

$$C_p = (K, B, N) \quad (2.3)$$

где K – множество компонентов; B – множество связей (ветвей); N – множество узлов КЦ.

Каждый компонент K_i множества K представляется своей многоаспектной компьютерной моделью компонента M_{Ki} :

$$M_{Ki} = (S_{Ki} \cup F \cup V_{Ki}), \quad (2.4)$$

где M_{Ki} – математическая модель компонента K_i , связывающая все его переменные связей и описывающая физические процессы, протекающие в нем; S_{Ki} – совокупность всех связей K_i ; F – совокупность физических процессов, протекающих в элементе и определяющие его свойства и их числовые значения, участвующие в описании физического процесса при различных степенях его детализации; V_{Ki} – переменные всех связей K_i .

Каждая связь S_j компонента K_i имеет две топологические координаты – узел N_j и ветвь B_j . Количество переменных каждой связи зависит от ее типа. В МКЦ предусмотрены следующие типы связей:

- элементарная – $S_{Ej}(V_{Nj}, V_{Bj})$, где V_{Nj} – потенциальная, а V_{Bj} – потоковая переменные;
- информационная – $S_{Ij}(V_{Nj})$;

– векторная – $S_{Vj}(S_{Ej1}, S_{Ej2}, \dots, S_{Ejn}, S_{Ij1}, S_{Ij2}, \dots, S_{Ijm})$, где n – количество элементарных и m – информационных связей в составе векторной связи S_{Vj} .

При соединении нескольких компонентов образуются узлы КЦ множества N , в каждом из которых соблюдаются следующие законы:

- закон равенства потенциальных переменных всех связей компонентов, входящих в один и тот же узел;
- закон равенства нулю суммы потоковых переменных всех связей компонентов, входящих в один и тот же узел [93].

Таким образом, преобразование аппарата сетей Петри в метод компонентных цепей представляется в следующем виде:

$$C_p = (K, B, N), \quad (2.5)$$

где K – множество компонентов, каждый из которых характеризует состояние, в котором может находиться подлежащая обработке заявка (относительно сетей Петри включает в себя множество позиций P и переходов T), т.е. $K \sqsubset (P, T)$; B – множество связей всех компонентов множества K , предназначенных для прохождения потоков заявок между ними, т.е. $B \sim I$; N – множество узлов, образованных при соединении связей компонентов и служащих для коммутации потоков заявок в связях, т.е. $O \sim N$ [100].

Графическое представление описанного явления представлено на рисунке 2.3.

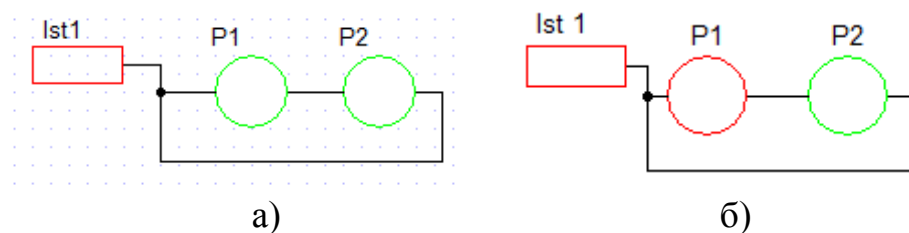


Рисунок 2.3 – Графическое представление СП в формате МКЦ

а) схема представлена в начале эксперимента; б) схема представлена по окончании эксперимента

По сетям Петри в формате МКЦ перемещается фишка, под которой подразумевается единица какого-либо элемента, участвующего в процессе. Кроме того, в данном случае представлена окрашенность компонентов, то есть когда

фишки в компонентах P1, P2 присутствуют, они обозначены красным цветом, в противном случае, зеленым. В результате преобразования аппарата СП в МКЦ видно, что при моделировании СП в СМ МАРС отсутствуют переходы, но смысловая нагрузка при этом не теряется, поскольку эта информация учитывается в компоненте «Позиция», который на рисунке 2.3 обозначен кружочками.

Рассмотрим алгоритмическую модель компонента «Позиция», имеющего свое отображение только на объектном уровне (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Графическое отображение компонента «Позиция»

Данный компонент показывает, что на этом этапе над фишкой (объектом) происходит какое-то действие. В его свойствах задается время работы, и при попадании на этот элемент фишки (единицы) он меняет цвет.

Математическая модель компонента «Позиция» имеет вид:

$$\begin{aligned}
 S &= \begin{cases} V_{n1}, & \text{если } V_{n1} \neq 0 \text{ или } t < T_{\text{вых}} \\ 0, & \text{если } V_{n1} = 0 \text{ и } t = T_{\text{вых}} \end{cases} \\
 T_{\text{вых}} &= \begin{cases} t + T_{\text{обсл.}}, & \text{если } V_{n1}(t) = 1 \\ 0, & \text{если } V_{n1}(t) = 0 \end{cases} \\
 V_{n2} &= \begin{cases} S, & \text{если } t = T_{\text{вых}} \text{ и } S \neq 0 \\ 0, & \text{если } t < T_{\text{вых}} \text{ или } S = 0 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (2.6)$$

где S – состояние позиции, $t_{\text{обсл.}}$ – время обслуживания, V_{n1} – входящие фишки, V_{n2} – выходящие фишки, $T_{\text{вых.}}$ – время выхода фишки, t – текущее время моделирования.

2.4. Разработка активных компонентов и их макрокомпонентов для единиц снегоуборочной техники

2.4.1. Методика построения активных компонентов и их макрокомпонентов снегоуборочной техники

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. Активным он называется потому, что не только принимает сигнал-переменные от других компонентов, но и сам выдает их другим компонентам. Применение активных компонентов позволяет повысить наглядность и эффективность моделирования тем, что имеет изображение одного компонента, соответствующего физическому объекту, а внутри него моделируется соответствующее количество событий. Пассивные компоненты (ПК) представляют собой оборудованные объекты снегоуборки, которые имеют свое отображение только на объектном уровне, например, исходные площадки, полигоны и другие (приложение Б). Данные компоненты способны только принимать сообщения от других компонентов и фиксировать измеряемые значения. Соответственно использование нескольких активных и пассивных компонентов, а также добавление связей между ними, формируют модель исследуемого объекта.

Опираясь на многоуровневую архитектуру СМ МАРС, активные компоненты разрабатываются на трех взаимосвязанных уровнях:

- объектный уровень представляет собой физическую модель АК, которая с помощью системы алгебро-дифференциальных уравнений отображает динамику движения, погрузки, разгрузки, посыпки и т.д.;
- логический уровень АК представляет собой дискретно-событийную модель, описывающую процессы спецтехники на уровне происходящих событий;
- визуальный уровень АК предназначен для визуализации протекающих в модели событий [101].

Рассмотрим графическое представление активных компонентов некоторых видов снегоуборочной техники, а именно самосвала и снегопогрузчика.

Графическое представление АК «Самосвал»

На рисунке 2.5 изображено графическое представление АК «Самосвал» на объектном уровне.

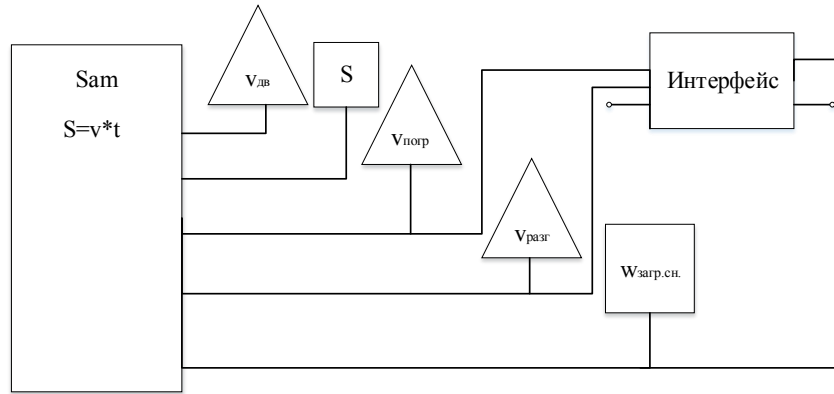


Рисунок 2.5 – Графическое представление АК «Самосвал» на объектном уровне

Самосвал характеризуется следующими параметрами: скоростью движения ($V_{дв.}$), погрузки ($V_{погр.}$) и разгрузки ($V_{разг.}$), что на рисунке изображено в виде треугольников – эти данные изначально задаются пользователем; расстоянием движения (S) и объемом загруженного снега в самосвал ($W_{загр.сн.}$), что на рисунке изображено в виде квадратов – измеряются в период проведения эксперимента. На интерфейс выводятся данные, необходимые при формировании макрокомпонента «Самосвал» на объектном уровне.

На рисунке 2.6 изображена компонентная цепь АК «Самосвал» на логическом уровне, у которого выделяют следующие события:

- перемещение от автопарка до места уборки;
- погрузка снега в самосвал;
- перемещение с места уборки до полигона;
- разгрузка снега на полигоне;
- перемещение от полигона до автопарка.

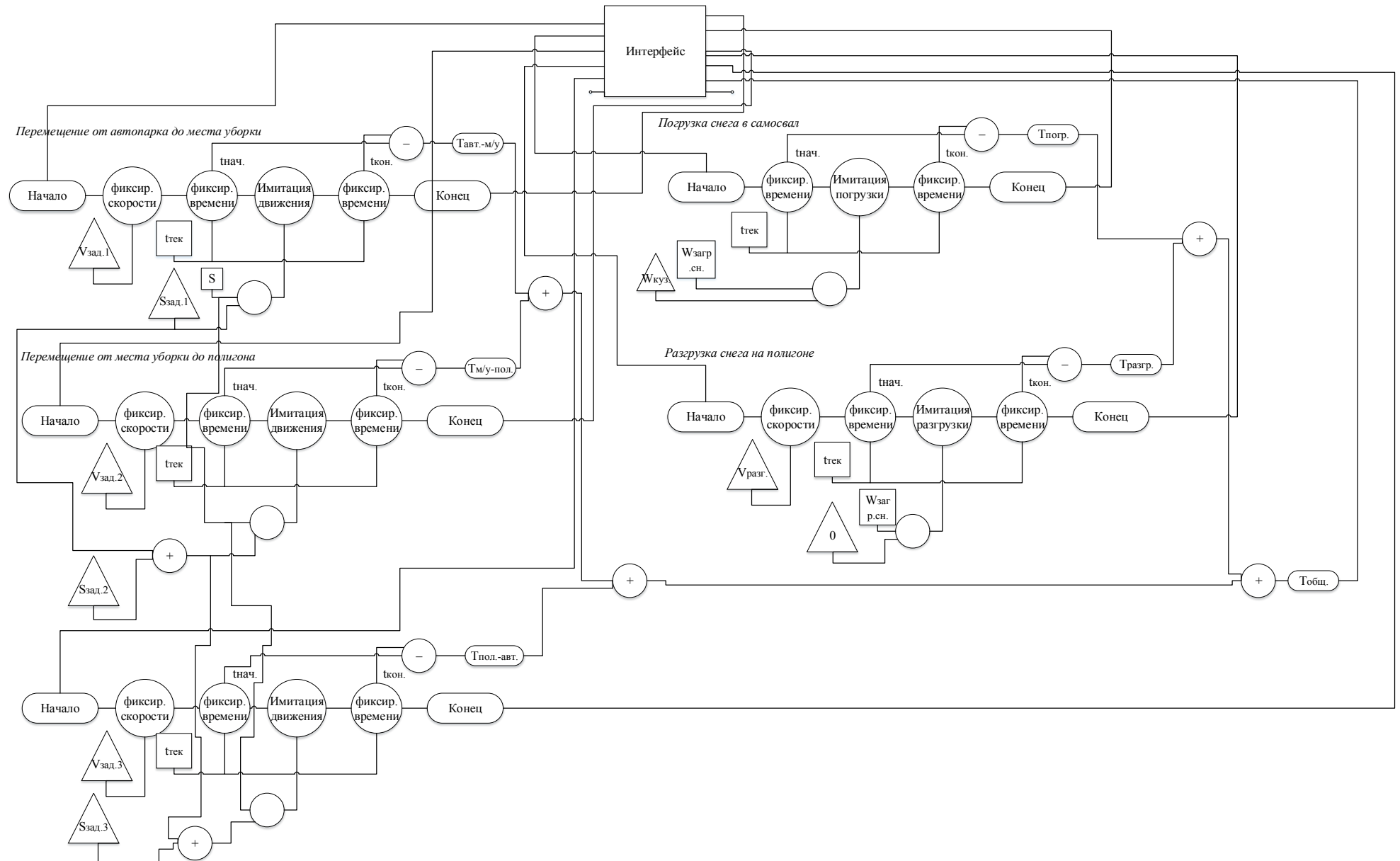


Рисунок 2.6 – Компонентная цепь АК «Самосвал» на логическом уровне

Имитация перемещения от автопарка до места уборки, с места уборки до полигона и от полигона до автопарка моделируется аналогично друг другу. На начальной стадии эксперимента фиксируется текущее время моделирования и задаются скорости движения, а также предполагаемые расстояния. Во время имитации движения заданное значение расстояния сравнивается с измеряемым, причем при втором и последующем перемещении заданное значение суммируется с предыдущими. Как только эти данные сравнялись, фиксируется конечное время моделирования и, исходя из этого, определяется время, затрачиваемое на прохождение заданного пути. При погрузке и разгрузке снега время, затрачиваемое на выполнение соответствующего события, определяется аналогично процессу движения. Единственно, при погрузке снега скорость погрузки задается от снегопогрузчика на уровне макрокомпонентов, и имитация продолжается до тех пор, пока объем кузова самосвала не будет заполнен. Имитация разгрузки снега осуществляется до тех пор, пока объем снега в кузове самосвала не будет равен нулю. Для расчета производственных затрат определяется общее время выполнения всех соответствующих событий самосвала. На интерфейс, на данный момент, выведены начало и конец каждого события и общее время выполнения всех событий, но, при необходимости, можно вывести и другие данные, которые потребуются при формировании макрокомпонента «Самосвал» на логическом уровне.

На рисунке 2.7 представлена визуализация исходных данных и результатов АК «Самосвал» на визуальном уровне.

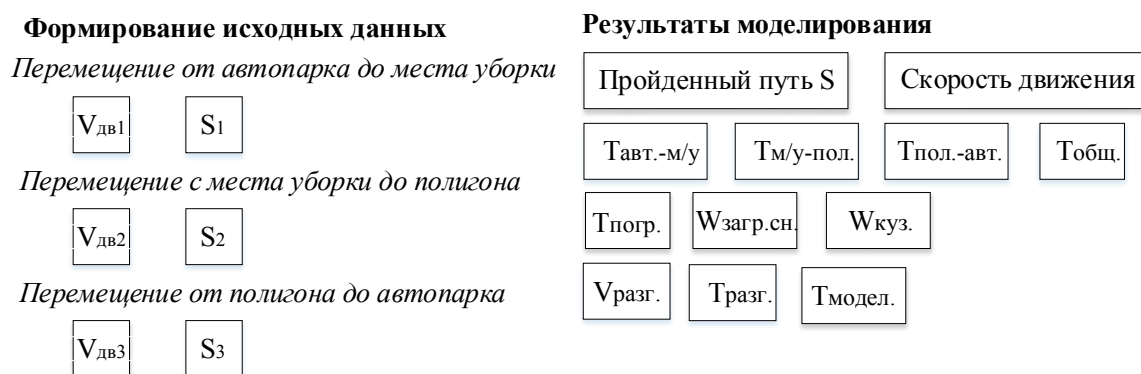


Рисунок 2.7 – Представление исходных данных и результатов АК «Самосвал» на визуальном уровне

На уровне визуализации представляются исходные данные модели, а именно скорости и предполагаемые расстояния движения техники, и результаты моделирования, а именно временные затраты соответствующих событий, объем загруженного снега в самосвал, объем кузова, время моделирования [101].

Графическое представление АК «Снегопогрузчик»

На рисунке 2.8 изображено графическое представление АК «Снегопогрузчик» на объектном уровне.

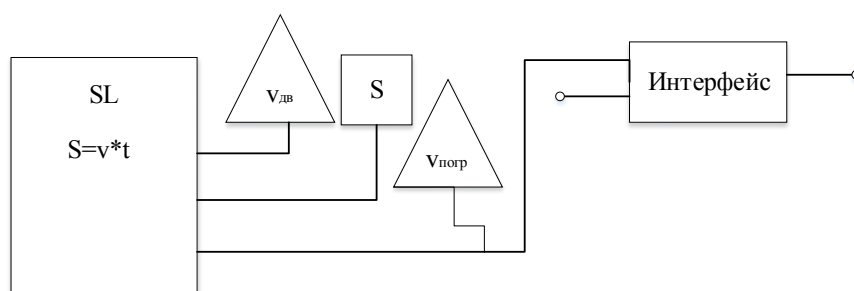


Рисунок 2.8 – Графическое представление исходных данных АК «Снегопогрузчик» на объектном уровне

Снегопогрузчик характеризуется скоростью движения ($V_{дв.}$) и погрузки ($V_{погр.}$), что на рисунке изображено в виде треугольников – эти данные изначально задаются пользователем. Причем $V_{дв.}$ устанавливается на логическом уровне АК, а $V_{погр.}$ – на логическом уровне макрокомпонентов. Расстояние движения (S), что на рисунке изображено в виде квадрата – измеряется во время проведения эксперимента. На интерфейс, аналогично АК «Самосвал», выводятся только те данные, которые необходимы при формировании макрокомпонента «Снегопогрузчик» на объектном уровне.

На рисунке 2.9 изображена компонентная цепь АК «Снегопогрузчик» на логическом уровне, у которого выделяют следующие события: перемещение от автопарка до места уборки, погрузка снега в самосвал, перемещение с места уборки до автопарка.

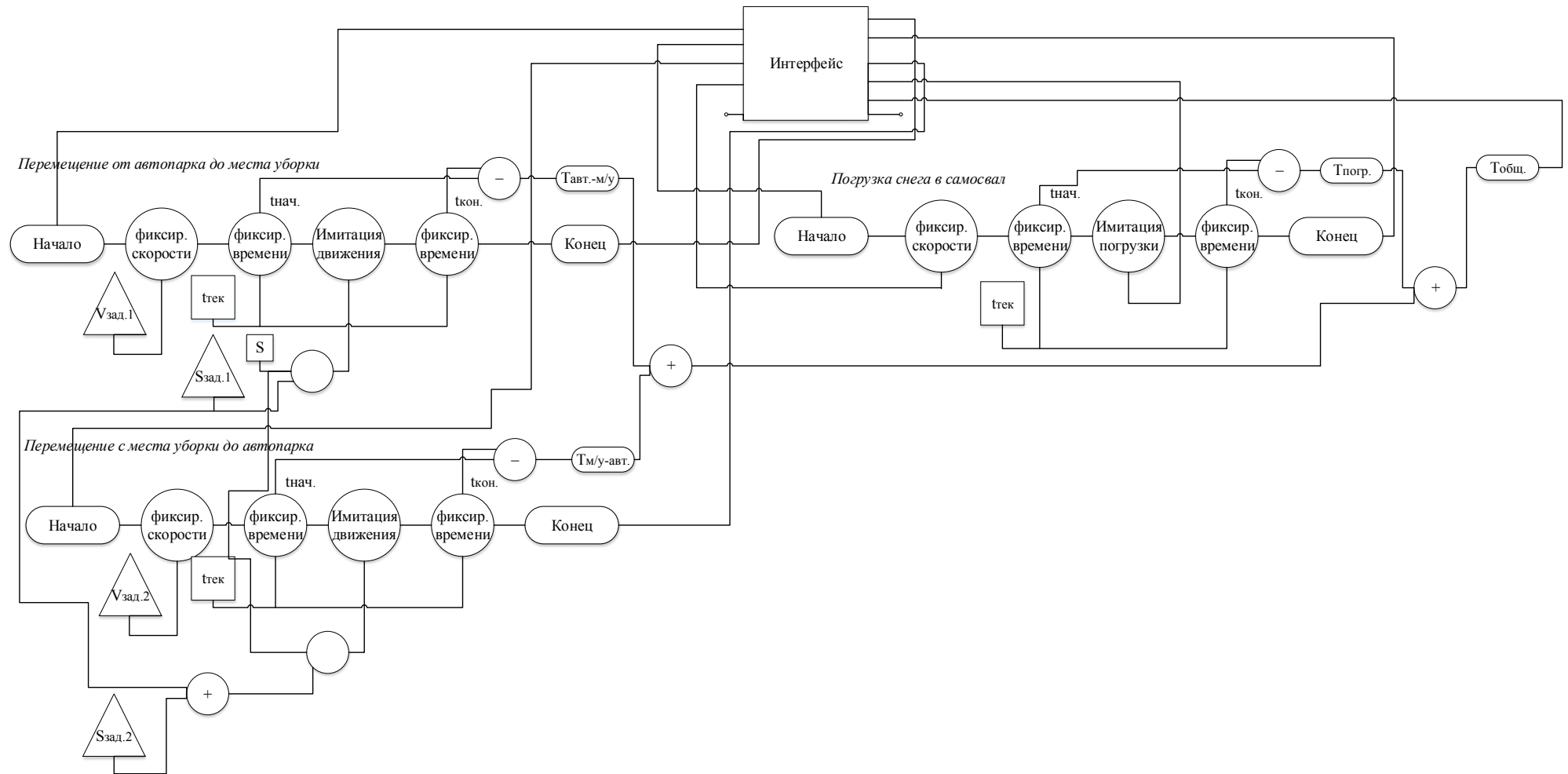


Рисунок 2.9 – Компонентная цепь АК «Снегопогрузчик» на логическом уровне

Имитация перемещения от автопарка до места уборки и обратно моделируется аналогично процессу движения АК «Самосвал». При погрузке снега время, затрачиваемое на выполнение соответствующего события, определяется аналогично процессу движения. Имитация процесса погрузки осуществляется до тех пор, пока снегопогрузчику не придет сообщение от самосвала о его полной загруженности. Для расчета производственных затрат определяется общее время выполнения всех соответствующих событий снегопогрузчика. На интерфейс, на данный момент, выведены начало и конец каждого события, скорость погрузки, сигнал о сообщении от самосвала, а также общее время выполнения всех событий снегопогрузчика, но, при необходимости, можно вывести и другие данные, которые потребуются при формировании его макрокомпонента на логическом уровне.

На рисунке 2.10 представлена визуализация исходных данных и результатов АК «Снегопогрузчик» на визуальном уровне.

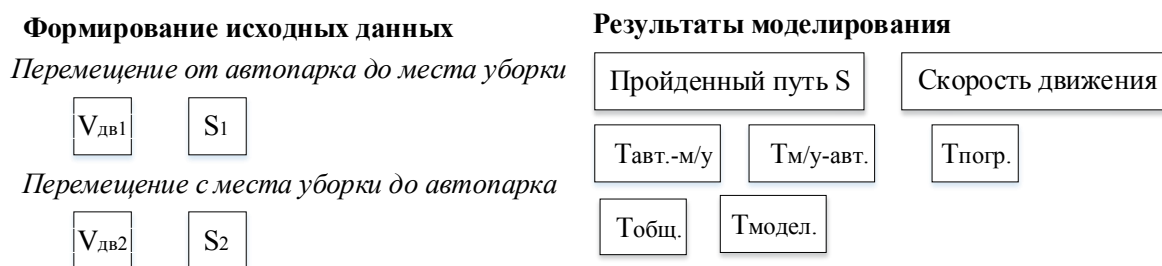


Рисунок 2.10 – Представление исходных данных и результатов АК «Снегопогрузчик» на визуальном уровне

На уровне визуализации представляются исходные данные модели, а именно скорости и предполагаемые расстояния движения техники, и результаты моделирования, а именно временные затраты соответствующих событий и время моделирования.

На основе представленных активных компонентов, таких, как «Самосвал» и «Снегопогрузчик», формируются их макрокомпоненты. Под макрокомпонентом понимается компьютерная модель АК, сформированная с помощью многоуровневого интерфейса, на который выводятся параметры АК, необходимые для варьирования и получения наилучших результатов моделирования.

Использование макрокомпонентов позволяет продемонстрировать взаимодействие снегоуборочной техники между собой и ее результаты моделирования.

Таким образом, модели активного компонента и его макрокомпонента применительно к структурным единицам снегоуборочной техники позволяют получить и визуально отобразить количественные оценки параметров моделей процесса снегоуборки, а также расширяют круг моделируемых задач.

2.4.2. Модель активного компонента «Самосвала» и его макрокомпонента

Рассмотрим практическую реализацию АК «Самосвал» и его макрокомпонента. На рисунке 2.11 активный компонент «Самосвал» представлен на объектном уровне.

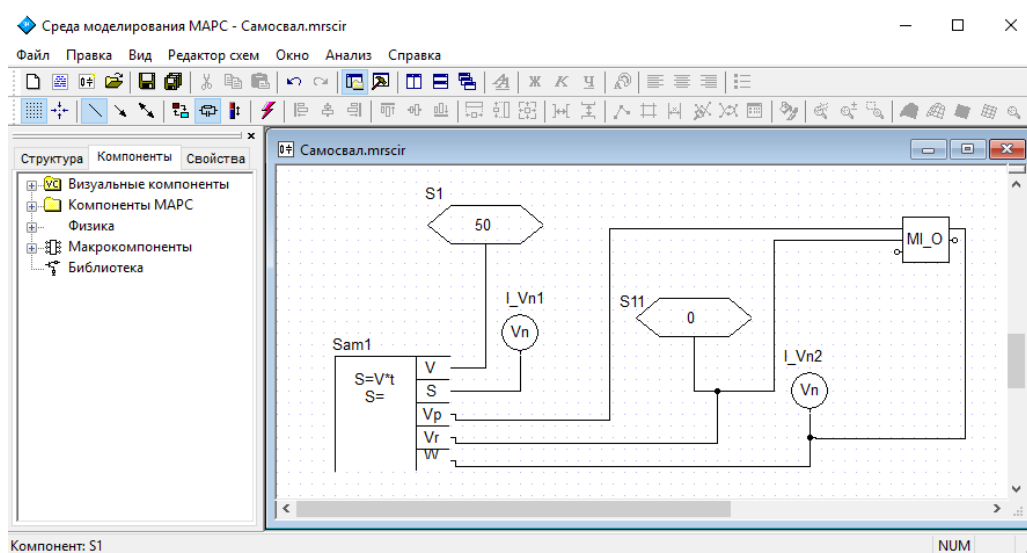


Рисунок 2.11 – Активный компонент «Самосвал» на объектном уровне

Значения исходных данных АК «Самосвал» таких как скорость движения (V), погрузки (V_p), разгрузки (V_r) задаются на логическом уровне и взаимодействуют с другими уровнями. Расстояние пройденного пути ($S_{изм.}$) и объем загруженного снега в самосвал (w) измеряются в процессе моделирования.

Процесс движения, аналогичный процессу погрузки и разгрузки, только с другими исходными данными, в компоненте «Самосвал» описывается формулой равномерного прямолинейного движения, причем остановка движения происходит, когда $S_{изм.} = S_{зад.}$:

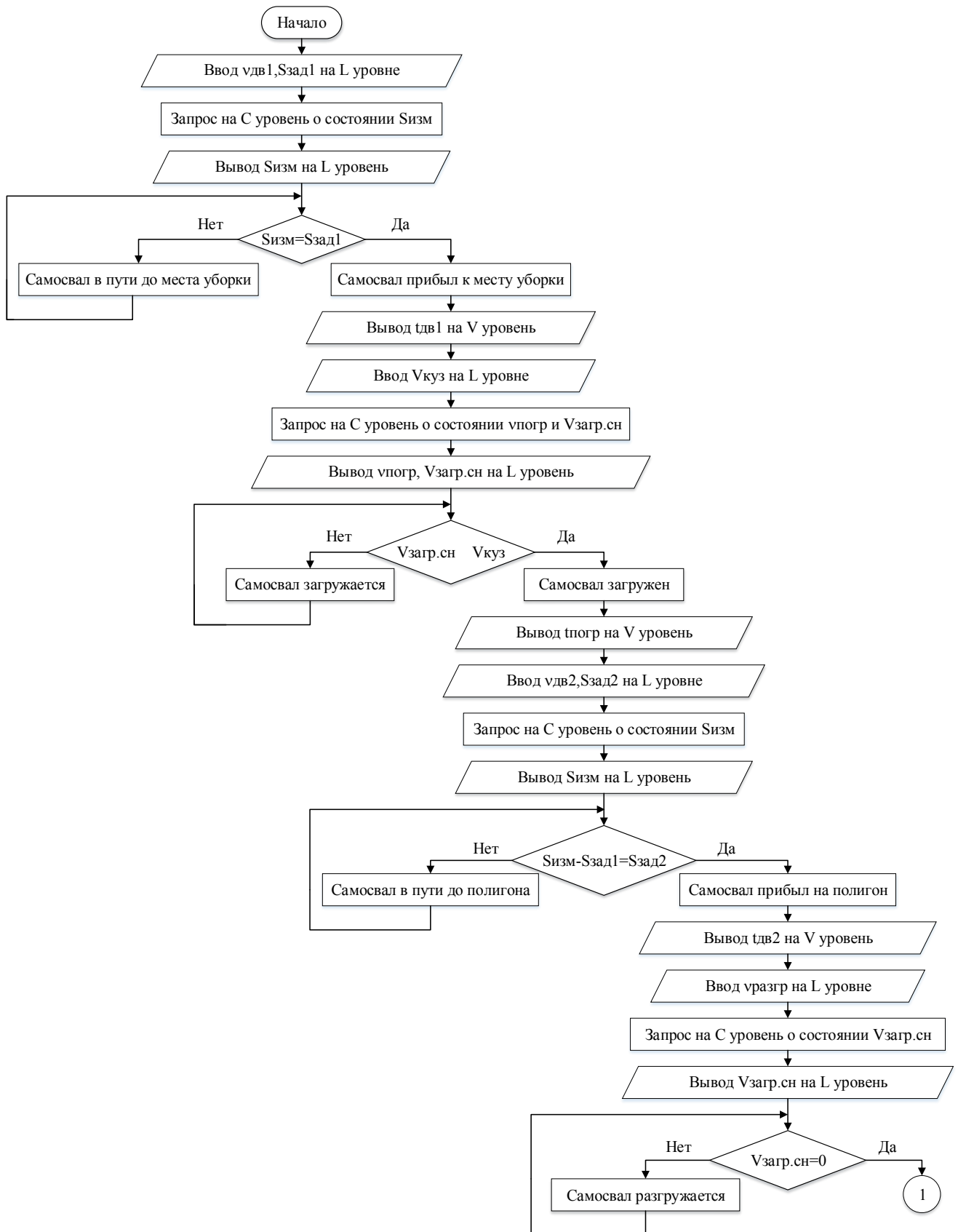
$$(S_{изм.} = T \cdot v) \leq (S_{зад.}) \quad (2.7)$$

где $S_{изм.}$ – измеряемый, пройденный путь самосвалом, км; $S_{зад.}$ – заданный путь самосвала, км; v – скорости движения самосвала, км/ч.; T – время, затрачиваемое на прохождение заданного пути самосвалом, ч.

В рамках моделирования время, затрачиваемое на выполнение соответствующего события, определяется разницей конечного и начального времен моделирования, что отображается на логическом уровне. Логический уровень позволяет смоделировать все происходящие события самосвала, среди которых выделяют:

- 1) движение от автопарка до места уборки;
- 2) погрузка снега в самосвал лаповым снегопогрузчиком;
- 3) движение с места уборки до полигона;
- 4) разгрузка самосвала на полигоне;
- 5) движение от полигона до автопарка.

Ниже на рисунке 2.12 представлена блок-схема алгоритма-сценария функционирования самосвала, которая отражает последовательный ход действий и логических условий при построении модели активного компонента «Самосвал» на логическом уровне.



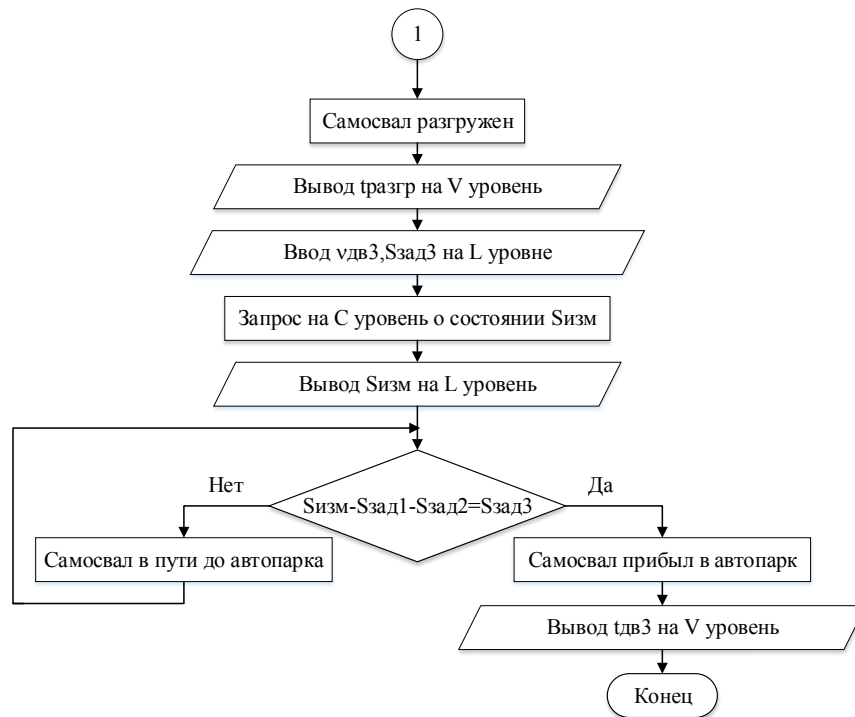


Рисунок 2.12 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования самосвала

Исходя из представленной блок-схемы, активный компонент «Самосвал» на логическом уровне имеет вид (рис. 2.13):

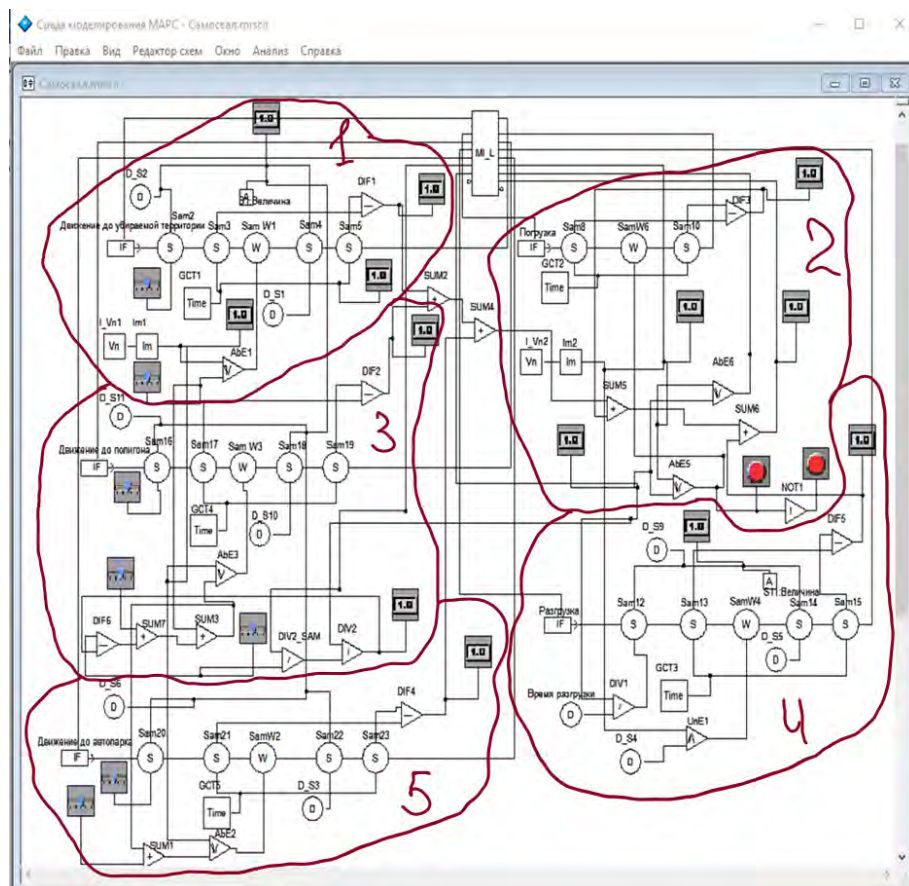


Рисунок 2.13 – Активный компонент «Самосвал» на логическом уровне

На рисунке 2.13 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены вышеописанные события самосвала, временные затраты которых определяются в результате моделирования. Помимо событийности техники логический уровень позволяет дополнить модель исходными данными, такими, как расстояние движения, скорость движения и т.д. На рисунке 2.14 представлено графическое отображение расчета расстояния убранной части улицы каждой связкой взаимодействия самосвала и снегопогрузчика, а также расстояния перемещения самосвала с места уборки до полигона.

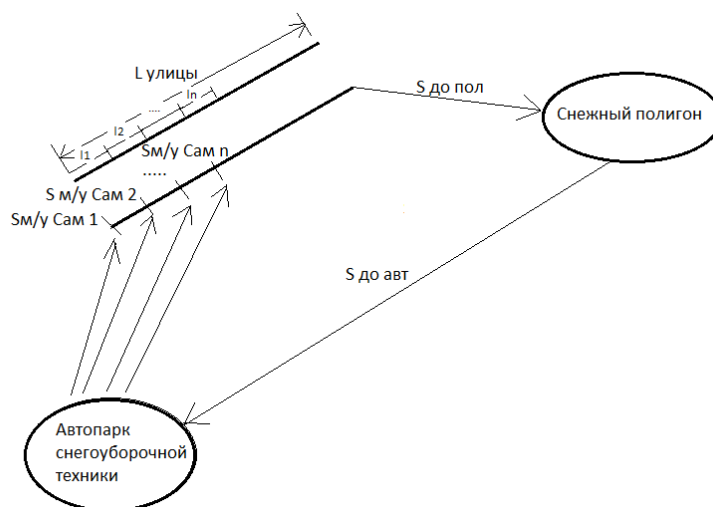


Рисунок 2.14 – Графическое отображение расчета расстояний самосвала в модели

Во избежание очереди на этапе погрузки каждый последующий самосвал, после первого, прибывает в конец уборки предыдущего, причем это учитывается изначально при формировании исходных данных. Первоначально пользователю известно расстояние от автопарка до места уборки первого самосвала, далее определяется расстояние уборки каждого самосвала, а это, в свою очередь, учитывается при определении расстояния до места уборки следующего самосвала.

Расстояние уборки рассчитывается исходя из следующих пропорций:

$$W_{\text{сн на 1 км}} = \frac{1 \cdot W_{\text{вып сн}}}{l_n} \quad (2.8)$$

где $W_{\text{сн на 1 км}}$ – объем снега на 1 км; l_n – длина убираемой улицы, км (причем для каждого самосвала она различается); $W_{\text{вып сн}}$ – объем выпавшего снега, м³.

$$S_{\text{уб}} = \frac{1 \cdot W_{\text{куз}}}{W_{\text{сн на 1 км}}} \quad (2.9)$$

где $S_{уб}$ – расстояние уборки, км; $W_{куз}$ – объем кузова, m^3 ; $W_{сн}$ на 1 км – объем снега на 1 км.

Расстояние до полигона складывается из изначально известного расстояния от конца места уборки до полигона и расстояния неубранной части улицы. Что касается расстояния от снежного полигона до автопарка техники, то оно известно при формировании исходных данных. В результате моделирования дискретно-событийной составляющей самосвала определяются временные затраты на каждое его происходящее событие, и в итоге рассчитывается общее значение.

На рисунке 2.15 представлен активный компонент «Самосвал» на визуальном уровне.

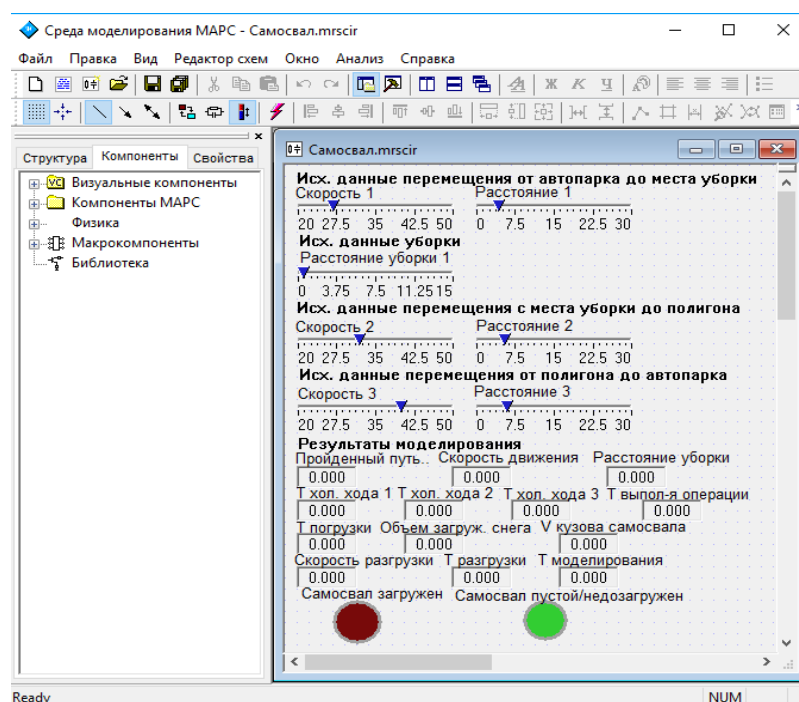


Рисунок 2.15 – Активный компонент «Самосвал» на визуальном уровне

Визуальный уровень позволяет отображать результаты моделирования в более удобном для пользователя виде, а также формировать исходные данные в виде динамически изменяющихся значений.

С помощью многоуровневого интерфейса, представленного на объектном и логическом уровнях, на основе разработанного активного компонента самосвала создается его макрокомпонент. Причем на многоуровневый интерфейс выводятся только те данные, которые необходимы при взаимодействии самосвала с другой снегоуборочной техникой, например, со снегопогрузчиком.

На рисунке 2.16 представлен макрокомпонент «Самосвал» на объектном уровне, у которого на вход подается скорость погрузки, зависящая от снегопогрузчика, и скорость разгрузки необходимая для взаимодействия с полигоном, на выходе отображается объём загруженного снега в самосвал.



Рисунок 2.16 – Макрокомпонент «Самосвал» на объектном уровне

Макрокомпонент «Самосвал» на логическом уровне имеет вид (рис. 2.17):



Рисунок 2.17 – Макрокомпонент «Самосвал» на логическом уровне

На рисунке 2.17 слева от макрокомпонента «Самосвал» фиксируется начало каждого события, присущего активному компоненту, справа, соответственно, момент его завершения. Помимо этого, на вход и выход макрокомпонента выведены данные, участвующие в дальнейшем в условиях срабатывания событий или в вычислении производственных затрат, например, объём кузова самосвала, общее время работы самосвала.

На рисунке 2.18 макрокомпонент «Самосвал» представлен на визуальном уровне, где отображаются значения исходных его данных и состояние всех присущих ему событий.

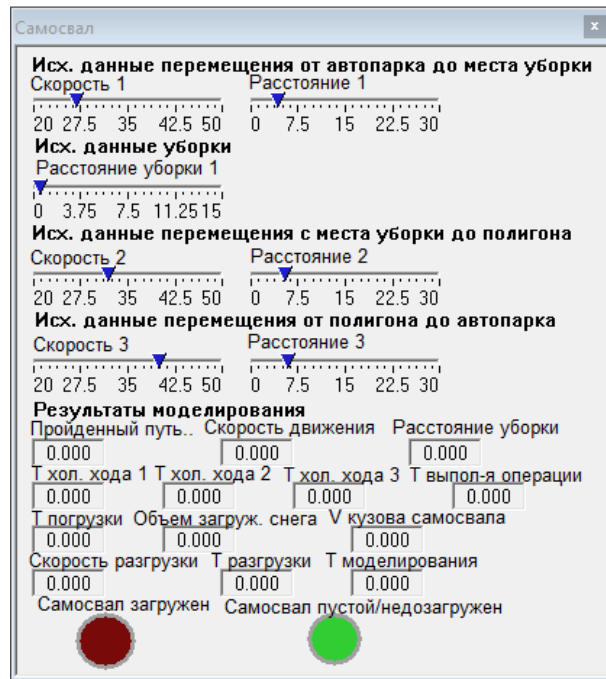


Рисунок 2.18 – Макрокомпонент «Самосвал» на визуальном уровне

При запуске эксперимента имитируется движение, погрузка и разгрузка самосвала, согласно вышеописанным событиям его активного компонента. В результате моделирования определяются временные затраты всех событий каждой единицы самосвала.

2.4.3. Модель активного компонента «Снегопогрузчик» и его макрокомпонента

Рассмотрим практическую реализацию АК «Снегопогрузчик» и его макрокомпонента. На рисунке 2.19 активный компонент «Снегопогрузчик» представлен на объектном уровне.

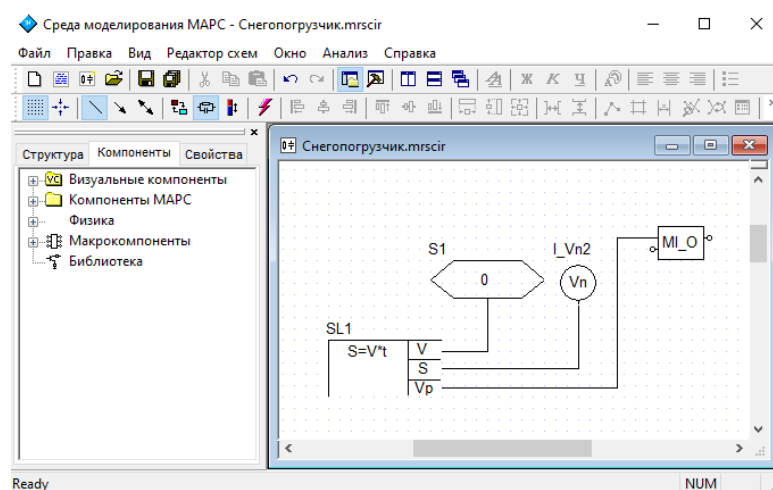


Рисунок 2.19 – Активный компонент «Снегопогрузчик» на объектном уровне

Исходными данными компонента «Снегопогрузчик» являются скорости движения (V) и погрузки (V_p), значения которых задаются на логическом уровне. Расстояние пройденного пути ($S_{изм.}$) снегопогрузчика измеряется в процессе моделирования, аналогично активному компоненту «Самосвал», и остановка движения осуществляется при $S_{изм.}=S_{зад.}$ Причем заданное расстояние ($S_{зад.}$) также устанавливается пользователем на логическом уровне.

Логический уровень позволяет смоделировать все происходящие события снегопогрузчика, среди которых выделяют:

- движение от автопарка до места уборки;
- погрузка снега в самосвал;
- движение с места уборки до автопарка.

Ниже на рисунке 2.20 представлена блок-схема алгоритма-сценария функционирования снегопогрузчика, которая отражает последовательный ход действий и логических условий при построении модели активного компонента «Снегопогрузчик» на логическом уровне.

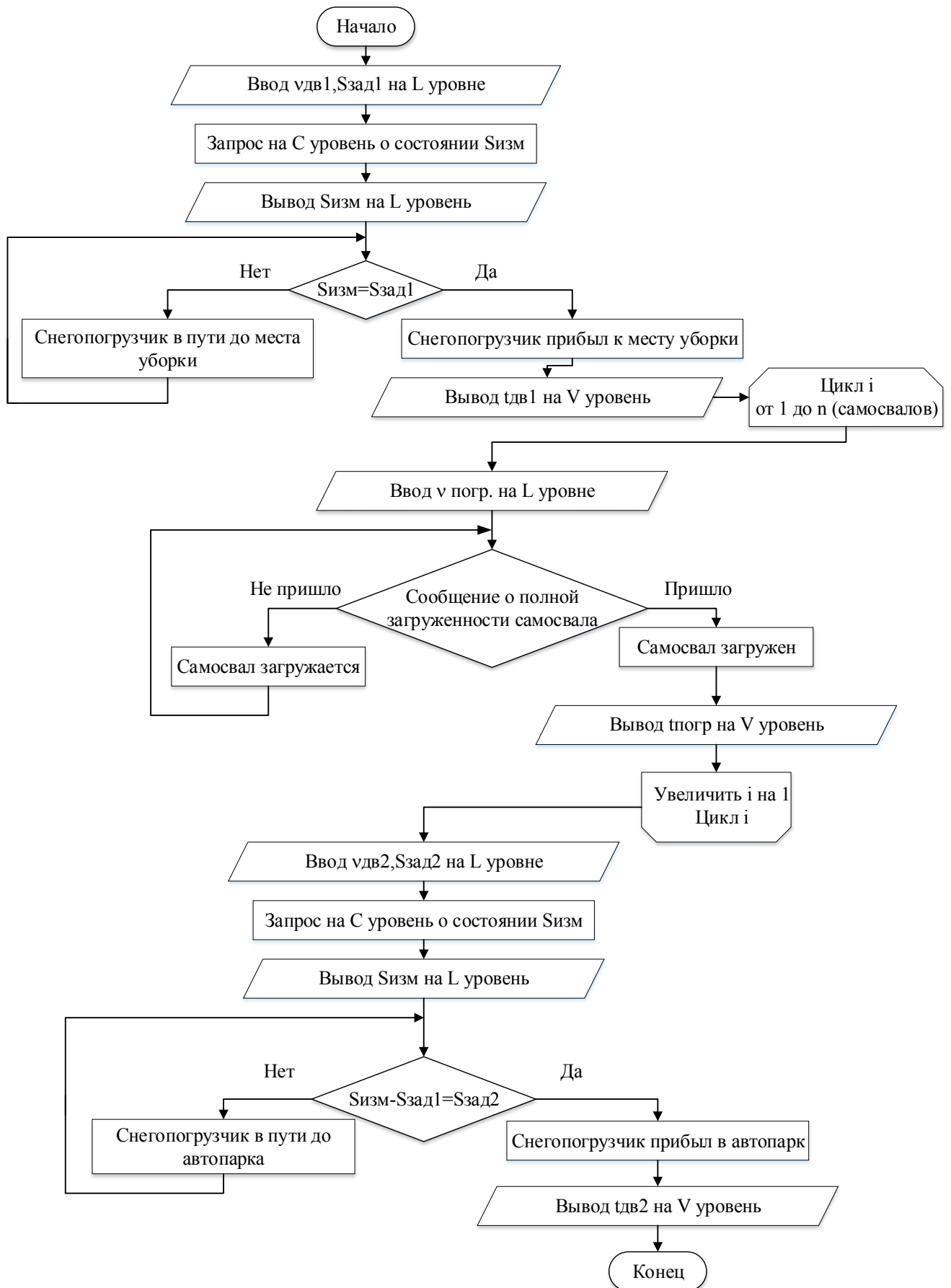


Рисунок 2.20 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования снегопогрузчика

Исходя из представленной блок-схемы, активный компонент «Снегопогрузчик» на логическом уровне имеет вид (рис. 2.21):

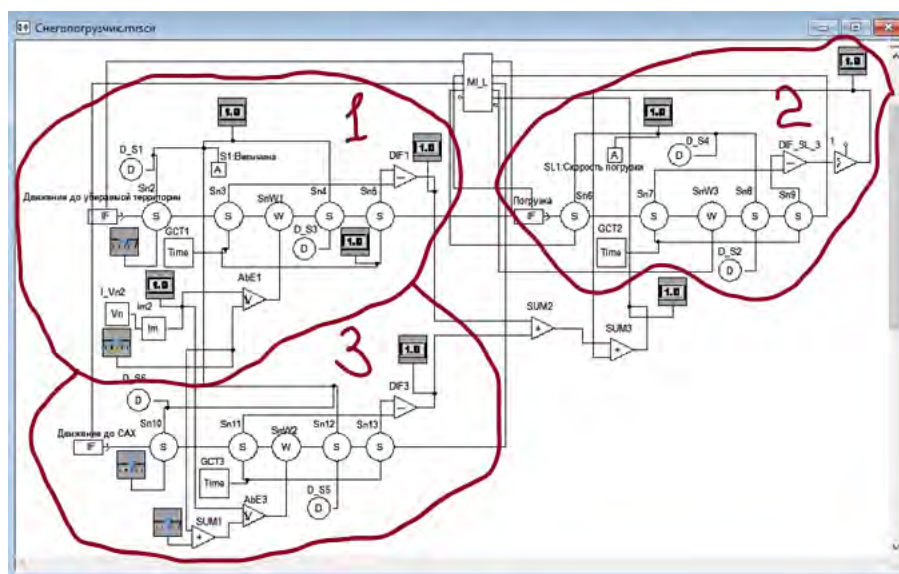


Рисунок 2.21 – Активный компонент «Снегопогрузчик» на логическом уровне

На рисунке 2.21 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены вышеописанные события снегопогрузчика, временные затраты которых определяются в результате моделирования. Помимо событийности техники логический уровень позволяет дополнить модель исходными данными, такими, как расстояние движения, скорости движения/погрузки.

На рисунке 2.22 представлен активный компонент «Снегопогрузчик» на визуальном уровне.

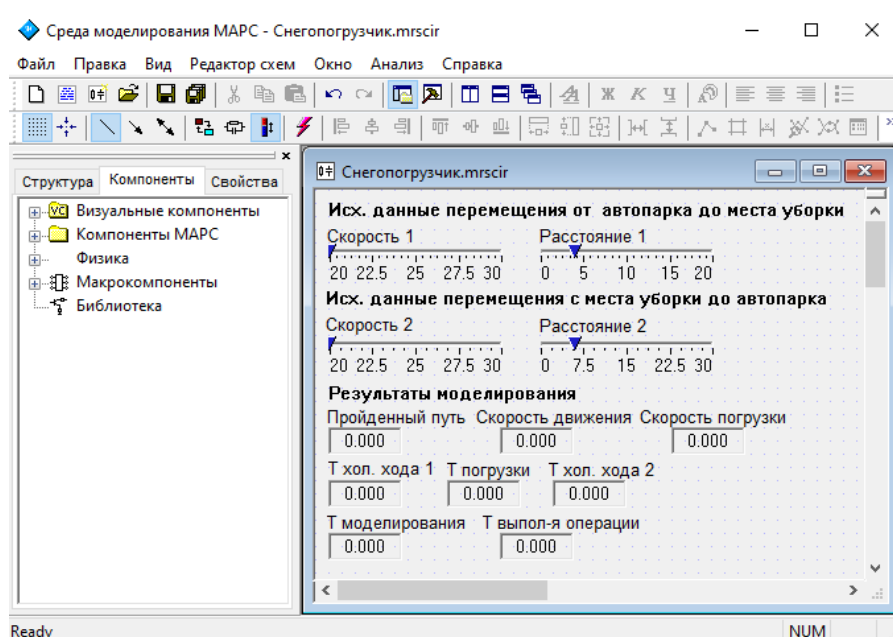


Рисунок 2.22 – Активный компонент «Снегопогрузчик» на визуальном уровне

Визуальный уровень позволяет отображать результаты моделирования в более удобном для пользователя виде, а также формировать исходные данные в виде динамически изменяющихся значений.

С помощью многоуровневого интерфейса, представленного на объектном и логическом уровнях, на основе разработанного активного компонента снегопогрузчика создается его макрокомпонент. На рисунке 2.23 он представлен на объектном уровне.



Рисунок 2.23 – Макрокомпонент «Снегопогрузчик» на объектном уровне

С помощью входа данного макрокомпонента осуществляется взаимодействие снегопогрузчика и самосвала(ов) через скорость погрузки, значение которой задается на логическом уровне.

Макрокомпонент «Снегопогрузчик» на логическом уровне имеет вид (рис. 2.24):

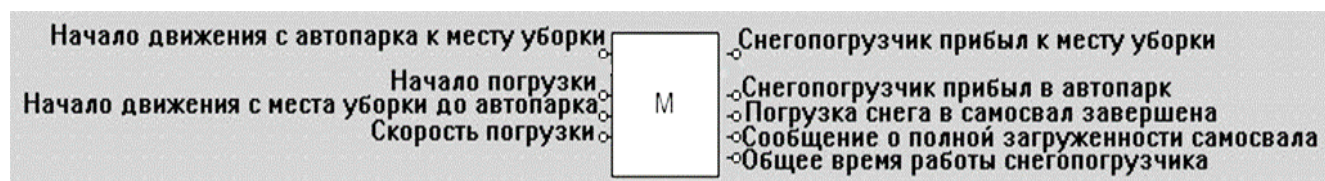


Рисунок 2.24 – Макрокомпонент «Снегопогрузчик» на логическом уровне

На рисунке 2.24 слева от макрокомпонента «Снегопогрузчик» фиксируется начало каждого события, присущего активному компоненту, справа, соответственно, момент его завершения. Помимо этого, на вход и выход макрокомпонента выведены данные, участвующие в дальнейшем в условиях срабатывания событий или в расчетах производственных затрат, например, скорость погрузки, общее время работы снегопогрузчика.

На рисунке 2.25 макрокомпонент «Снегопогрузчик» представлен на визуальном уровне, где отображаются значения исходных его данных и состояние всех присущих ему событий.

Снегопогрузчик

Исх. данные перемещения от автопарка до места уборки

Скорость 1: 20 22.5 25 27.5 30
 Расстояние 1: 0 5 10 15 20

Исх. данные перемещения с места уборки до автопарка

Скорость 2: 20 22.5 25 27.5 30
 Расстояние 2: 0 7.5 15 22.5 30

Результаты моделирования

Пройденный путь	Скорость движения	Скорость погрузки
0.000	0.000	0.000
T хол. хода 1	T погрузки	T хол. хода 2
0.000	0.000	0.000
T моделирования	T выпол-я операции	
0.000	0.000	

Рисунок 2.25 – Макрокомпонент «Снегопогрузчик» на визуальном уровне

При запуске эксперимента имитируется движение снегопогрузчика и погрузка снега с помощью него в самосвал, согласно вышеописанным событиям его активного компонента. В результате моделирования определяются временные затраты всех событий каждой единицы снегопогрузчика.

2.4.4. Формирование обобщенной компонентной цепи процесса снегоуборки

На основе вышеописанных моделей активных компонентов и их макрокомпонентов формируется компонентная цепь процесса снегоуборки. Реализация процесса сборки отдельных компонентов в единую КЦ осуществляется на основе следующей схемы объектного уровня (рис. 2.26):

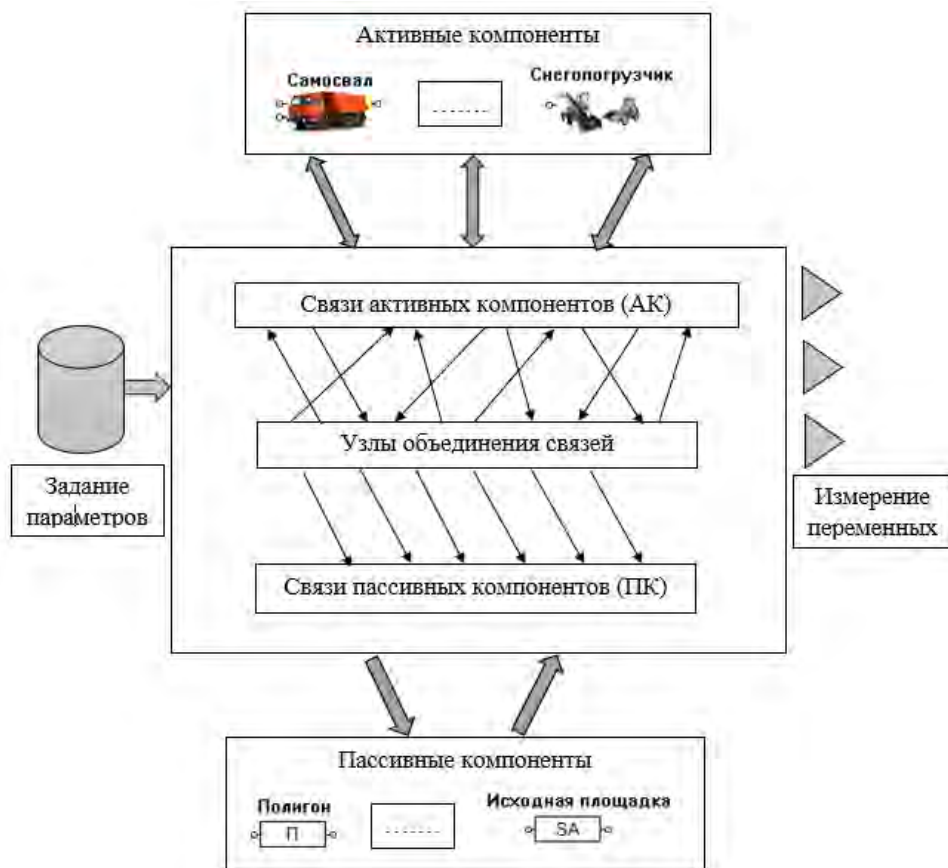


Рисунок 2.26 – Схема формирования компонентной цепи процесса снегоуборки
Компонентная цепь (Ск) процесса снегоуборки включает в себя:

$$С_k = (АК, ПК, Вак, Впк, N_c) \quad (2.10)$$

- множество активных компонентов (АК) – единицы снегоуборочной техники, например, самосвалы, снегопогрузчики. Данные компоненты способны как принимать сигнал-переменные от других компонентов, так и отправлять собственные;
- множество пассивных компонентов (ПК) – оборудованные объекты снегоуборки, например, исходные площадки, полигоны и пр. Данные компоненты способны только принимать сообщения от других компонентов и фиксировать измеряемые значения;
- связи Вак и Впк – связи, по которым передаются сигнал-переменные приема или передачи сообщений от активных и пассивных компонентов соответственно;
- узлы объединения связей N_c – точки ветвления одинаковой сигнал-переменной.

Рассмотрим модель взаимодействия АК единиц техники и оборудованных объектов в процессе снегоуборки на примере этапа погрузки-разгрузки снега (рис. 2.27).

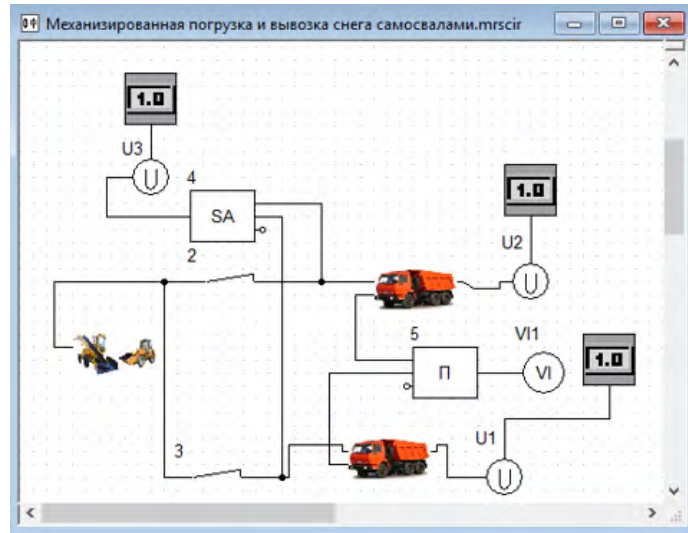


Рисунок 2.27 – Модель взаимодействия АК единиц техники и оборудованных объектов в процессе снегоуборки на примере этапа погрузки-разгрузки снега на объектном уровне

Представленная модель на объектном уровне отображает взаимодействие снегопогрузчика, самосвалов, исходной площадки (SA) и снежного полигона (П) между собой. Изначально перед запуском эксперимента, в свойствах компонента «Исходная площадка» (SA) фиксируется объем выпавшего снега. При взаимодействии снегопогрузчика и самосвала (т.е. при погрузке снега в самосвал), объем выпавшего снега на исходной площадке уменьшается, исходя из объема 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 первый пришедший самосвал, то есть либо в первый, либо во второй, а затем уже в последующий.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 2

1. По результатам сравнения систем имитационного моделирования процесса снегоуборки выбрана среда моделирования MAPS, которая отвечает большинству заявленных критериев, а главное позволяет оперативно пополнять библиотеку новыми компонентами.

2. Построение комплекса имитационных моделей этапов процесса снегоуборки на 3-х взаимосвязанных уровнях: объектном, логическом и визуальном позволяет отобразить модель физического поведения объекта, дискретно-событийную и экономическую модели.

3. Применение сетей Петри в МКЦ позволяет моделировать дискретно-событийные процессы снегоуборки в СМ МАРС, например, такие как погрузка/разгрузка самосвала, его ожидание в очереди и т.д.

4. Разработанные модели активных компонентов «Самосвал», «Снегопогрузчик» и их макрокомпоненты позволяют получить и визуально отобразить количественные оценки параметров моделей процесса снегоуборки, а также расширяют круг моделируемых задач.

5. Представленная схема формирования компонентной цепи процесса снегоуборки позволяет выстроить взаимодействие активных и пассивных компонентов между собой для отображения структурной и событийной составляющих процесса снегоуборки.

ГЛАВА 3. ПОСТРОЕНИЕ КОМПЛЕКСА МНОГОУРОВНЕВЫХ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ (НА ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА)

3.1. Анализ и организация процесса снегоуборки в городе Томске

По причине особенностей климата и географического положения ряда городов России, в частности города Томска, с наступлением холодов остро ставится проблема снегоуборки. Согласно «Методическим рекомендациям по определению нормативов финансовых затрат на содержание, ремонт и капитальный ремонт автомобильных дорог местного значения» в городе Томске зимний период составляет 183 дня, 105 из которых характеризуются как число дней с возможными случаями образования зимней скользкости» (приложение В) [102]. Кроме того, за последние несколько лет среднегодовое количество осадков в Томской области увеличилось. По данным Гидрометцентра в 2016-2017 г. снежный покров увеличился с 6 174 см до 11 269 см [103]. Так, зимой 2016-2017 г. в г. Томске уровень снега вдвое превысил годовую норму – высота снежного покрова в Томской области составила 91 сантиметр при норме в 50 сантиметров.

Проанализировав практическое состояние зимней уборки и информационные источники, стало видно, что периодически дорожно-эксплуатационные службы города Томска с уборкой снега не справляются: так, в администрацию только Ленинского района от жителей поступали жалобы на плохое качество уборки снега; конкретно за новогодние праздники 2018 г. поступило около 200 таких обращений [104]. Более того, социологами Агентства новостей ТВ2 14 ноября 2018 года был проведен опрос среди жителей г. Томска об удовлетворенности жителей города уборкой городских улиц, в котором приняли участие более тысячи человек. Результаты опроса показали следующую статистику:

- только 5% горожан полностью удовлетворены уборкой города в зимнее время;
- 33% считают, что снег убирается только с центральных улиц города;
- 32% опрошенных отмечают, что они уже смирились с ситуацией, ведь она не меняется из года в год;

- 16% респондентов отмечают работу дворников, но недовольны уборкой снега конкретно с городских дорог;
- 14% томичей частично устраивает работа коммунальных служб, и они считают, что те могут работать лучше [105-106].

Обобщая результаты опроса, можно сделать вывод, что жители города недовольны уборкой снега. Кроме всего прочего, 16 января 2017г. жителями города была опубликована петиция с обращением к президенту страны с просьбой обратить внимание на ситуацию с уборкой снега.

При организации зимней уборки автомобильных дорог в городе Томске особое внимание уделяется УМП «Спецавтохозяйство г. Томска» (которое с 1 июля 2019 г. переименовано в МБУ «ТомскСпецавтохозяйство») (далее Спецавтохозяйство (САХ)) по причине того, что за ним закреплены дороги наибольшей значимости, а именно дороги I категории – 1798,33 тыс. м², II категории – 1001,276 тыс. м², III категории – 23,623 тыс. м² (приложение Г) [107]. Наименование улиц, закрепленных за Спецавтохозяйством устанавливается условиями муниципального контракта, заключенного между ним и городской Администрацией. В контракт включено обязательное техническое задание, согласно которому САХ убирает и вывозит снег с улиц первой и второй категорий, а на улицах третьей категории проводится только прометание и грейдирование.

Спецавтохозяйство является головной организацией в сфере благоустройства города Томска – это специализированное предприятие, занимающееся санитарным содержанием городской улично-дорожной сети (УДС), то есть выполняющее работы по содержанию автомобильных дорог и инженерных сооружений на них, расположенных на территории муниципального образования «Город Томск».

Деятельность САХа направлена на решение следующих задач:

- оптимизировать использование бюджетных средств органов местного самоуправления в рамках реализации работ по контрактам на предоставление услуг по уборке улиц;
- содержать улицы в функциональном состоянии;

- обеспечить безопасность дорожного движения за счет проведения контроля выполнения работ по уборке улиц;
- повысить качество выполнения технологических процессов уборки улиц;
- увеличить рост экономической эффективности работ по уборке улиц;
- автоматизировать процесс контроля и проведения работ по уборке улиц;
- повысить экологическую безопасность за счет контроля эффективности выполнения и последовательности технологических процессов уборки улиц.

Рассмотрим организационную структуру УМП «Спецавтохозяйство г. Томска» (на 08.04.2019г.), которая лежит в основе разработки и принятия управленческих решений (рис.3.1) [108].

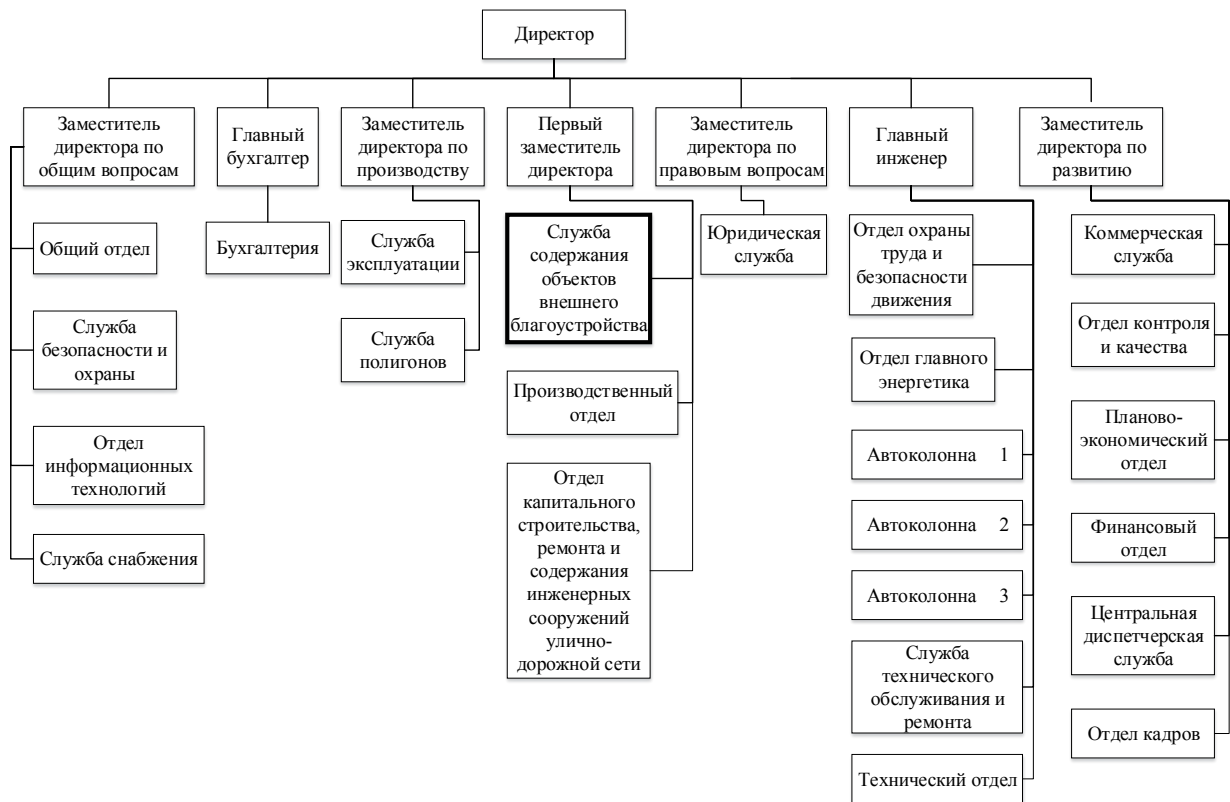


Рисунок 3.1 – Организационная структура УМП «Спецавтохозяйство г. Томска» (на 08.04.2019г.)

Данная структура соответствует линейно-функциональному типу, где руководство функциями управления осуществляет директор, а подразделения образуются по видам деятельности предприятия. Функциональные подразделения делятся на более мелкие производственные отделы, каждое из которых выполняет

ограниченный перечень задач. Для такой структуры характерны вертикальные связи, среди которых выделяют:

а) основные (линейные) – посредством которых руководство осуществляет прямое управление подчиненными. Линейный руководитель определяет главные задачи и конкретных исполнителей в конкретный момент времени. Линейные связи направлены сверху вниз и регулируются с помощью распоряжений, указов, приказов;

б) дополнительные (функциональные) – носят совещательный характер. Посредством этих связей организационные подразделения могут давать распоряжения работникам нижестоящего уровня по вопросам своей компетенции [109].

Непосредственно уборка и вывоз снега в городе входят в обязанности службы содержания объектов внешнего благоустройства, которая проводит следующие мероприятия:

- определяет объемы работ и число машин, необходимых для их выполнения;

- заключает договоры с организациями на обслуживание объектов, разрабатывает технологические режимы уборки в соответствии с наличием техники и с учетом местных условий;

- своевременно составляет маршрутные карты и графики, организует проверочные обкатки маршрутов;

- подготавливает расчет потребности в технологических материалах;

- контролирует выполнение графиков механизированными колоннами, а также осуществляет контроль по технической эксплуатации машин и механизмов.

Помимо службы содержания объектов внешнего благоустройства в организации процессов зимнего содержания дорог задействована центральная диспетчерская служба, которая обеспечивает:

- контроль и подготовку к выпуску машин на линию;

- подготовку документации по выпуску машин на линию (путевого листа и справки о работе спецмашин);
- организацию своевременного выпуска машин, периодическую проверку нахождения их на линии;
- оперативное перераспределение машин в случаях нарушения утвержденного графика или изменения по каким-либо причинам условий работы машин на линии;
- регистрацию машин, возвращающихся в парк;
- прием и обеспечение заявок на машины;
- подготовку ежедневного (суточного) отчета работы машин;
- своевременную передачу колоннам прогноза погоды и ее изменений.

Диспетчеры вносят в специальный журнал по данным метеорологических центров сводки погоды (дату и время получения прогноза, температуру и влажность воздуха, ожидаемое выпадение осадков и продолжительность снегопада, возможность образования гололеда).

Таким образом, линейно-функциональная структура имеет ряд преимуществ и недостатков. Среди преимуществ выделяют следующие:

- рациональное сочетание линейных и функциональных взаимосвязей;
- стабильность полномочий и ответственности за сотрудников;
- единство и четкость распорядительства;
- личная ответственность каждого руководителя за результаты деятельности;
- профессиональное решение задач специалистами функциональных служб [109].

К недостаткам можно отнести дублирование функций руководителя и функциональных специалистов. Так, например, анализируя организационную структуру УМП «Спецавтохозяйство г. Томска», выявлено, что в управлении у заместителя директора по развитию имеются планово-экономический и финансовый отделы, функции которых перекликаются в рамках внутреннего

финансового контроля за соблюдением финансовой дисциплины при заключении договоров и осуществлении экономической, хозяйственной деятельности предприятия. В таком случае процесс принятия управленческих решений осуществляется через посредника, вследствие чего теряется их оперативность. Разногласия между линейными и функциональными службами повышают риск неправильного толкования информации, передаваемой линейным исполнителям функциональными руководителями, что сопровождается многоярусной коммуникацией.

Среди вышеперечисленных недостатков наиболее значимыми являются недостаточная оперативность принятия управленческих решений и неправильное толкование информации, что впоследствии может привести к «коллапсу» и 10-балльным пробкам на дорогах. Так как деятельность САХа тесно связана с окружающей средой, наиболее высока потребность в оперативно принимаемых решениях. Например, при выпадении обильных осадков такой системе необходимо быстро реагировать и принимать управленческие решения, но, анализируя практическое выполнение процесса снегоуборки, можно сделать вывод, что наблюдается недостаточная оперативность принятия решений. Для повышения их оперативности руководителям Спецавтохозяйства рекомендуется пересмотреть организационную структуру предприятия или дополнить этап планирования новыми возможностями, например, использовать имитационное моделирование, а это, в свою очередь, позволит принимать обоснованные решения.

К основным задачам и функциям Спецавтохозяйства в зимних условиях относятся:

- обеспечение эффективного использования средств, предназначенных для эксплуатации автомобильных дорог и содержания их в исправном состоянии;
- организация работы по зимнему содержанию дорог и дорожных сооружений с использованием специализированных метеорологических прогнозов и рекомендаций по действиям дорожно-эксплуатационных служб;
- обеспечение совместно с органами Министерства внутренних дел Российской Федерации контроля за сохранностью автомобильных дорог и

дорожных сооружений в зимних условиях с использованием технических средств [23].

Технология зимнего периода, по которой работает как САХ, так и любые другие хозяйственные службы в других городах, применяется еще с 1970-х годов. Несмотря на то, что технология 1970-х годов нововведения появляются постоянно. Например, в 2015 году в механизированное звено САХа, в которое обычно входят автогрейдер; снегопогрузчик; трактор; два человека, которые занимаются ручной уборкой и 4–6 самосвалов в зависимости от погодных условий, добавили, так называемую, технику малой механизации — это маленькие снегоуборщики «диггеры» и «мустанги», которые позволяют очистить труднодоступные места.

Спецавтохозяйство работает в круглосуточном режиме, снегоуборочная техника выходит на улицы Томска в две смены независимо от сезона и погодных условий, а рабочий день занятых на уборке снега специалистов длится по 12 часов, но может быть изменен в зависимости от обстановки на дорогах. В дневную смену, в зависимости от погодных условий, выходит 4–6 звеньев, в ночную — 8. В ночную смену спецтехники на улицах больше, чем днем, что связано как со снижением плотности движения, так и с тем фактом, что ночью вдоль дорог не так много припаркованных автомобилей. В условиях аврального режима ночная смена работает с 18.00, некоторая техника с 19.00 до 7.30. А вся дневная техника выходит на работу с 8.00 до 18.00 вечера. План работы на дневную смену составляется за день, на ночную смену составляется днем, исходя из реальных и ожидаемых погодных условий. График составляется для каждой единицы техники, то есть фиксируется в каком звене она будет работать и на какой улице. Зачастую машины работают в две смены, что неизбежно приводит к ее быстрому износу, а значит ремонту, что порой мешает вывести на борьбу со снегом все машины [110].

Как правило, уборку улиц начинают осуществлять с тех мест, где снег или наледь могут помешать движению общественного транспорта. Помимо этого, в план уборки включаются улицы, которые по каким-либо причинам начали очищать от снега, но не закончили. Иногда, когда план уже составлен, а погодные условия меняются, выполнение работ перестраивается. Кроме того, очередность уборки

улиц может быть изменена мастером или главой района при объезде улиц, а иногда и жителями города.

Для организации работ по механизированной уборке территорию города разбивают на участки. Обслуживаемый участок делят на маршруты, за каждым из которых закрепляют определенное количество машин. Необходимое количество машин определяется исходя из приблизительных объемов работ. Для каждой машины, выполняющей работы по зимней уборке, составляют маршрутную карту, то есть графическое выражение пути следования, последовательность и периодичность выполнения того или иного вида работ.

В соответствии с маршрутными картами разрабатывают маршрутные графики. Причем при изменении местных условий (движения на участке, ремонте дорожных покрытий на одной из улиц и т.д.) маршруты корректируют. Один экземпляр маршрутов движения снегоуборочных машин находится у диспетчера, другой — у водителя. Время, затрачиваемое на выполнение маршрута, устанавливают путем хронометража на характерных участках или на основании нормативных данных в зависимости от типа снегоуборочных машин, состава бригады и других факторов. При назначении маршрутов следует сохранять равномерную нагрузку на каждую транспортную единицу. Согласно маршрутной карте, каждое механизированное звено выезжает на конкретный участок с конкретным заданием: определенный участок улицы от точки «а» до точки «б», либо правая или левая, либо обе стороны дороги, в зависимости от изначально поставленных задач. Если первоочередная задача выполнена, а время еще остается, то звено просто двигается дальше, не останавливаясь. По окончании уборки снег вывозится на полигоны, расположенные по адресам: ул. Мостовая, 40а; пос. Хромовка, 35/2; ул. Высоцкого, 22а [110].

Контроль качества выполненных работ Спецавтохозяйства осуществляется несколькими способами.

Во-первых, почти вся техника САХа оборудована системами спутникового слежения. В качестве такой системы используется аппаратно-программный комплекс «АвтоГРАФ», разработанный специалистами ООО «ТехноКом» на

основе самых современных технологий в области спутниковой навигации, а также каналов передачи и обработки данных. В основе данной системы лежит технология определения местоположения транспортного средства с помощью сигналов навигационных спутников системы глобального позиционирования ГЛОНАСС [111]. Используемая система позволяет проводить полный контроль за своевременным выходом транспорта, его передвижений и пробега с оперативным получением отчётности, а также предотвращение нецелевого и несанкционированного использования транспорта. Доступ к системе, помимо диспетчеров и руководителей САХа, имеют и сотрудники городской Администрации.

Второй механизм оценки — прямая визуализация. Здесь контроль качества ведут мастера — люди, которые собирают звено, наставляют работников и обсуждают наряд-задание смены. В смену выходят несколько мастеров. Самый опытный и самый ответственный человек назначается на общее руководство. Между остальными распределяются зоны ответственности: кто какую территорию возьмет, какие смены, и кто будет контролировать выполнение определенных задач. Эти работники докладывают мастеру о проделанной работе, а он вместе с ними контролирует ситуацию в городе — объезжает места уборки, наставляет новичков, выдает задание что-то переделать, если в этом есть необходимость [110].

За уборкой улиц могут следить и сами томичи с помощью «горячей линии». Так, согласно отчетам о работе «горячей линии», в отчетном периоде (2017 г.) отмечен всплеск обращений по вопросам содержания и уборки территории города, в большинстве своем — это жалобы на некачественную уборку снега в период обильных снегопадов (607 обращений против 370) [107]. Кроме того, информацию об улицах, где не была проведена уборка или была проведена некачественно, можно сообщить и в диспетчерскую САХа.

В качестве контроля необходимо принимать во внимание и нормативно-правовое влияние, так как выпущенные распоряжения, ГОСТы, методические рекомендации и прочее определяют направление дальнейшей деятельности служб, а также требования к этой деятельности. Так, например, Администрацией города

Томска разработано постановление «О Порядке организации и проведения ремонта и содержания автомобильных дорог местного значения муниципального образования «Город Томск»» от 14 октября 2014 года № 1035 (с изменениями на 22 сентября 2017 года) [18].

Таким образом, механизированная уборка городской территории в зимний период времени является одной из важных и сложных задач дорожно-эксплуатационных служб города. Качество работ по уборке территорий зависит от их рациональной организации и выполнения технологических режимов [24]. Сложность организации зимней уборки может быть обусловлена следующими причинами:

1) проблема кадров, связанная с сезонностью работ;

Большая часть предприятий имеет свой режим работы, а остальная, как и САО, зимой вынуждена увеличивать штат сотрудников и обеспечивать круглосуточный режим работы, а летом – сокращать по причине экономической нерентабельности. При дефиците кадрового состава, соответственно, простаивает и техника. Для решения этой проблемы САО привлекает механизаторов (вместе с рабочими) из близлежащих к городу районов области. При найме приоритет отдается кандидатам с опытом работы.

2) малочисленность исправной снегоуборочной техники;

Анализ ресурсов Спецавтохозяйства показывает, что в наличии на зимний период 2016-2017 года у него имелось 147 машин для зимнего содержания дорог, но, 90 единиц из них требовали ремонта [104]. Иными словами, лишь 57 снегоуборочных машин должны были убирать 2 726, 437 тыс. м², что говорит о несоответствии ресурсной базы площади убираемых территорий. По подсчетам Администрации г. Томска для оперативной работы в сложившихся условиях на тот момент требовалось как минимум в 5 раз больше техники. Порой даже многофункциональность техники не позволяет обеспечить достаточное ее количество по причине того, что с переключением части машин, например, с вывоза снега на иные работы, требуется привлекать дополнительные самосвалы. Ее многофункциональность обусловлена наличием универсального характера, то есть

техника может переквалифицироваться с одного вида работ на другой, например, с пескорозбрасывания на разметание.

3) недостаточное финансирование;

Круглогодичное содержание дорог города Томска осуществляется в рамках контракта, стоимость которого рассчитывается ежегодно с учетом среднестатистических показателей, описывающих стандартные погодные условия. В случае, если контрактные средства исчерпаны, требуется рефинансирование из местного бюджета. Как показывает практика, суммы в изначально утвержденном контракте часто не хватает в связи с отсутствием пункта графы расходов на случай аномальных осадков и форс-мажора [112].

4) нерациональное расположение полигонов для вывоза снега.

При выборе полигона для вывоза снега предпочтение отдается тому, который находится ближе к территории, с которой осуществляется вывоз. По причине того, что в южной части города нет полигона, процесс вывоза снега является неэффективным, так как много времени тратится на передвижение до полигона.

Если еще на этапе планирования работ по снегоуборке Спецавтохозяйством не будут учтены все существующие вышеперечисленные проблемы, могут возникнуть следующие неблагоприятные последствия:

- снег на проезжей части угрожает безопасности движения, поскольку снижает маневренность автомобилей, увеличивает вероятность заносов, удлиняет тормозной путь;
- большой объем неубранного снега снижает проходимость автомобилей и замедляет скорость их общего потока;
- снег, сдвинутый спецтехникой на обочину, но не убранный с нее, сужает проезжую часть. В результате шестиполосные дороги превращаются в четырехполосные, а четырехполосные – в двухполосные. Сужение дорог уменьшает их пропускную способность, возникают дорожные пробки.

3.2. Разработка модели «Механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами»

Механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами может быть выборочной, при которой, в первую очередь, при изменении погодных условий посыпаются особо опасные места (например, подъемы, спуски, перекрестки, места остановок общественного транспорта и пр.) и сплошной, при которой проезжая часть посыпается полностью, в связи с этим рассмотрим оба варианта имитационной модели. В качестве ПГМ предлагается использовать песко-соляную смесь, которая является наиболее часто используемым реагентом.

Имитационная модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами»

Перед построением модели выборочной механизированной посыпки проезжей части ПГМ необходимо определиться с опасными участками улично-дорожной сети г. Томска и сформировать базы данных, учитывающие расстояния и скорости «холостых ходов», а также посыпки.

В таблице 3.1 представлены исходные данные пескоразбрасывателя для имитации «холостых ходов».

Таблица 3.1 – Исходные данные пескоразбрасывателя для имитации «холостых ходов»

Route_1				
Код	Number	Street_name	Speed	Distance
1	1	от пескобазы до пересечения с ул. Большая Подгорная	45	4,92
2	2	от ул. Кузнечный взвоз до ул. Ключева	43	4,6
3	3	возвращение на пескобазу	50	11,32

В таблице 3.2 представлены исходные данные пескоразбрасывателя при осуществлении посыпки.

Таблица 3.2 – Исходные данные пескоразбрасывателя при осуществлении посыпки

Route_2				
Код	Number	Street_name	Speed	Distance
1	1	ул. Кузнечный взвоз	17	0,46
2	2	от кольца ул. Суворова до пересечения с ул. Энтузиастов	19	4,12
3	3	от кольца ул. Энтузиастов до ул. Иркутский тракт	17	3,19

При формировании БД учитывалось, что одной машины пескоразбрасывателя, объемом 8 м³, хватит на посыпку 7,78 км (рассчитано с учетом плотности ПГМ и грузоподъемности пескоразбрасывателя).

Исходя из имеющейся многоуровневой архитектуры СМ МАРС, ниже на рисунках 3.2, 3.4, 3.6 модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части ПГМ» представлена на объектном, логическом и визуальном уровнях соответственно.

На рисунке 3.2 представлена модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на объектном уровне.

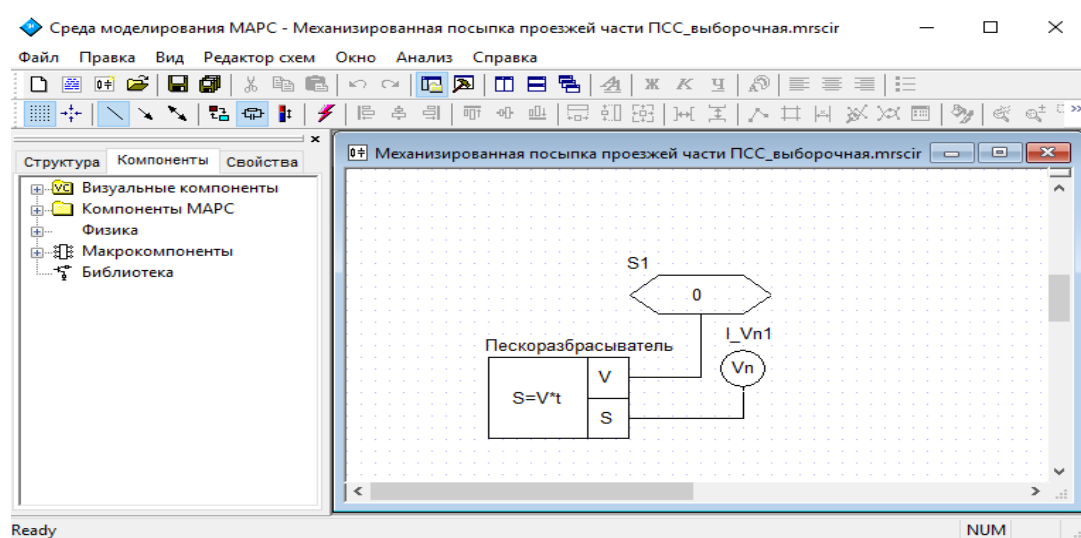


Рисунок 3.2 – Модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на объектном уровне

Процесс движения / посыпки пескоразбрасывателей, аналогично компоненту «Самосвал», описывается формулой равномерного прямолинейного движения (2.7), причем остановка того или иного процесса осуществляется при $S_{изм.} = S_{зад.}$:

$$(S_{изм.} = T \cdot v) \leq (S_{зад.})$$

где $S_{изм.}$ – измеряемый, пройденный путь пескоразбрасывателя, км; $S_{зад.}$ – заданный путь пескоразбрасывателя, км; v – скорости движения пескоразбрасывателя, км/ч.; T – время, затрачиваемое на прохождение заданного пути пескоразбрасывателем, которое определяется разностью конечного и начального времен моделирования, что представлено на логическом уровне, ч.

Модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне позволяет изобразить две модели дискретно-событийную и экономическую.

Дискретно-событийная модель позволяет смоделировать все происходящие события пескоразбрасывателя:

- перемещение пескоразбрасывателя от пескобазы, расположенной по адресу ул. Московский тракт, 109 до места посыпки (исходные данные представлены в табл. 3.1);
- механизированная посыпка проезжей части выбранного участка ПГМ (исходные данные представлены в табл. 3.2);
- перемещение пескоразбрасывателя от посыпаемой улицы до пескобазы (исходные данные представлены в табл. 3.1).

Ниже на рисунке 3.3 представлена блок-схема алгоритма-сценария функционирования пескоразбрасывателя при выборочной посыпке, которая отражает последовательный ход рассуждений при построении модели «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне.

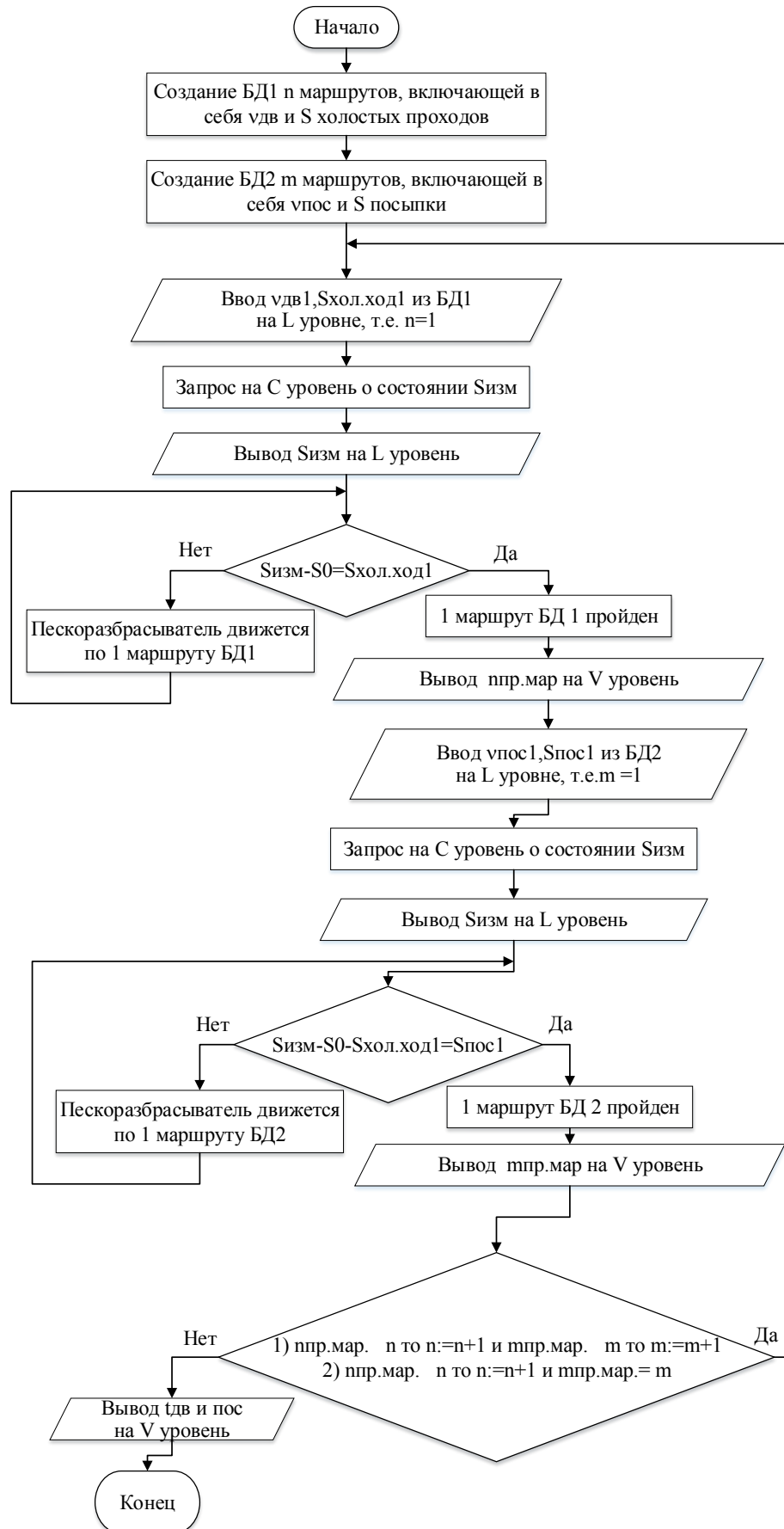


Рисунок 3.3 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования пескоразбрасывателя при выборочной посылке

Исходя из представленной блок-схемы, модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне имеет вид (рис. 3.4):

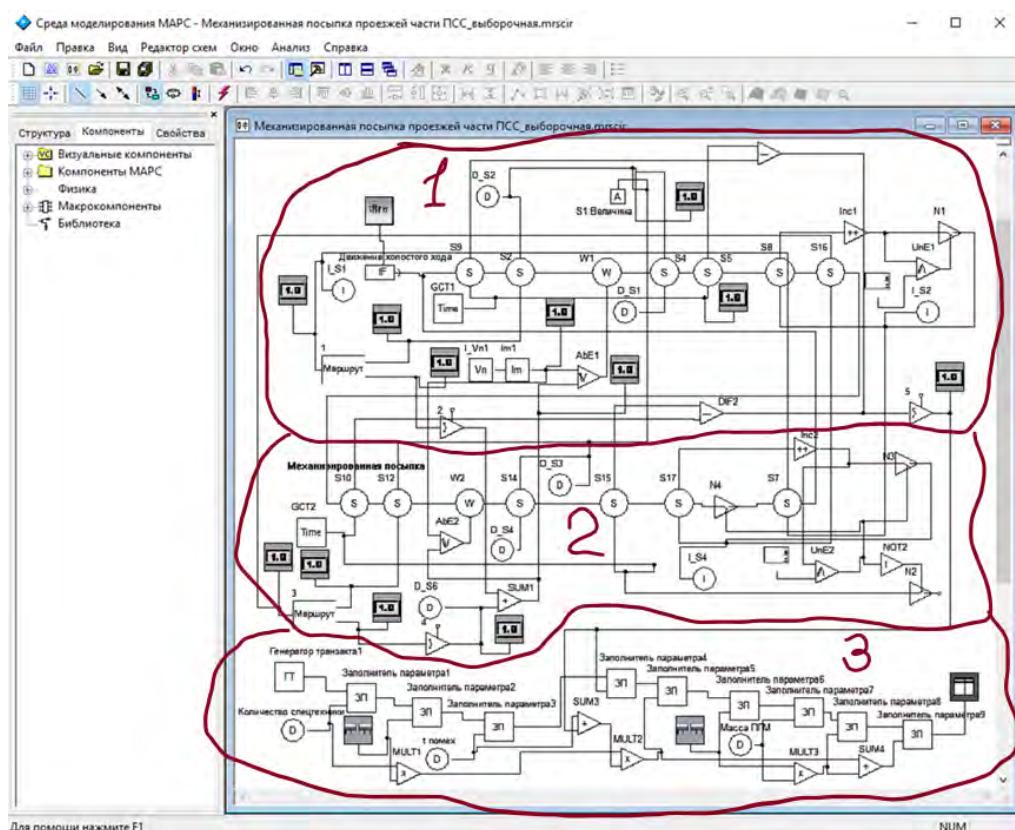


Рисунок 3.4 – Модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне

На рисунке 3.4 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены: 1 – имитация «холостых ходов» пескоразбрасывателей, 2 – имитация посыпки улиц пескоразбрасывателем, причем совместно 1 и 2 формируют дискретно-событийную модель, а 3 – экономическую модель.

С помощью компонента «Маршрут» в модели участвуют исходные значения БД [113-115]. В процессе моделирования базы данных взаимодействуют между собой, то есть после прохождения первого маршрута «холостого хода» (первого маршрута БД 1) имитируется маршрут посыпки (первый маршрут БД 2) и т.д. Имитация механизированной посыпки проезжей части осуществляется до тех пор, пока не будут пройдены все номера маршрутов двух БД.

Посредством экономической модели рассчитывается общая стоимость работы пескоразбрасывателя за проработанный промежуток времени. Формулы

расчетов представлены в компоненте «Генератор транзактов», который имеет вид (рис. 3.5):

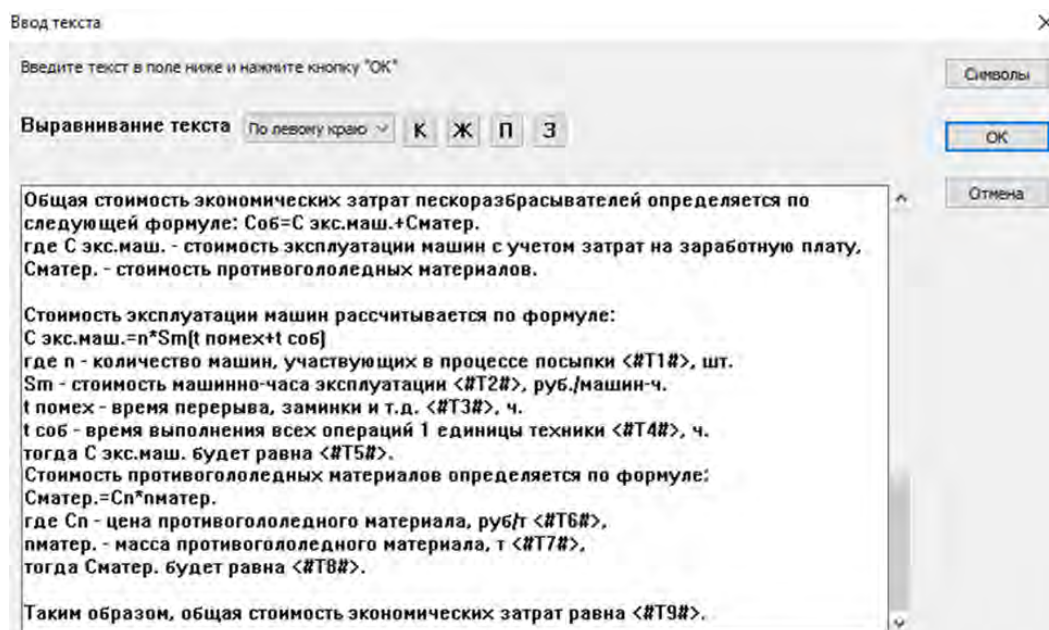


Рисунок 3.5 – Определение производственных затрат, получаемых на модели «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами»

Данные, необходимые для расчета производственных затрат (кроме, времени выполнения всех событий единиц спецтехники) представляются в виде статических или динамически изменяющихся значений и формируются с помощью компонента «Заполнитель параметров». Если значения исходных данных являются динамически изменяющимися, то при их варьировании на визуальном уровне результаты производственных затрат изменятся автоматически.

На рисунке 3.6 представлена модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на визуальном уровне.

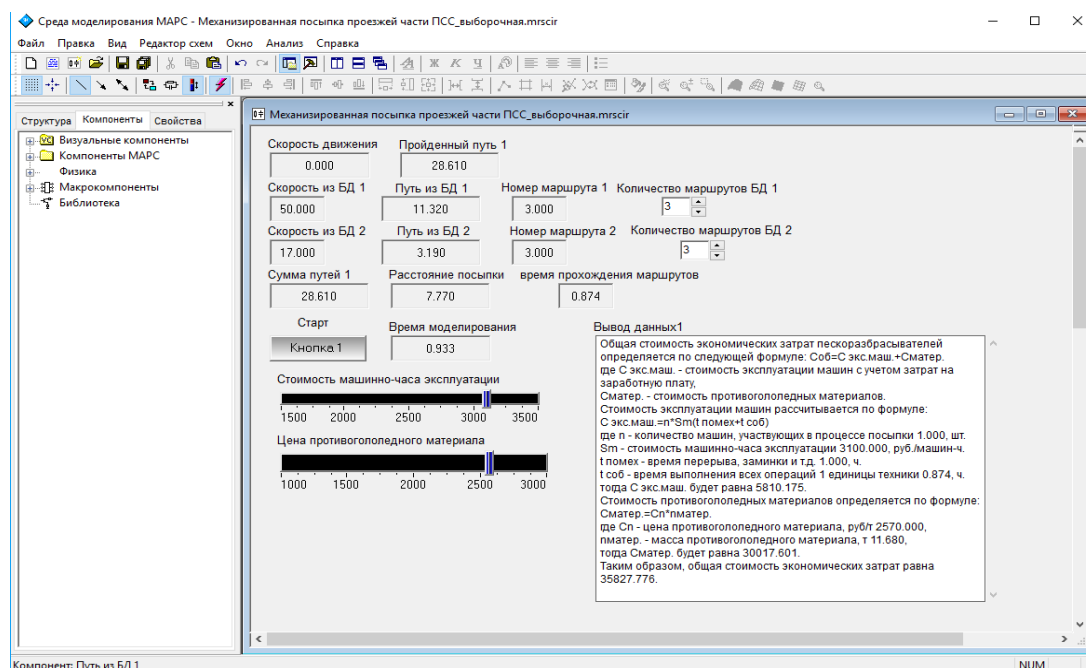


Рисунок 3.6 – Модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на визуальном уровне

По результатам моделирования видно, что в базах данных было сформировано по три маршрута, пройденный путь которых равен 28,610 км, среди них расстояние посыпки составило 7,77 км. На прохождение заданного пути было затрачено 0,874ч. Исходя из того, что пескоразбрасыватель проработал 0,874ч., а его 1 час стоит 3 100 руб., и предположим, что цена противогололедного материала равна 2 570 руб., то, следовательно, стоимость его эксплуатации составит 35 827,776 руб.

Имитационная модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами»

В рамках сплошной механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами, в отличие от выборочной, не нужно выявлять опасные участки, достаточно определиться с наименованием улицы и необходимым расходом посыпки. Как правило, распределение ПГМ начинают с улиц I категории и средний расход песко-соляной смеси равен 250 г/м^2 . В качестве примера рассмотрим проспект Ленина, расстояние которого равно 16,05 км (с учетом обеих сторон посыпки).

В рамках сплошной механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами выделяют следующие события:

- 1) загрузка пескоразбрасывателей противогололедными материалами;
- 2) перемещение пескоразбрасывателей от пескобазы, расположенной по адресу ул. Московский тракт, 109 до места посыпки;
- 3) механизированная посыпка проезжей части выбранной улицы противогололедными материалами;
- 4) перемещение пескоразбрасывателей от посыпаемой улицы до пескобазы.

Исходными данными модели «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» являются: загрузка пескоразбрасывателей ПГМ равная 18 минутам (0,3 ч.), что известно из хронометража снегоуборочной техники; расстояние перемещения спецтехники от пескобазы до места посыпки – 1,52 км; расстояние перемещения пескоразбрасывателей от посыпаемой улицы до пескобазы – 8,65 км. В результате моделирования требуется определить временные и производственные затраты, необходимые для выполнения данного вида работ.

На объектном уровне модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» имеет вид аналогичный модели «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» (рис. 3.2).

Блок-схема алгоритма-сценария функционирования пескоразбрасывателя при сплошной посыпке формируется на основе вышеуказанных его событий и отражает последовательный ход рассуждений при построении модели «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне (рис. 3.7).

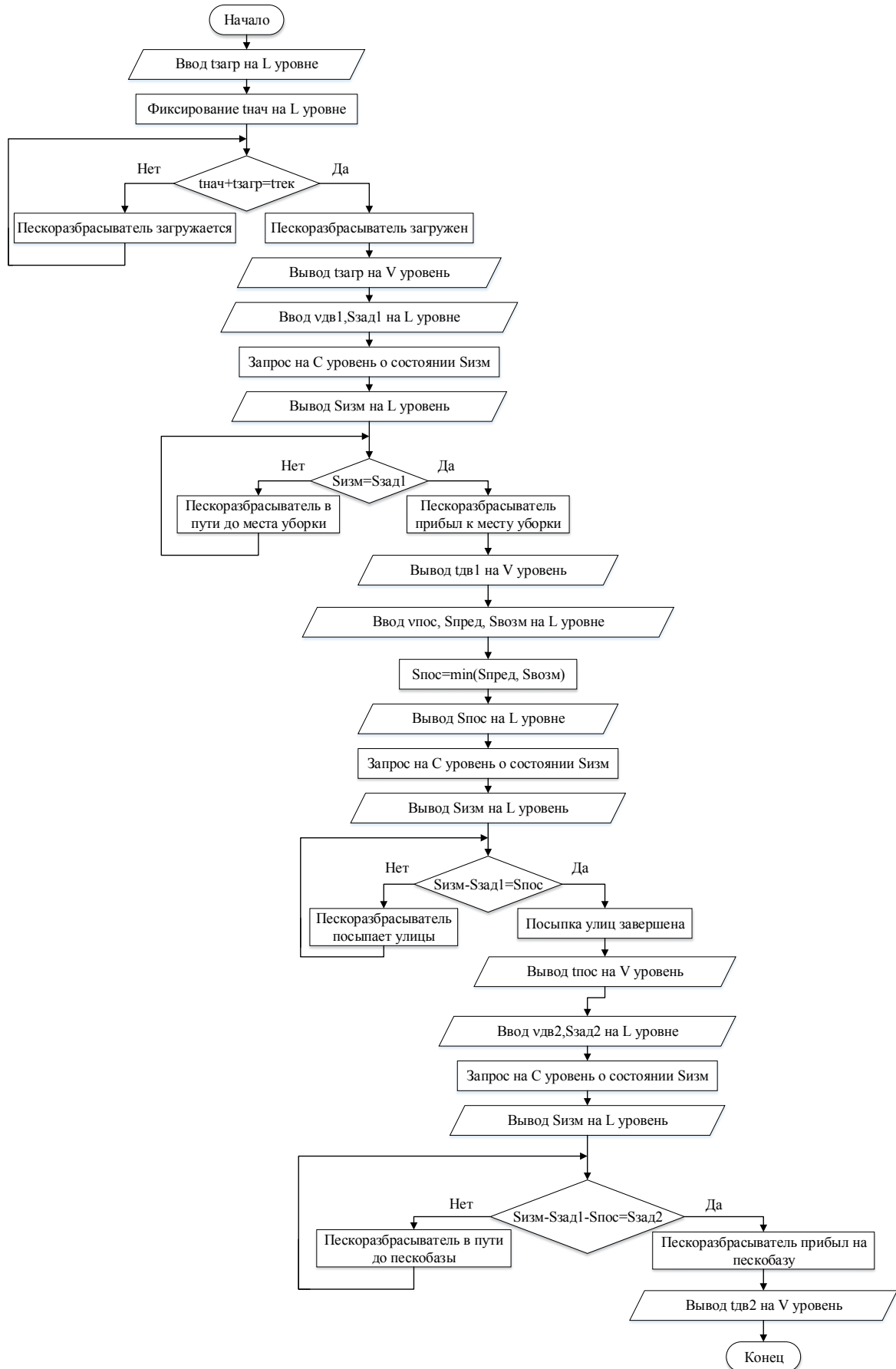


Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования пескоразбрасывателя при сплошной посыпке

Исходя из представленной блок-схемы, модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне имеет вид (рис. 3.8):

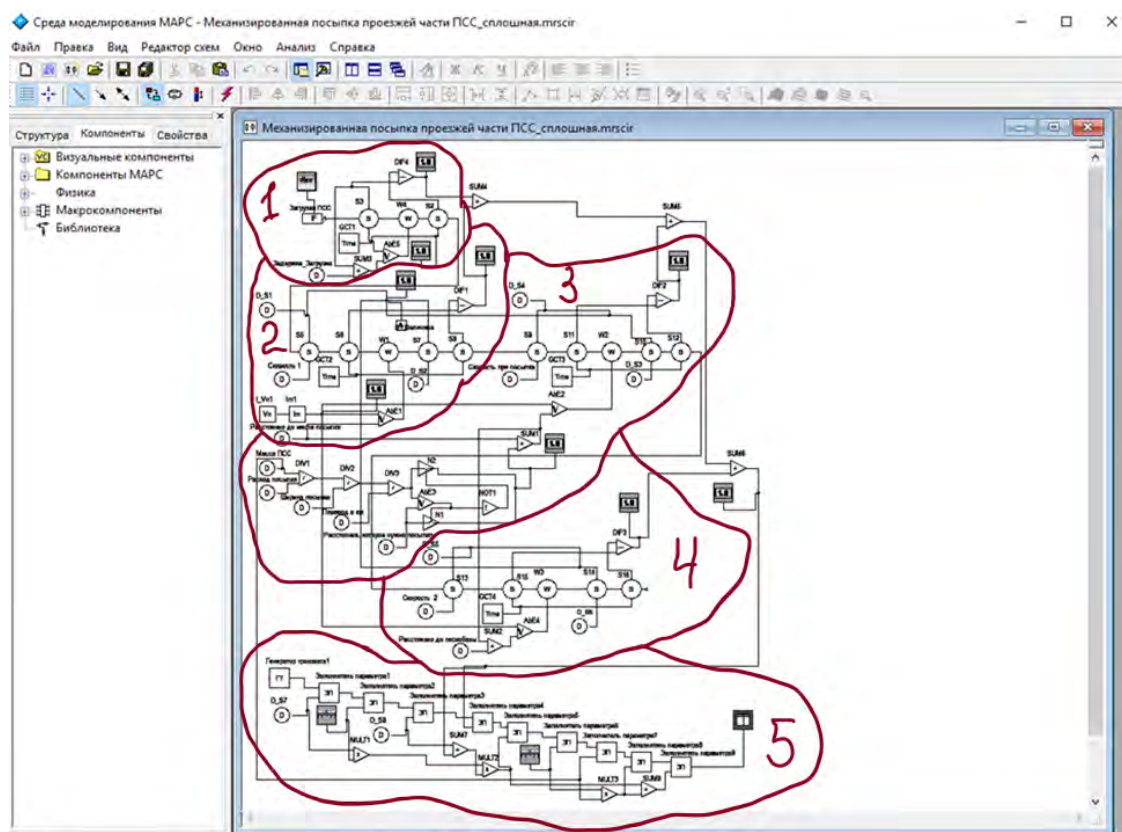


Рисунок 3.8 – Модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на логическом уровне

На рисунке 3.8 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены вышеописанные события пескоразбрасывателя, причем совместно 1, 2, 3 и 4 формируют дискретно-событийную модель, а 5 – экономическую модель.

В рамках представленной модели имитация процесса посыпки осуществляется до тех пор, пока объем кузова пескоразбрасывателя с песком не будет равен нулю. Расстояние, которое сможет посыпать 1 машина пескоразбрасывателя, определяется, исходя из следующих расчетов:

1) определим возможную площадь посыпки:

$$S = \frac{m}{\rho} = \frac{11,68 \text{ т}}{0,00025 \text{ т/м}^2} = 46\,720 \text{ м}^2 \quad (3.1)$$

где S – возможная площадь посыпки, м^2 ; m – масса противогололедного материала (в данном случае ПСС и рассчитана с учетом ее плотности ($1,46 \text{ т/м}^3$) и объема

кузова пескоразбрасывателя (8 м^3)); ρ - расход противогололедного материала (в среднем равен $250 \text{ г/м}^2 = 0,00025 \text{ т/м}^2$).

2) исходя из того, что ширина посыпки пескоразбрасывателя составляет в среднем 6 м, определим ее расстояние по формуле:

$$l = \frac{S}{b} = \frac{46\,720 \text{ м}^2}{6 \text{ м}} = 7\,786,6 \text{ м} = 7,78 \text{ км} \quad (3.2)$$

где l – расстояние посыпки, м; S - возможная площадь посыпки, м^2 ; b - ширина посыпки, м.

Следовательно, после того как пескоразбрасывателем посыпано 7,78 км, он возвращается на пескобазу.

Принцип построения экономической модели «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» аналогичен модели «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами».

На рисунке 3.9 представлена модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на визуальном уровне.

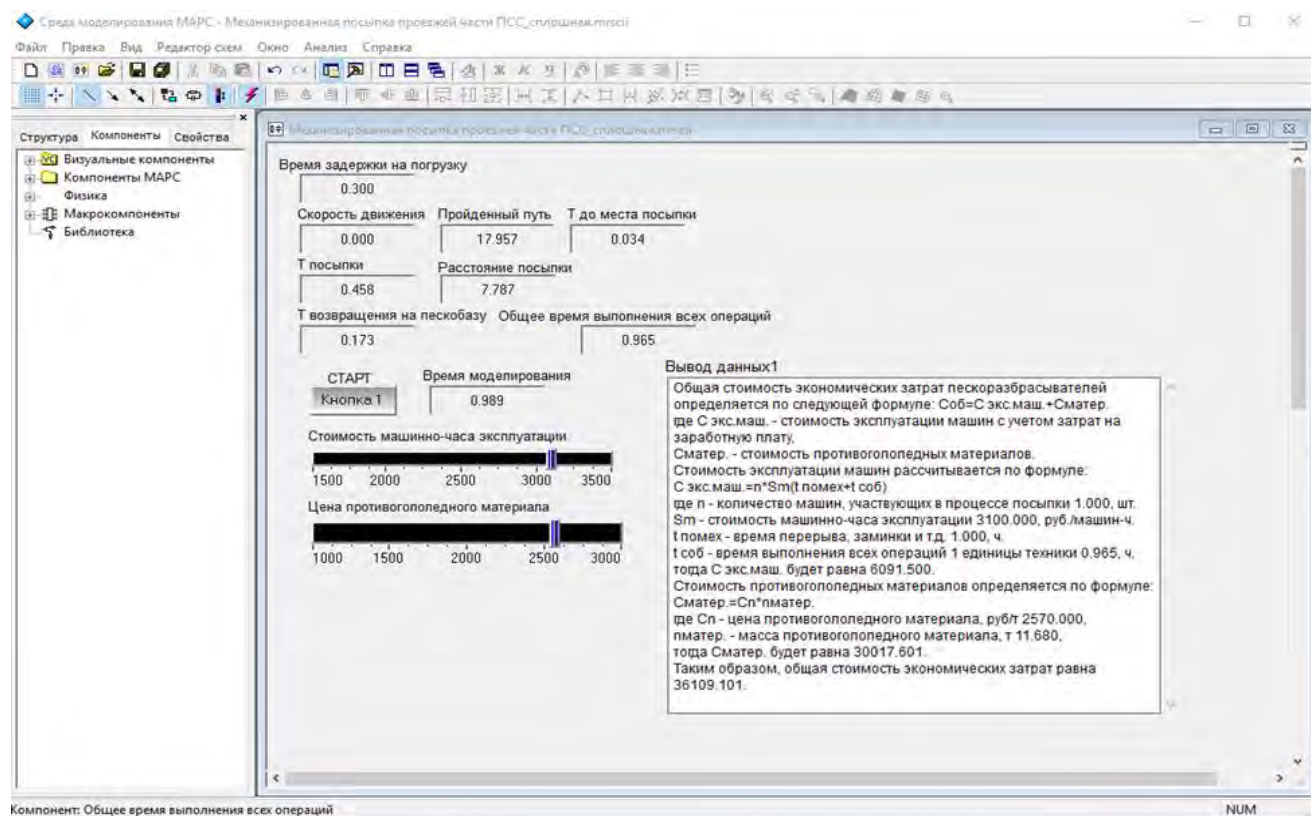


Рисунок 3.9 – Модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на визуальном уровне

По результатам моделирования видно, что задержка на загрузку песко-соляной смесью составила 0,3 часа, расстояние посыпки равно 7,787 км, всего пескоразбрасывателем было пройдено 17,957 км, тогда общее время выполнения всей технологической операции равно 0,965 ч. Исходя из того, что пескоразбрасыватель проработал 0,965 ч., а его 1 час стоит 3 100 руб., а также предположим, что цена противогололедного материала равна 2 570 руб., то, следовательно, стоимость его эксплуатации составит 36 109,101 руб.

3.3. Разработка моделей этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц

3.3.1. Модель оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей

Нормативная документация стандартов и методов содержания городских дорожно-транспортных сетей, ориентируясь на которую, дорожно-эксплуатационные службы, нанимаемые муниципальной властью, содержат дороги, улицы, площади и тротуары, как и любые другие межгосударственные стандарты, претерпевают изменения. С 1 сентября 2018 года вступил в силу новый ГОСТ Р 50597-2017 «Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля», заменивший стандарт 1993 года [37]. Соответственно, каждому региону необходимо приспособиться к изменившимся правилам уборки проезжих частей и улиц.

В настоящее время в Спецавтохозяйстве для осуществления технологических операций разработаны логистические маршруты, которые минимизируют расстояние «холостого хода» плужно-щеточных машин без учета разделения дорог на категории. Но с выходом нового ГОСТа актуализируется потребность в разработке маршрутов уборки, разграничивающих дороги по категориям. Связано это, в первую очередь, с ужесточением сроков устранения снега и зимней скользкости на проезжей части, разнящихся в зависимости от категории дорог [116-117].

Рассмотрим оптимальный маршрут уборки автомобильных дорог от снега плужно-щеточной техникой на примере Ленинского района города Томска с учётом минимизации «холостого хода», тем самым сокращая временные затраты на его прохождение.

Анализ литературных источников показывает, что исследование оптимизации маршрутов транспортных сетей проводится в разных областях, например, в сфере городского пассажирского транспорта [118], в сфере адресной доставки товара [119] и т.д. Так, например, в статье Гаваева А.С. «Оптимизация маршрутов движения снегоуборочной техники» предлагается оптимизировать уборку мостов города Тюмени с помощью изменения количества проездов дорожной техники, тем самым сократив длину «холостого хода» [120]. Однако, приведенные исследования, позволяющие решить проблему построения оптимальных маршрутов уборки снега, не предлагают учесть направленности полос движения техники.

При разработке оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей предлагается применить теорию графов, которая имеет широкое практическое применение, например, в перевозочной логистике, химической и электротехнической промышленности, торговле и образовании. В теории графов выделяют два различных направления: алгебраическое и оптимизационное [121]. В данной диссертационной работе рассмотрим задачу оптимизационного типа.

Любой граф состоит из двух групп элементов: точек и стрелок, соединяющих эти точки. Точки могут изображаться на плоскости, хотя могут и не иметь такой определённой «физической» привязки. Стрелки, чаще всего, изображаются линиями (как прямыми, так и не прямыми), соединяющими пары точек. Например, для графа, изображённого на рис. 3.10, точки помечены буквами a, b, c, d , а стрелки – буквами $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \epsilon, \phi$. Стрелки α и β , которые идут из точки a в точку b , имеют началом точку a и концом точку b .

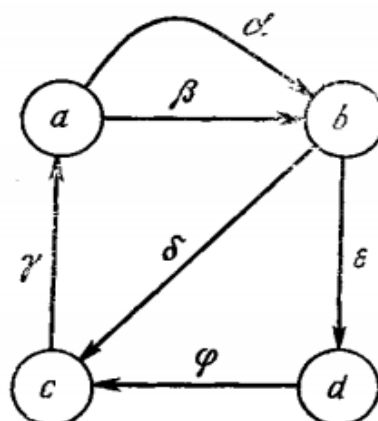


Рисунок 3.10 – Пример графического изображения графа

Ориентированные по направлению звенья графа называются дугами. Всякое неориентированное звено графа называется ребром и включает в себя две равноценные, но противоположно направленные дуги. Если все дуги графа являются направленными, то такой граф называется ориентированным. В случае, если только часть звеньев имеет направление, то такой граф называется смешанным. Граф, каждая вершина которого может быть соединена некоторой последовательностью звеньев с любой его другой вершиной, называется связным графом, то есть каждая вершина связного графа должна иметь как минимум одну входящую и одну выходящую дугу. Граф, моделирующий транспортную сеть, обязательно должен быть связным, чтобы из каждого её элемента имелся путь в любой другой элемент [122].

Под транспортной сетью понимают совокупность транспортных связей, по которым осуществляются пассажирские и грузовые перевозки. Такую сеть можно представить в виде графа, где:

- вершины графа – это точки на сети, определяющие расстояния или маршруты движения;
- звенья графа – это отрезки транспортной сети в дорожной связи между соседними вершинами, представляющиеся числами, которые могут быть расстоянием или временем движения [123-124].

Цель процесса оптимизации на графах зависит от постановки задачи, которая может быть сформулирована одним из следующих вариантов:

1) задача о кратчайшем пути, которая требует найти на графе кратчайший путь — путь наименьшей длины из вершины X_0 в вершину X_N . В данном методе также есть обратная задача нахождения критического пути – пути наибольшей длины из вершины X_0 в вершину X_N ;

2) задача «китайского почтальона» или задача маршрута осмотра, под которой подразумевается поиск кратчайшего замкнутого пути или контура, посещающего каждое ребро связанного неориентированного графа как минимум один раз;

3) задача коммивояжера, заключающаяся в поиске гамильтонова контура наименьшей общей длины в ориентированном связном графе. Гамильтоновым называется контур, включающий каждую вершину графа ровно один раз. Впрочем, оптимальный маршрут коммивояжера не обязательно является гамильтоновым контуром [125].

Разработка транспортных маршрутов уборки снега приводит к построению связанного ориентированного графа с обязательным критерием наличия гамильтонова контура и соответствует задаче коммивояжера [126]. Математическую постановку задачи коммивояжера применительно к построению оптимального маршрута при уборке снега 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.

Для решения поставленной задачи рассмотрим предлагаемую модель разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей и классическую постановку задачи графов (рис. 3.11).

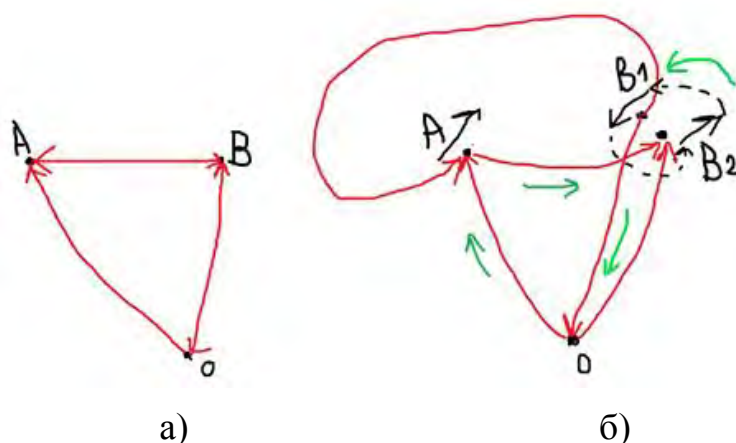


Рисунок 3.11 – Модели разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей

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 графов за вершины A и B принимаются убираемые улицы, которые соединены между собой дугами («холостым ходом»). 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 (т.к. во время уборки плужно-щеточной технике не следует поворачивать налево) 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 («холостой ход»). 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 в классической постановке задачи. В предлагаемой модели зелеными стрелочками обозначен итоговый маршрут примера, который был определен среди альтернативных вариантов с учетом нахождения гамильтонова контура.

Переменными решаемой задачи являются:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если снегоуборочная техника движется от полосы } i \text{ к полосе } j; \\ 0, & \text{если снегоуборочная техника не движется от полосы } i \text{ к полосе } j \end{cases}$$

Целевая функция будет иметь вид:

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (3.3)$$

при ограничениях:

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \forall j \in I \quad (3.4)$$

$$\sum_{j \in I} x_{ij} = 1, \forall i \in I \quad (3.5)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ij} \leq |S| - 1, \forall S \subset I, S \neq \emptyset \quad (3.6)$$

Приведенные ограничения фактически гарантируют, что минимум будет выбираться только среди гамильтоновых циклов. Так, условия (3.4) и (3.5) обеспечивают посещение каждой вершины один и только один раз, а условие (3.6) гарантирует отсутствие циклов, содержащих не все из заданных полос движения (случай, когда маршрут состоит из нескольких непересекающихся по вершинам циклов и оказывается несвязным) [121].

Задача коммивояжера может быть решена методом жадных алгоритмов, ветвей и границ, с помощью динамического программирования и др. В данной работе задача коммивояжера, применяемая к маршрутам плужно-щеточных снегоочистителей, решается методом ветвей и границ, который представляет собой комбинаторный метод, т.е. упорядоченный перебор вариантов маршрута и рассмотрение лишь тех из них, которые по критерию минимизации «холостого хода» снегоуборочной техники оказываются перспективными. Достоинством данного метода является оценка близости получаемого решения к оптимальному.

Рассмотрим построение оптимального маршрута снегоуборки плужно-щеточной техникой на примере Ленинского района города Томска для улиц I и II категорий, среди которых выделяют:

Дороги I категории:

- улица 79 Гвардейской Дивизии (от проспекта Мира до улицы Говорова) (вершины 1, 2);
- переулок Кооперативный (вершины 3, 4);

- улица Карла Маркса (от площади Ленина до переулка 1905г.) (вершины 5, 6);
- проспект Мира (вершины 7, 8);
- переулок 1905г. (вершины 9, 10);
- улица Розы Люксембург (вершины 11, 12);
- проспект Ленина (от улицы Набережная р. Ушайка до улицы Профсоюзной (включая пл. Ленина) (вершины 13, 14);
- улица Дальне-Ключевская (вершины 15, 16);
- улица Смирнова (вершины 17, 18);
- улица Большая Подгорная (от улицы Смирнова до улицы Дальне-Ключевская) (вершины 19, 20);
- Чекистский тракт (вершины 21, 22);
- улица 1-я Мостовая (вершина 23);
- улица Интернационалистов (вершины 24, 25);
- улица 5-й Армии (вершины 26, 27).

Дороги II категории:

- переулок Совпартшкольный (вершины 1, 2);
- улица Большая Подгорная (вершины 3, 4);
- улица Карла Ильмера (вершины 5, 6);
- улица Говорова (вершины 7, 8);
- улица Ференца Мюнниха (вершины 9, 10);
- переулок Светлый (вершины 11, 12);
- переулок Урожайный (вершины 13, 14);
- улица Амурская (вершины 15, 16);
- улица Кутузова (вершины 17, 18);
- улица Асиновская (вершины 19, 20);
- улица Мостовая (вершины 21, 22);
- улица Причальная (вершины 23, 24);
- улица Усть-Киргизка 2-я (вершины 25, 26);
- улица ЛПК 2-й посёлок (вершины 27, 28);

- улица Ижевская (вершины 29-33);
- улица Профсоюзная (вершина 34).

С помощью справочного картографического ресурса 2ГИС определяются расстояния между вершинами – полосами дорог. Точкой отсчёта (вершина 0) считается база САХа, расположенная по адресу проспект Комсомольский, д. 66, откуда снегоуборочная техника стартует в начале маршрута и куда возвращается по его окончанию.

Построение матрицы расстояний рекомендуется осуществлять в Microsoft (MS) Excel для получения более точных результатов при дальнейших расчетах оптимального маршрута (приложение Д). Рассчитать маршрут с помощью задачи коммивояжера можно, используя средство анализа MS Excel «Поиск решений» с учётом указанных ранее ограничений в математической постановке задачи. В результате расчетов получились следующие маршруты:

Для дорог I категории (рис. 3.12): 0-15-7-2-1-25-24-18-17-21-22-23-19-11-12-20-8-13-26-27-14-9-6-5-10-3-4-16-0. Другими словами, САХ (пр. Комсомольский, 66) – ул. Дальне-Ключевская (одна полоса) – пр. Мира (одна полоса) – ул. 79 Гвардейской Дивизии (обе полосы) – ул. Интернационалистов (обе полосы) – ул. Смирнова (обе полосы) – Чекистский тракт (обе полосы) – ул. 1-я Мостовая (одна полоса) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – ул. Розы Люксембург (обе полосы) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – пр. Мира (одна полоса) – пр. Ленина (одна полоса) – ул. 5-й Армии (обе полосы) – пр. Ленина (одна полоса) – пер. 1905г. (одна полоса) – ул. Карла Маркса (обе полосы) – пер. 1905г. (одна полоса) – пер. Кооперативный (обе полосы) – ул. Дальне-Ключевская (одна полоса) – САХ (пр. Комсомольский, 66).

Для дорог II категории (рис. 3.13): 0-8-7-11-14-13-29-34-32-31-30-33-21-23-24-22-25-27-28-26-17-19-20-18-15-16-12-9-10-5-6-3-1-2-4-0. Другими словами, САХ (пр. Комсомольский, 66) – ул. Говорова (обе полосы) – пер. Светлый (одна полоса) – пер. Урожайный (обе полосы) – ул. Ижевская (одна полоса) – ул. Профсоюзная (одна полоса) – ул. Ижевская (две полосы, поделённые на части) – ул. Мостовая (одна полоса) – ул. Причальная (обе полосы) – ул. Мостовая (одна

полоса) – ул. Усть-Киргизка 2-я (одна полоса) – ул. ЛПК 2-й посёлок (обе полосы) – ул. Усть-Киргизка 2-я (одна полоса) – ул. Кутузова (одна полоса) – ул. Асиновская (обе полосы) – ул. Кутузова (одна полоса) – ул. Амурская (обе полосы) – пер. Светлый (одна полоса) – ул. Ференца Мюнниха (обе полосы) – ул. Карла Ильмера (обе полосы) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – пер. Совпартшкольный (обе полосы) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – СХ (пр. Комсомольский, 66).

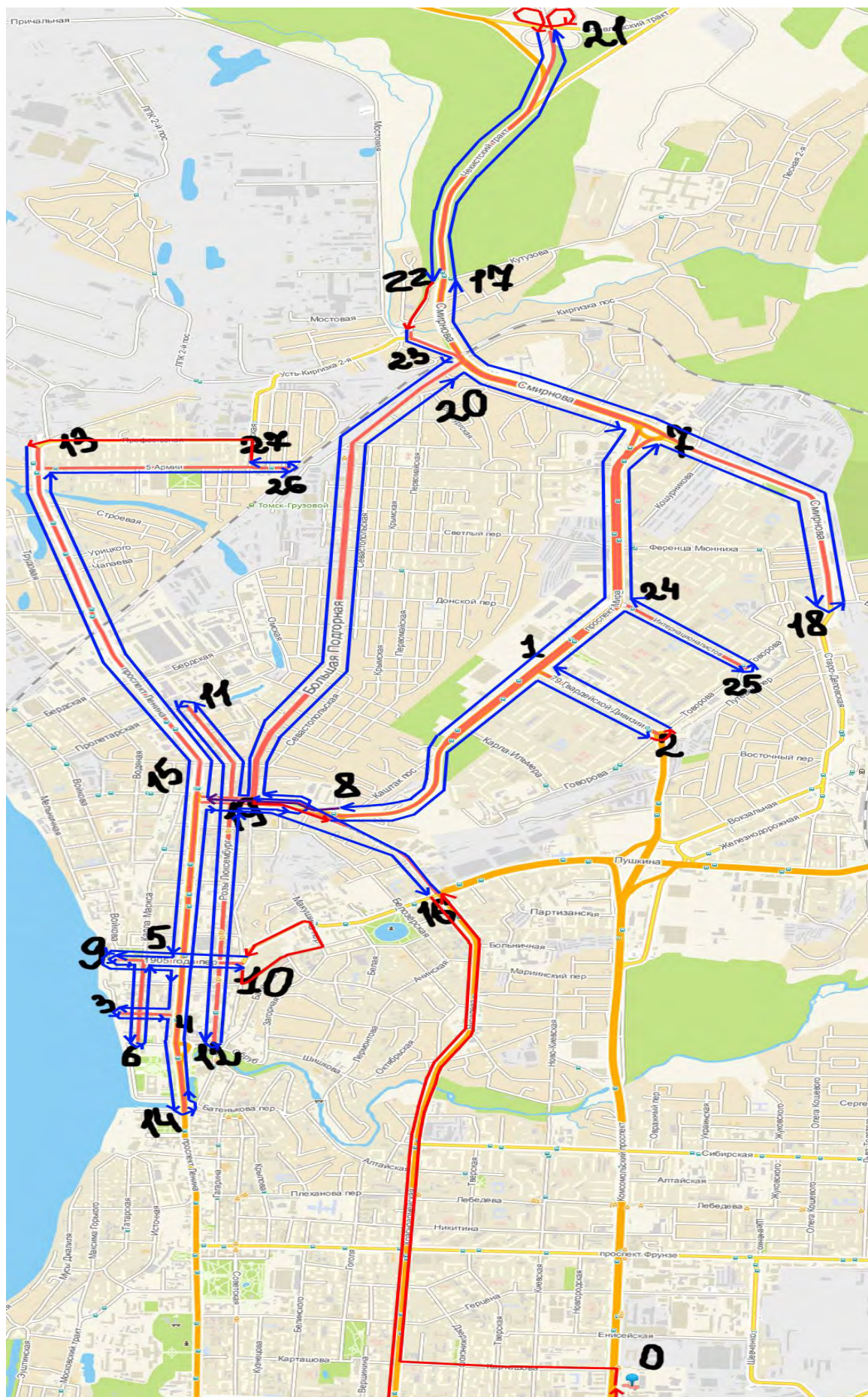


Рисунок 3.12 – Итоговый оптимальный маршрут для дорог I категории

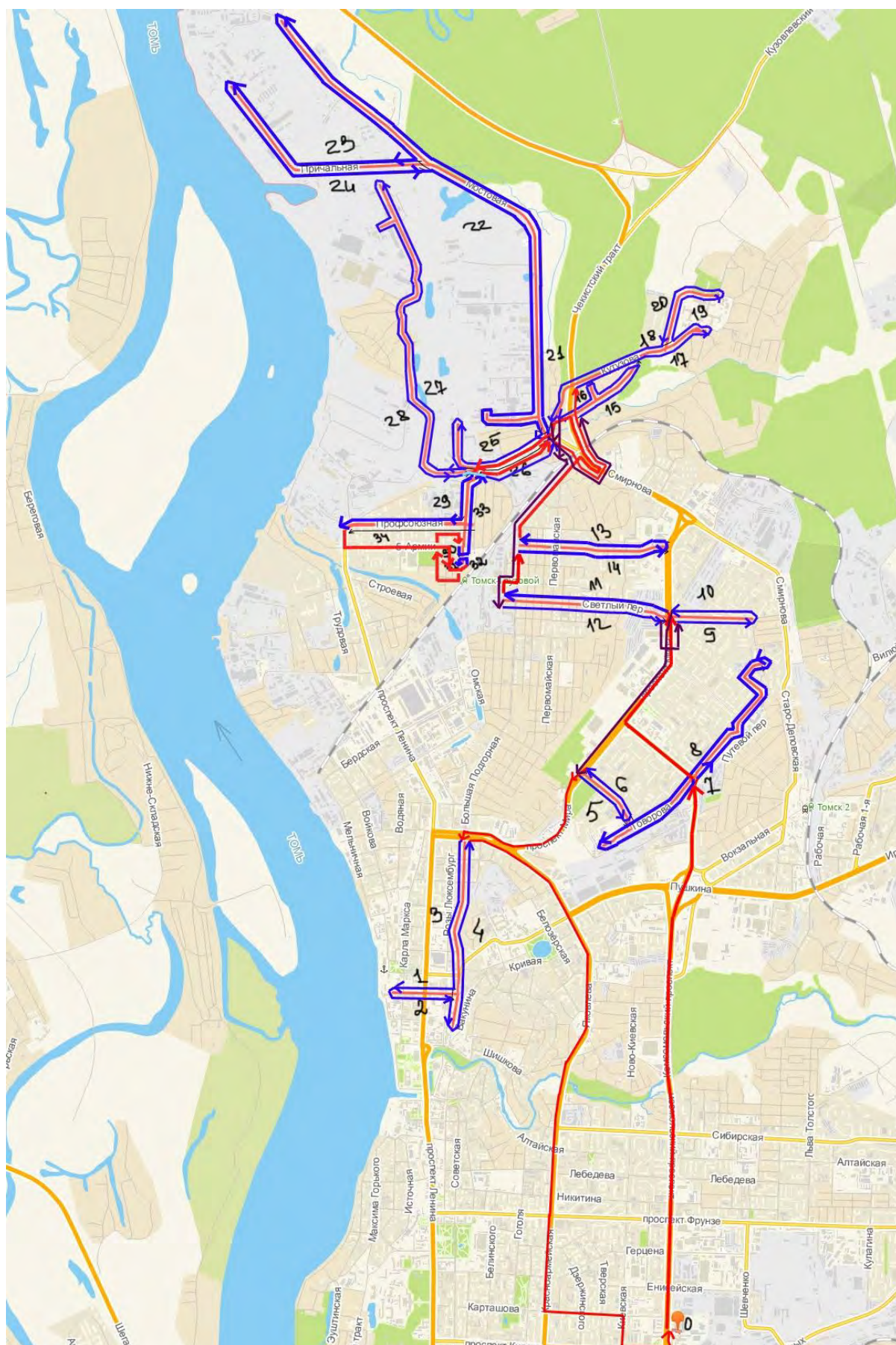


Рисунок 3.13 – Итоговый оптимальный маршрут для дорог II категории

На рисунках 3.12 и 3.13 красным цветом изображен «холостой ход» плужно-щеточных снегоочистителей, синим – механизированное сгребание и подметание снега [127].

Таким образом, разработанный оптимальный маршрут снегоуборки на примере Ленинского района г. Томска позволяет минимизировать расстояние «холостого хода» плужно-щеточных машин с учетом разделения дорог на категории. В разработанных маршрутах предполагается, что используемое количество плужно-щеточных снегоочистителей достаточно для уборки всей ширины проезжей части. Но в случае, если некоторые улицы необходимо пройти несколько раз, это можно учесть внутри маршрута.

3.3.2. Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц»

Рассмотрим моделирование этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части для улиц I и II категорий Ленинского района г. Томска. На основе разработанных оптимальных маршрутов снегоуборки плужно-щеточной техникой для выбранных улиц (пункт 3.3.1) созданы базы данных в Microsoft Access, отображающие наименование и расстояние пройденного пути, а также имеющуюся при этом скорость (табл. 3.3-3.4).

Таблица 3.3 – Маршрут снегоуборки дорог I категории Ленинского района

Route_1				
Код	Number	Street_name	Speed	Distance
1	1	от Спецавтохозяйства до ул. Дальне-Ключевская	50	4,44
2	2	ул. Дальне-Ключевская (до ул. Большая Подгорная)	40	1,14
3	3	«холостой ход» по ул. Дальне-Ключевская	50	0,38
4	4	пр. Мира (от ул. Дальне-Ключевская до ул. 79 Гвардейской Дивизии) – ул. 79 Гвардейской Дивизии (от пр. Мира до ул. Говорова)	40	2,36
5	5	«холостой ход» на кольце ул. 79 Гвардейской Дивизии	50	0,12
6	6	ул. 79 Гвардейской Дивизии (от до ул. Говорова до пр. Мира) – пр. Мира (от ул. 79 Гвардейской Дивизии до ул. Интернационалистов) – ул. Интернационалистов (обе полосы) – пр. Мира (от ул. Интернационалистов до ул. Смирнова) – ул. Смирнова (от пр. Мира до Чекистского тракта) – Чекистский тракт (одна полоса)	40	10,612
7	7	«холостой ход» на Чекистском тракте	50	0,95
8	8	Чекистский тракт (одна полоса)	40	1,67
9	9	«холостой ход» от Чекистского тракта до ул. 1-я Мостовая	50	0,41

Route_1				
Код	Number	Street_name	Speed	Distance
10	10	ул. 1-я Мостовая – ул. Большая Подгорная (от ул. Смирнова до ул. Дальне-Ключевская) – ул. Розы Люксембург (обе полосы) – ул. Большая Подгорная (от ул. Дальне-Ключевская до ул. Смирнова) – ул. Смирнова (от ул. Большая Подгорная до пр. Мира) – пр. Мира (одна полоса) – ул. Дальне-Ключевская (от пр. Мира до пр. Ленина) – пр. Ленина (от ул. Дальне-Ключевская до ул. 5-й Армии) – ул. 5-й Армии (обе полосы)	40	21,5
11	11	«холостой ход» по ул. Профсоюзная	50	1,18
12	12	пр. Ленина (от ул. Профсоюзная до пер. 1905г.) – пер. 1905г. (от пр. Ленина до ул. Карла Маркса) – ул. Карла Маркса (обе полосы) – пер. 1905г. (от ул. Карла Маркса до Кузнечного взвоза)	40	5,79
13	13	«холостой ход» по Кузнечному взвозу	50	1,24
14	14	пер. 1905г. (от Кузнечного взвоза до пр. Ленина) – пр. Ленина (от пер. 1905г. до пер. Кооперативный) – пер. Кооперативный (обе полосы) – пр. Ленина (от пер. Кооперативный до ул. Дальне-Ключевская) – ул. Дальне-Ключевская (от пр. Ленина до ул. Яковлева)	40	11,273
15	15	«холостой ход» от ул. Дальне-Ключевская до Спецавтохозяйства	50	4,87

Таблица 3.4 – Маршрут снегоуборки дорог II категории Ленинского района

Number	Street_name	Speed	Distance
1	от Спецавтохозяйства до ул. Говорова	50	4,56
2	ул. Говорова (2 полосы)	40	4,934
3	от ул. Говорова до пер. Светлый	50	1,82
4	пер. Светлый (одна полоса)	40	1,6
5	от пер. Светлый до пер. Урожайный	50	0,55
6	пер. Урожайный (обе полосы)	40	2,4
7	от пер. Урожайный до ул. Ижевская	50	2,55
8	ул. Ижевская (одна полоса)	40	1,1
9	ул. Профсоюзная (одна полоса)	40	0,96
10	от ул. Профсоюзная до ул. Ижевская	50	1,23
11	ул. Ижевская (2 полосы)	40	0,1
12	«холостой ход» до ул. Ижевская	50	0,3
13	ул. Ижевская (2 полосы)	40	1,48
14	от ул. Ижевская до ул. Мостовая	50	0,62
15	ул. Мостовая (одна полоса), ул. Причальная (обе полосы)	40	5,894
16	ул. Усть-Киргизка 2-я (одна полоса)	40	0,41
17	ул. ЛПК 2-й посёлок (обе полосы)	40	6
18	ул. Усть-Киргизка 2-я (одна полоса)	40	0,41
19	от ул. Усть-Киргизка 2-я до ул. Кутузова	50	0,77
20	ул. Кутузова (одна полоса)	40	1,23
21	ул. Асиновская (обе полосы)	40	1,568
22	ул. Кутузова (одна полоса)	40	1,23
23	от ул. Кутузова до ул. Амурская	50	0,58
24	ул. Амурская (обе полосы)	40	0,78
25	от ул. Амурская до пер. Светлый	50	1,85
26	пер. Светлый (одна полоса)	40	1,6

Number	Street_name	Speed	Distance
27	от пер. Светлый до ул. Ференца Мюнниха	50	0,45
28	ул. Ференца Мюнниха (обе полосы)	40	1,28
29	от ул. Ференца Мюнниха до ул. Карла Ильмера	50	1,56
30	ул. Карла Ильмера (обе полосы)	40	1,22
31	от ул. Карла Ильмера до ул. Большая Подгорная	50	1,44
32	ул. Большая Подгорная (одна полоса)	40	1,5
33	пер. Совпартшкольный (обе полосы)	40	0,9
34	ул. Большая Подгорная (одна полоса)	40	1,5
35	от ул. Большая Подгорная до Спецавтохозяйства	50	5,97

В созданных базах данных значения расстояний «холостого хода» и уборки соответствуют значениям, взятым с карты города Томска при наложении на нее итоговых оптимальных маршрутов. Согласно технологической карте №1 «Механизированное сгребание снега с проезжей части улиц», скорость уборки плужно-щёточной техникой составляет $V_{yb}=40$ км/ч. Средняя скорость движения транспорта по городу не должна превышать 60 км/ч, поэтому в качестве нерабочей скорости, с которой техника движется в потоке машин в нерабочем режиме, примем $V_{дв}=50$ км/ч. Созданные БД используются в качестве исходных данных имитационной модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий».

На объектном уровне модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» отражает физическое поведение плужно-щёточных снегоочистителей (т.е. динамику их движения и уборки) с подключенными к ней моделями исполнительных и измерительных устройств (рис. 3.14).

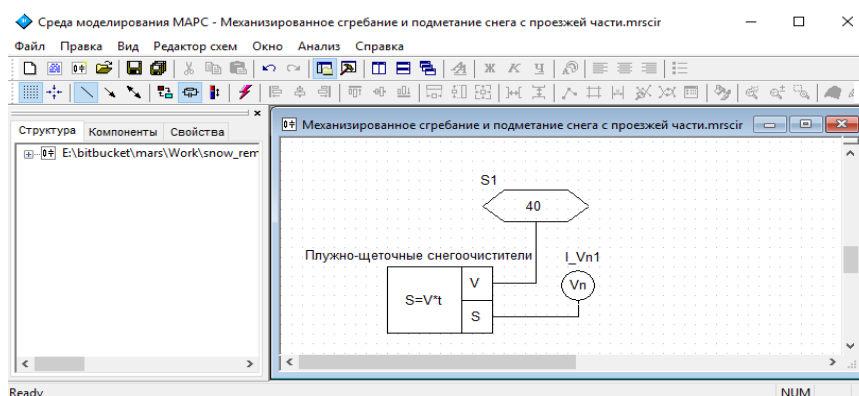


Рисунок 3.14 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на объектном уровне

В основу компонента «Плужно-щеточные снегоочистители» заложена формула равномерного прямолинейного движения (2.7), которая имеет вид:

$$(S_{\text{изм.}} = T \cdot v) \leq (S_{\text{зад.}})$$

где $S_{\text{изм.}}$ – измеряемый, пройденный путь плужно-щеточными снегоочистителями, км; $S_{\text{зад.}}$ – заданный путь плужно-щеточных снегоочистителей, км; v – скорость их движения или уборки, км/ч; t – время, затрачиваемое при прохождении пройденного пути, ч. Скорость движения или уборки является входной переменной модели, имитация пройденного пути продолжается до тех пор, пока значение пройденного пути не совпадет с заданным расстоянием, которое устанавливается пользователем. При достижении пройденного пути заданному расстоянию определяется время, затрачиваемое на его прохождение.

Согласно созданным базам данных, у плужно-щеточных снегоочистителей выделяют следующие события:

- 1) перемещение техники от автопарка (в данном случае от САХа) до места уборки по маршруту;
- 2) механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц;
- 3) перемещение с места уборки до автопарка (в данном случае до САХа).

Блок-схема алгоритма-сценария функционирования плужно-щеточных снегоочистителей формируется на основе вышеуказанных их событий и отражает последовательный ход рассуждений при построении модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на логическом уровне (рис. 3.15).

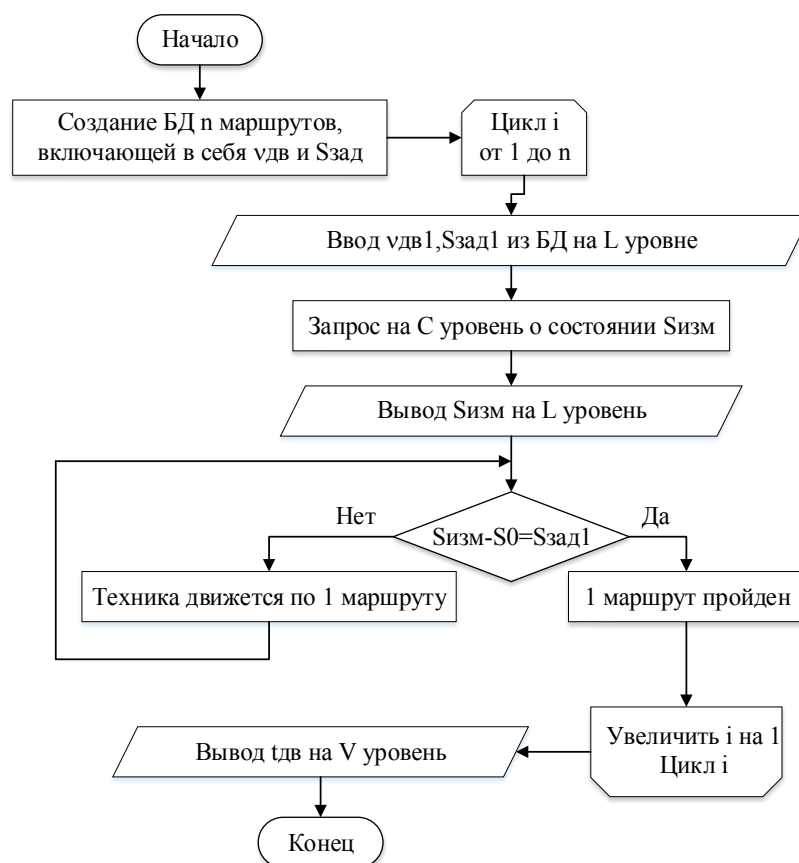


Рисунок 3.15 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования плужно-щеточных снегоочистителей

Исходя из представленной блок-схемы, модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на логическом уровне имеет вид (рис. 3.16):

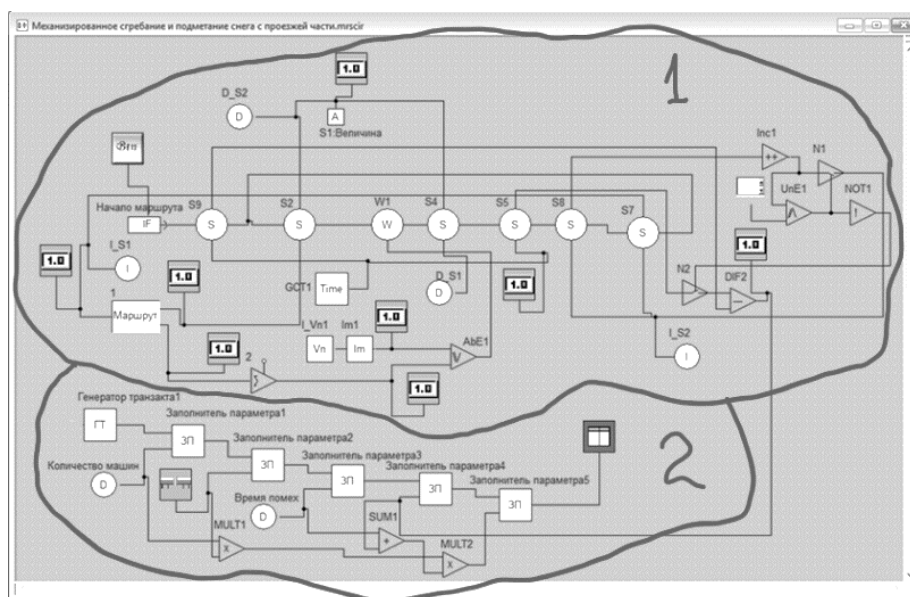


Рисунок 3.16 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на логическом уровне

На рисунке 3.16 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены виды моделей, где 1 – это дискретно-событийная модель, формирующаяся на основе вышеуказанных событий плужно-щеточных снегоочистителей, 2 – экономическая модель.

Центральным компонентом в модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий» на логическом уровне является компонент «Маршрут», который имеет связь с созданной базой данных и передает из нее значения скорости и расстояния.

Помимо моделирования состояний вышеописанных событий плужно-щеточных снегоочистителей их функциональная модель позволяет оценить производственные затраты, формула расчета которых отражается в генераторе транзактов (рис. 3.17).

Ввод текста

Введите текст в поле ниже и нажмите кнопку "OK"

Выравнивание текста По левому краю К Ж П З

Для расчета экономических затрат необходимо определить стоимость эксплуатации машин (с учетом затрат на заработную плату).
 Стоимость эксплуатации машин рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{экс.маш.}} = n * Sm * (t_{\text{помех}} + t_{\text{соб}})$$
 где n - количество машин, участвующих в процессе снегоуборки <#T1#>, шт.
 Sm - стоимость машинно-часа эксплуатации <#T2#>, руб./машин-ч.
 t помех - время перерыва, заминки и т.д. <#T3#>, ч.
 t соб - время всех событий 1 единицы техники <#T4#>, ч.
 тогда C экс.маш. будет равна <#T5#>.

Символы OK Отмена

Рисунок 3.17 – Определение производственных затрат, получаемых на модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий»

Исходные данные определения производственных затрат представляются статическими или динамически изменяющимися значениями и формируются с помощью компонента «Заполнитель параметров». Если значения исходных данных являются динамически изменяющимися, то при их варьировании на визуальном уровне результаты производственных затрат изменятся автоматически. Время всех происходящих событий одной единицы снегоуборочной техники определяется по завершению эксперимента.

Визуальный уровень содержит средства визуализации результатов анализа модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I категории», «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части

улиц II категории», а также формирования исходных данных экономической модели (рис. 3.18–3.19).

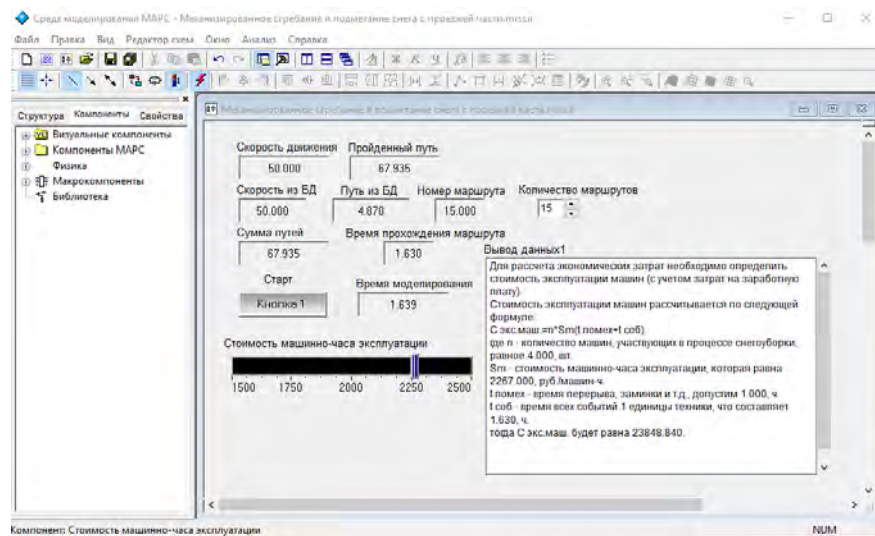


Рисунок 3.18 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I категории» на визуальном уровне

По результатам моделирования 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 составит 23 848, 840 руб.

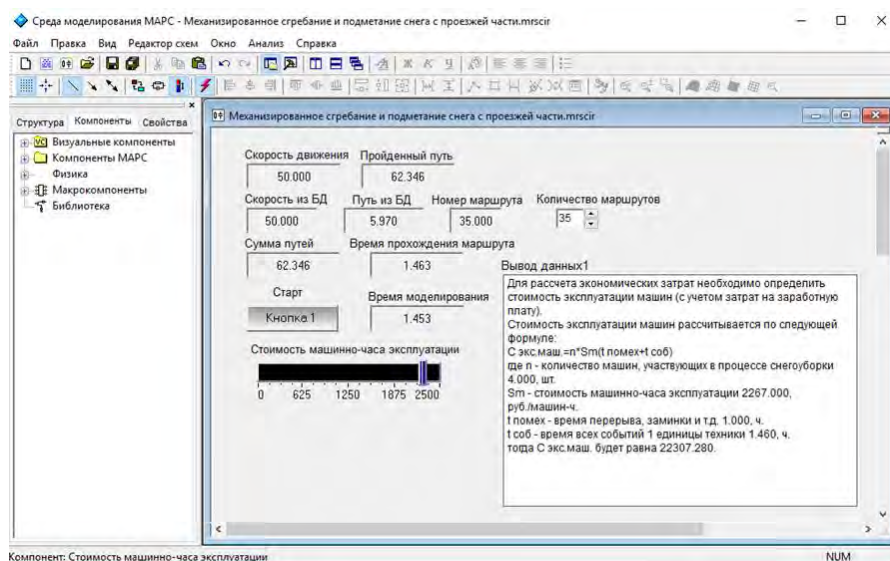


Рисунок 3.19 – Модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц II категории» на визуальном уровне

По результатам моделирования проезжей части улиц II категории видно, что всего плужно-щеточными снегоочистителями было пройдено 62, 346 км; время прохождения составило 1,463 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, 463ч., а ее 1 час стоит 2 267 руб., стоимость ее эксплуатации составит 22 307, 280 руб. В случае изменения исходных данных маршрута или постановки самой задачи требуется перестроить модель и провести эксперимент заново.

Таким образом, полученные временные и производственные затраты на эксплуатацию техники при планировании процесса снегоуборки помогут оценить соответствия фактических временных сроков уборки – ГОСТам и требуемых затрат – выделенному контракту.

3.4. Разработка модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами»

В рамках этого этапа рассмотрим и решим следующую задачу: необходимо произвести погрузку и вывоз снега с 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 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 м^3 и 14 м^3 , время разгрузки примем за $0,13$ ч (8 минут), фактическая производительность снегопогрузчика равна $100 \text{ м}^3/\text{ч}$ [128].

В процессе работы у каждой единицы снегоуборочной техники выделяют определенные события:

События, относящиеся к самосвалу:

- 1) движение от автопарка до места уборки, при этом $S_1=4,08$ км, $v_{cp1}=55$ км/ч;
- 2) погрузка снега в самосвал лаповым снегопогрузчиком;
- 3) движение с места уборки до снежного полигона, при этом $S_2=6,45$ км, $v_{cp2}=40$ км/ч;
- 4) разгрузка самосвала на снежном полигоне;
- 5) движение от полигона до автопарка, при этом $S_3=6,02$ км, $v_{cp3}=55$ км/ч.

События, относящиеся к снегопогрузчику:

- 1) движение от автопарка до места уборки, при этом $S_4=4,08$ км, $v_{cp4}=20$ км/ч;
- 2) погрузка снега в самосвал;
- 3) движение с места уборки до автопарка, при этом $S_5=4,55$ км, $v_{cp5}=20$ км/ч.

В результате моделирования требуется определить временные и производственные затраты эксплуатации снегопогрузчика и самосвалов на этапе погрузки и вывоза снега.

На рисунке 3.20 модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» представлена на объектном уровне.

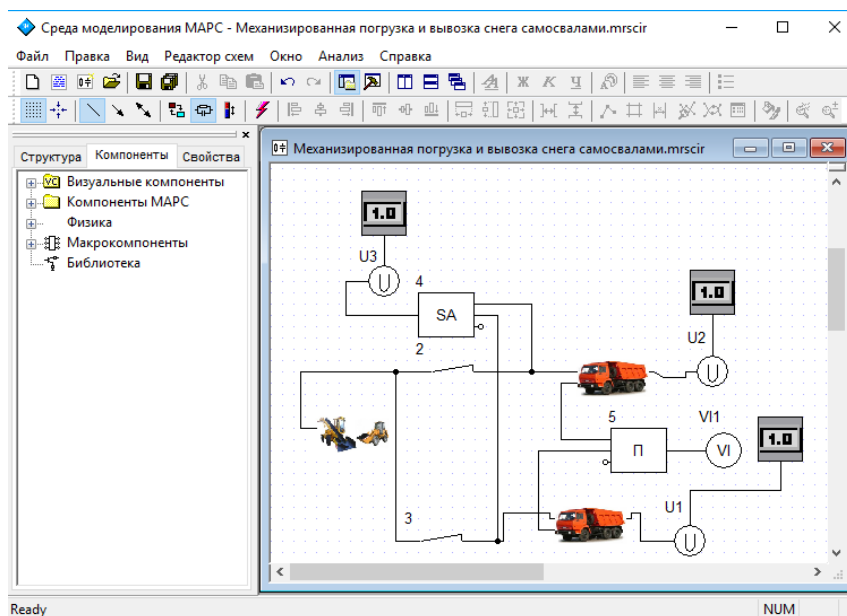


Рисунок 3.20 – Модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на объектном уровне

Модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на объектном уровне отображает 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 (т.е. 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.

Ниже на рисунке 3.21 приведена блок-схема алгоритма-сценария взаимодействия исходной площадки, самосвалов, снегопогрузчика и полигона между собой, которая формируется на основе вышеописанных событий снегоуборочной техники, а также отражает последовательный ход рассуждений при построении модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на логическом уровне.

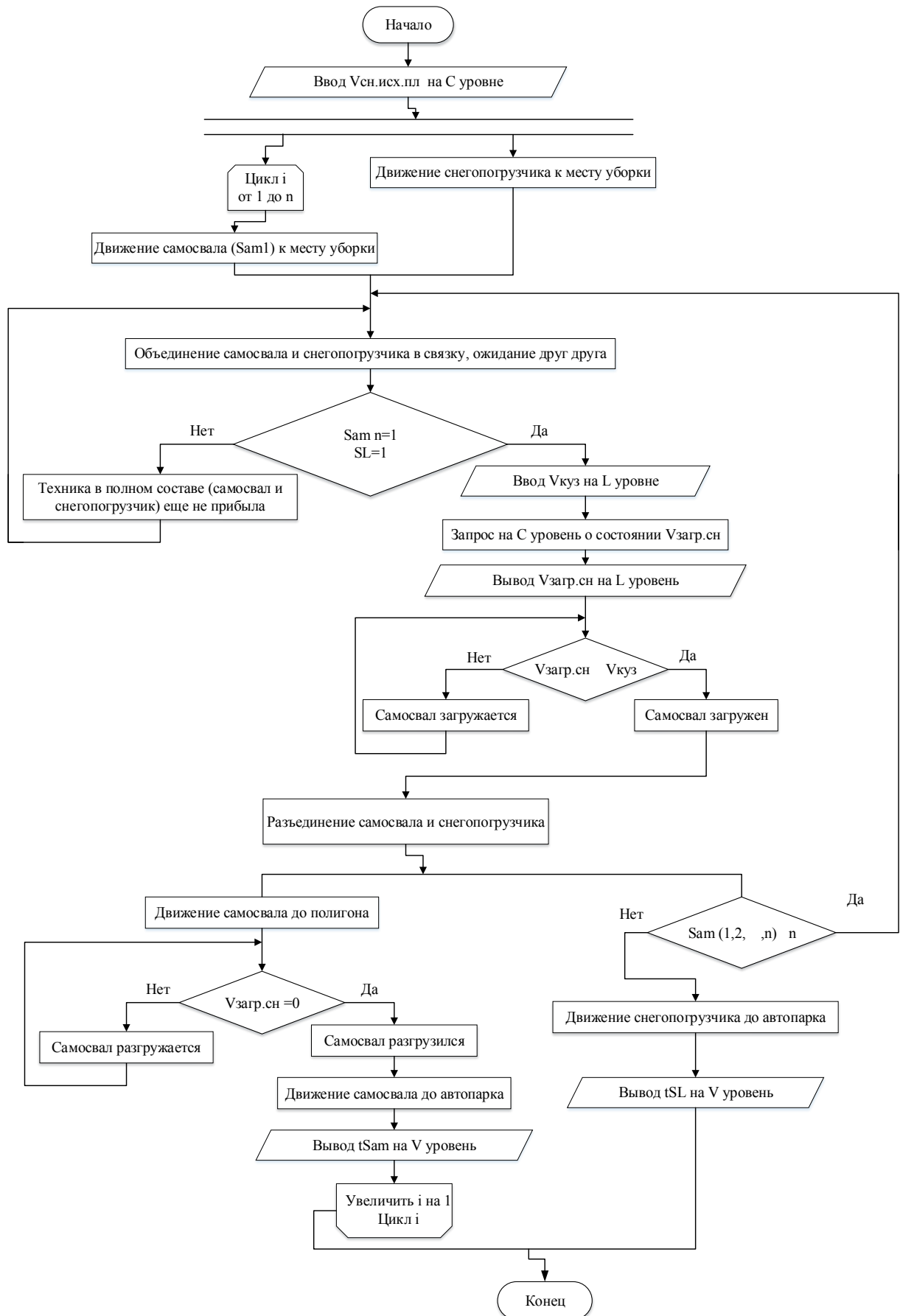


Рисунок 3.21 – Блок-схема алгоритма-сценария взаимодействия исходной площадки, самосвалов, снегопогрузчика и полигона между собой

Исходя из представленной блок-схемы, модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на логическом уровне имеет вид (рис. 3.22):

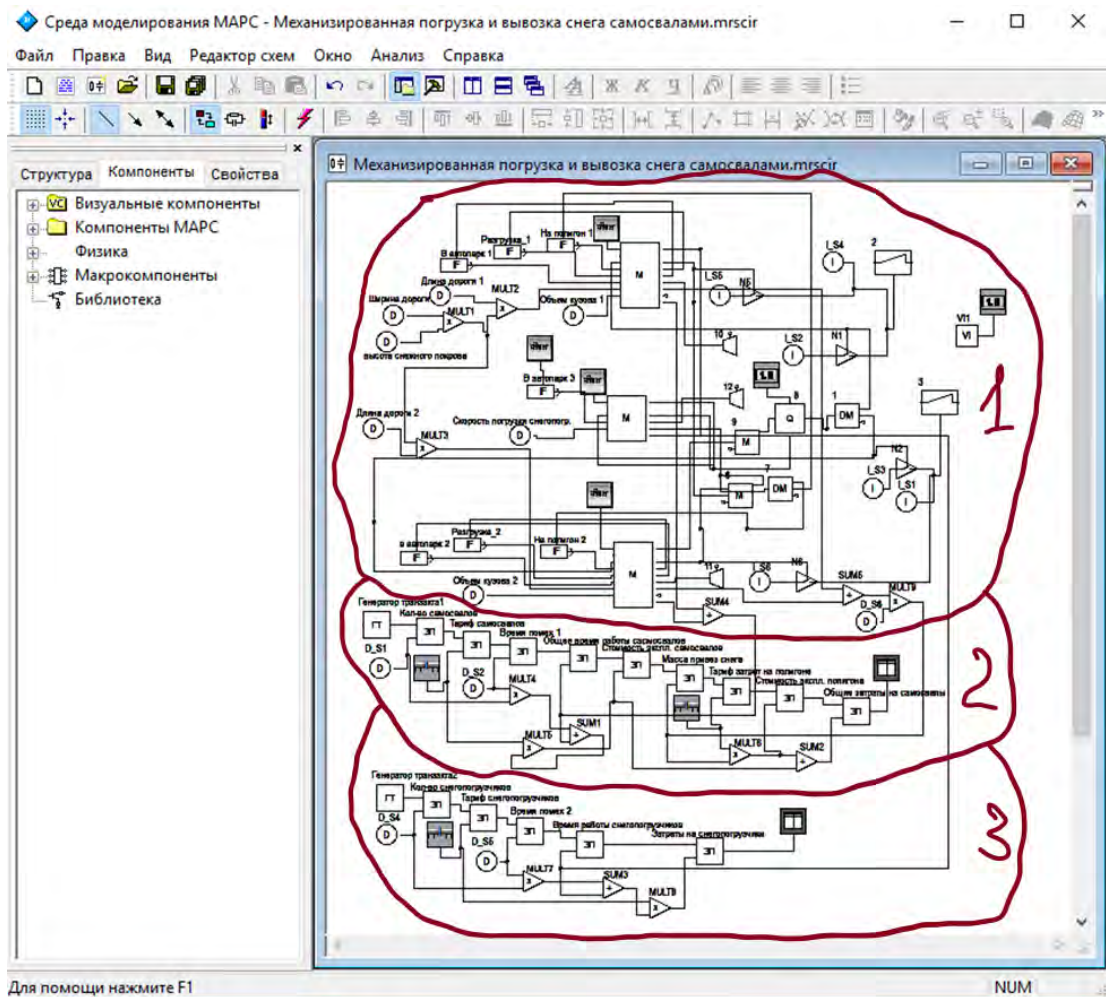


Рисунок 3.22 – Модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на логическом уровне

На рисунке 3.22 для более наглядного восприятия нумерацией обозначены виды моделей, где 1 – это дискретно-событийная модель, формирующаяся на основе вышеуказанных событий самосвалов и снегопогрузчика; 2 – экономическая модель самосвалов; 3 – экономическая модель снегопогрузчика.

На данном уровне для каждой снегоуборочной техники (т.е. для самосвалов и снегопогрузчика) указывается начало, конец и условия срабатывания, происходящих с ней вышеописанных событий. Помимо этого, для каждого самосвала исходя из того, что у них различается длина убираемой улицы рассчитывается объем выпавшего снега, что необходимо для определения расстояния его уборки. В результате моделирования дискретно-событийных

процессов определяется время каждого события, и в итоге фиксируется общее время работы каждой снегоуборочной техники.

Помимо определения временных затрат, модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» позволяет оценить производственные затраты на эксплуатацию техники, формула расчета которых отображается в компоненте «Генератор транзактов» (рис. 3.23-3.24).

Ввод текста

Введите текст в поле ниже и нажмите кнопку "ОК"

Выравнивание текста По левому краю К Ж П Э

Символы

ОК

Отмена

Для расчета экономических затрат на снегоуборочную технику (самосвалы) необходимо определить стоимость ее эксплуатации (с учетом затрат на заработную плату) и стоимость эксплуатации снежных свалок (С экс.сн.св.).
 Стоимость эксплуатации снегоуб. техники рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{экс.маш.}} = S_m \cdot [n \cdot t_{\text{помех}} + t_{\text{соб}}]$$
 где n - количество машин, участвующих в процессе снегоуборки <#T1#>, шт.
 S_m - стоимость машинно-часа эксплуатации <#T2#>, руб./машин-ч.
 $t_{\text{помех}}$ - время перерыва, заминки и т.д. <#T3#>, ч.
 $t_{\text{соб}}$ - сумма времен всех событий <#T4#> единиц техники <#T4#>, ч.
 тогда $C_{\text{экс.маш.}}$ будет равна <#T5#>.
 Стоимость эксплуатации снежных свалок определяется как:

$$C_{\text{экс.сн.св.}} = M_{\text{привез.сн.}} \cdot S_{\text{пол}}$$
 где $M_{\text{привез.сн.}}$ - масса снега, привезенного на снежный полигон <#T6#>, т.
 $S_{\text{пол}}$ - тариф затрат на прием и складирование снега на полигоне, <#T7#>.руб./т.
 тогда $C_{\text{экс.сн.св.}}$ равна <#T8#>.
 Таким образом, затраты на снегоуборочную технику (самосвалы) составят <#T9#>,
 которые рассчитываются по формуле:

$$C_{\text{об}} = C_{\text{экс.маш.}} + C_{\text{экс.сн.св.}}$$

Рисунок 3.23 – Определение производственных затрат самосвалов, получаемых на модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами»

Ввод текста

Введите текст в поле ниже и нажмите кнопку "ОК"

Выравнивание текста По левому краю К Ж П Э

Символы

ОК

Отмена

Для расчета экономических затрат на снегоуборочную технику (снегопогрузчики) необходимо определить стоимость ее эксплуатации (с учетом затрат на заработную плату).
 Стоимость эксплуатации снегоуб. техники рассчитывается по следующей формуле:

$$C_{\text{экс.маш.}} = S_m \cdot [t_{\text{помех}} \cdot n + t_{\text{соб}}]$$
 где n - количество машин, участвующих в процессе снегоуборки <#T10#>, шт.
 S_m - стоимость машинно-часа эксплуатации <#T11#>, руб./машин-ч.
 $t_{\text{помех}}$ - время перерыва, заминки и т.д. <#T12#>, ч.
 $t_{\text{соб}}$ - сумма времен всех событий <#T10#> единиц техники <#T13#>, ч.
 тогда $C_{\text{экс.маш.}}$ будет равна <#T14#>.

Рисунок 3.24 – Определение производственных затрат снегопогрузчиков, получаемых на модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами»

Исходные данные определения производственных затрат на эксплуатацию техники представлены статическими или динамически изменяющимися значениями и формируются с помощью компонента «Заполнитель параметров».

Если значения исходных данных являются динамически изменяющимися, то при их варьировании на визуальном уровне результаты производственных затрат изменяются автоматически. Время, затрачиваемое на выполнение всех событий одной единицы снегоуборочной техники, рассчитывается по завершению эксперимента.

Визуальный уровень содержит средства визуализации результатов анализа модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами», а также формирования исходных данных, как для дискретно-событийной, так и для экономической моделей (рис. 3.25-3.26).

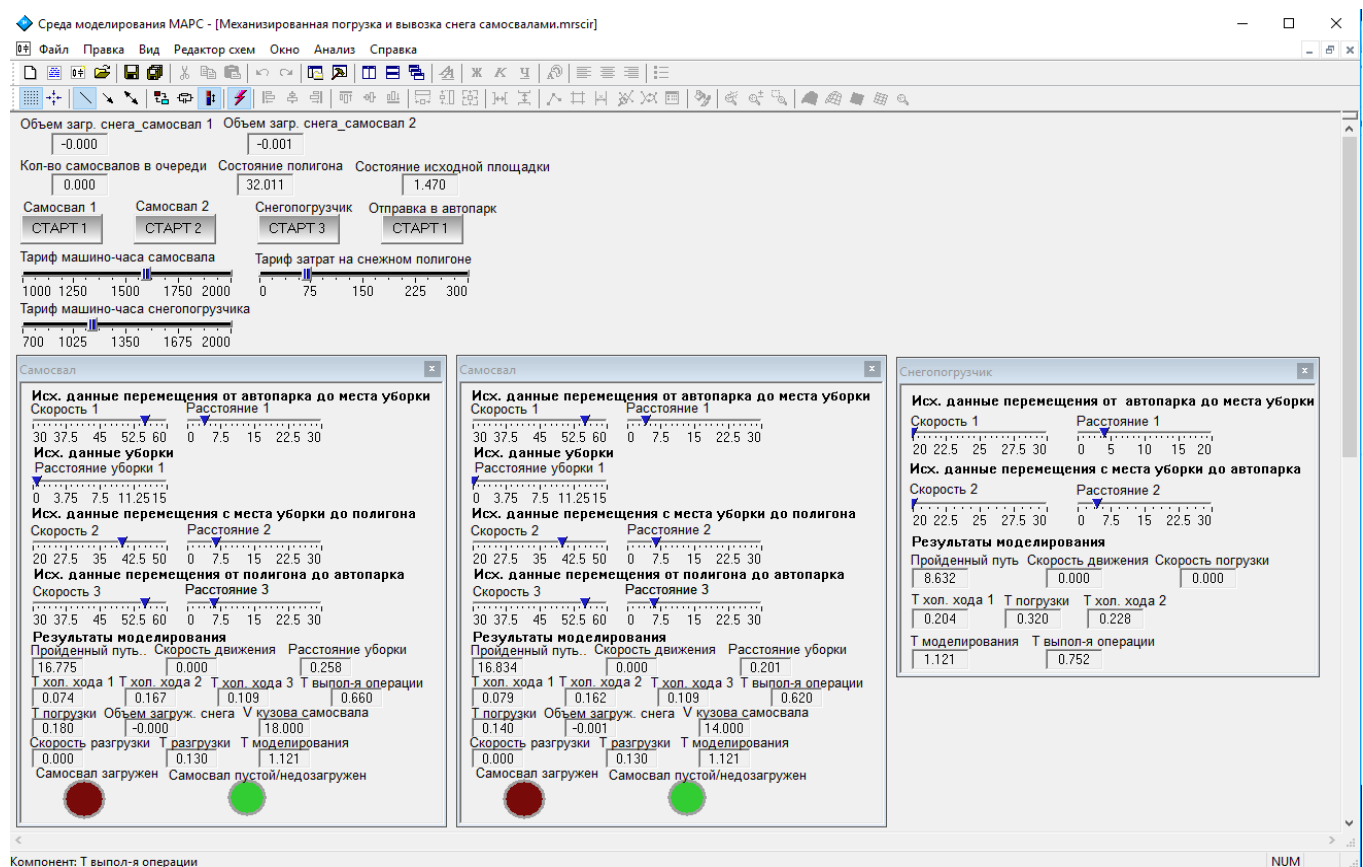


Рисунок 3.25 – Результаты дискретно-событийной модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на визуальном уровне

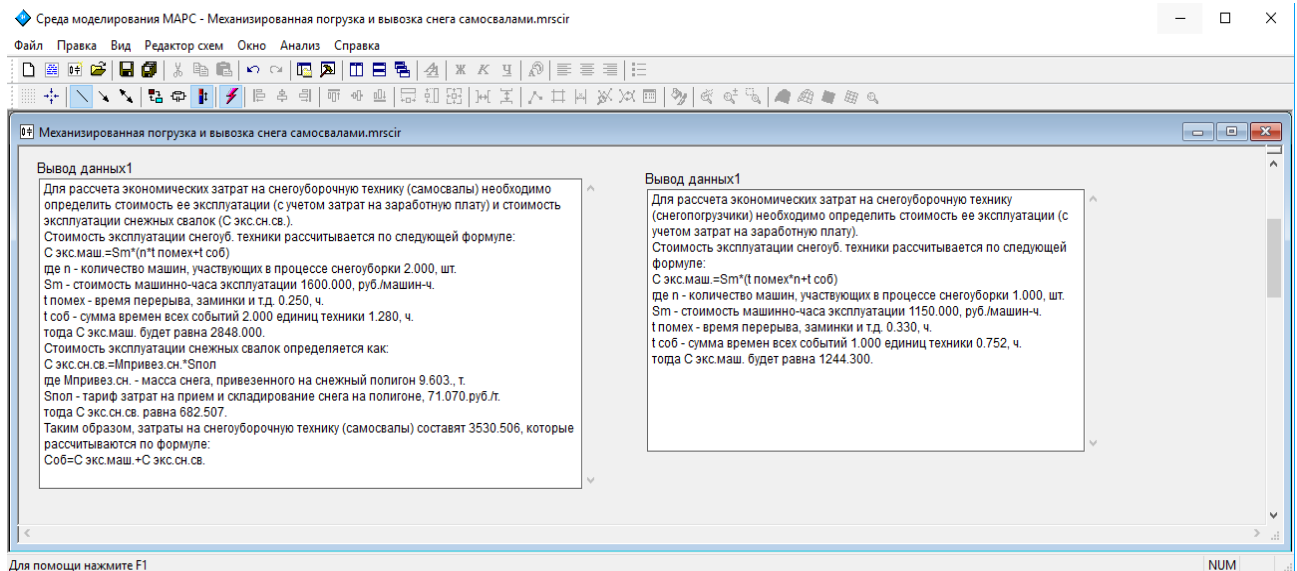


Рисунок 3.26 – Результаты экономической модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на визуальном уровне

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 м³, в тоже время на исходной площадке осталось 1,47 м³. Исходя из того, что стоимость 1 часа работы самосвала равна 1 600 руб., затраты на снежный полигон составляют 682,507 руб., общие затраты на их работу равны 3 530,506 руб. Стоимость 1 часа работы снегопогрузчика равна 1 150 руб., а общие затраты составляют 1 244,30 руб.

Дополнительно для более точной оценки временных затрат разработан компонент «Маршрут», позволяющий учесть в модели значения баз данных [129]. Рассмотрим применение данного компонента для имитации движения самосвала от автопарка, расположенного по адресу пр. Комсомольский 66 до места уборки (ул. Говорова). Имитируемый маршрут разбит на 7 отрезков в зависимости от изменяющейся скорости потока машин в «пробке», оцениваемой в 3 балла (рис. 3.27). Уровень пробок, соответствующие скорости потока машин и измеряемые расстояния отрезков оценены с помощью веб-сервиса «Яндекс.Пробки».

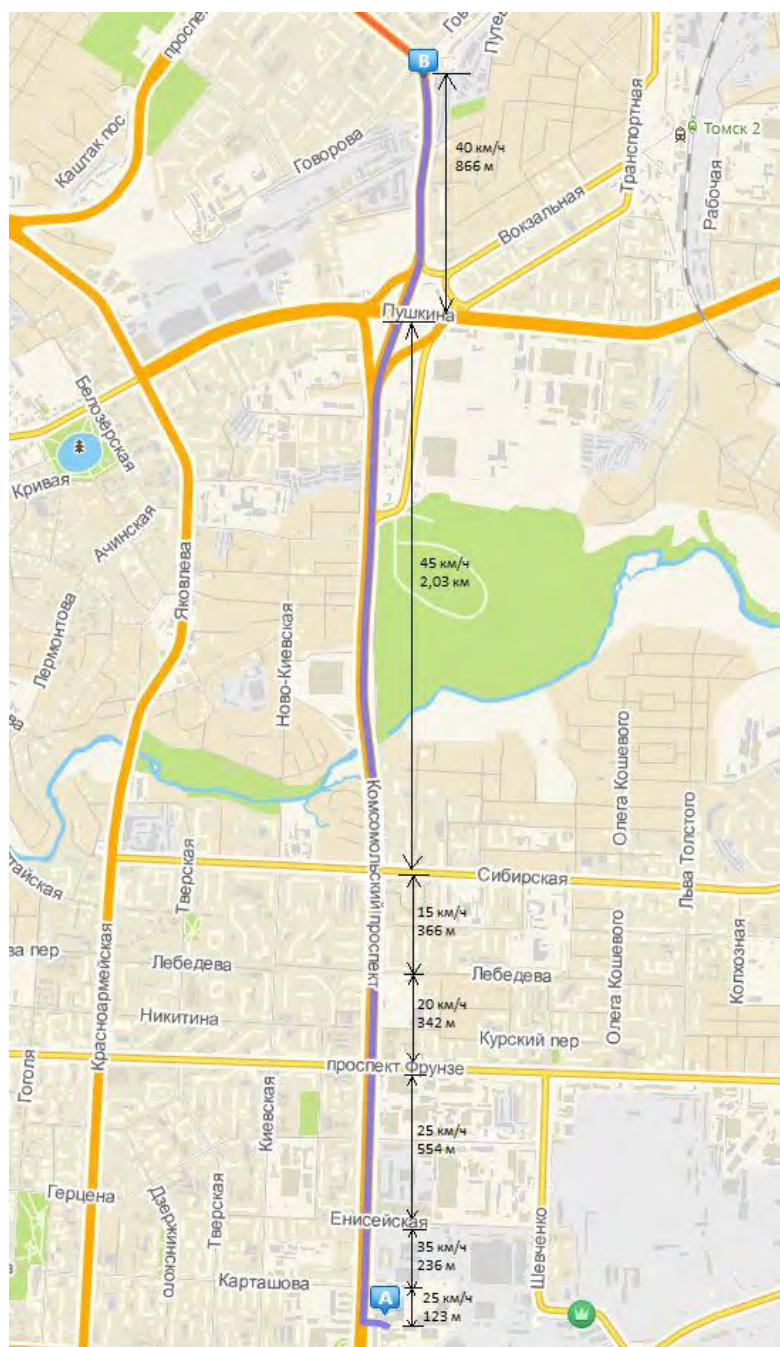


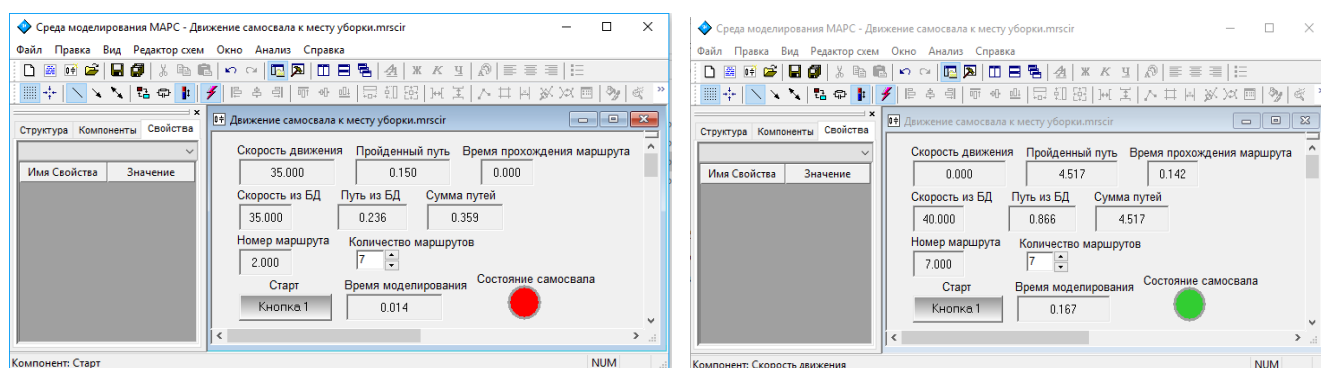
Рисунок 3.27 – Графическое отображение маршрута самосвала от автопарка до места уборки

На основе графически представленного маршрута самосвала от автопарка до места уборки разработана БД, которая имеет вид (рис. 3.28):

Routes_bump_track			
Код	Number_route	Speed	Way
1	1	25	0,123
2	2	35	0,236
3	3	25	0,554
4	4	20	0,342
5	5	15	0,366
6	6	45	2,03
7	7	40	0,866

Рисунок 3.28 – База данных маршрута самосвала от автопарка до места уборки

После формирования базы данных построена модель имитации движения самосвала от автопарка до места уборки, согласно которой по завершению эксперимента получены следующие результаты (рис. 3.29):



а)

б)

Рисунок 3.29 – Результаты моделирования движения самосвала от автопарка до места уборки

а) модель в начале эксперимента, б) модель по завершению эксперимента

Результатом моделирования является время прохождения всего маршрута, в данном случае, равное 0,142ч., что в дальнейшем необходимо учесть при расчете производственных затрат на эксплуатацию техники.

3.5. Разработка модели «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон»

Понятие «Очередь» относится к системам массового обслуживания, среди которых выделяют входящий поток заявок и их каналы обслуживания [130-131]. В общем виде пример данной системы представлен на рисунке 3.30. Предметом теории массового обслуживания является установление зависимости между характером потока заявок, числом каналов, производительностью, правильностью работы и эффективностью системы [132].

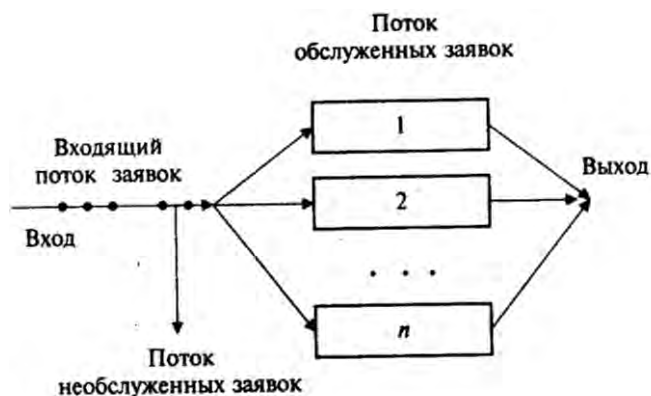


Рисунок 3.30 – Пример системы массового обслуживания

При рассмотрении организации процесса вывоза снега, с точки зрения теории массового обслуживания, под заявками (фишками) понимаются единицы спецтехники (самосвалы и снегопогрузчики), в качестве каналов обслуживания — пункты приема на снежных полигонах, под событиями — движение единиц спецтехники (самосвалов и снегопогрузчиков) [133].

Процесс погрузки и вывоза снега проходит в несколько этапов:

- 1) движение техники (снегопогрузчика и самосвала) к месту погрузки снега;
- 2) непосредственно процесс погрузки снега в самосвал;
- 3) движение самосвала до полигона;
- 4) оформление документов на полигоне;
- 5) разгрузка снега на полигоне;
- 6) движение самосвала от полигона до места следующей погрузки или до автопарка.

Под влиянием различных факторов процесс вывоза снега характеризуется наличием очередей, что приводит к увеличению продолжительности всего процесса и неминуемо ведет за собой ухудшение показателей работы предприятия. В связи с этим построение модели «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» и составление рекомендаций по возможному улучшению организации данного процесса становится целесообразным и обоснованным.

В качестве примера рассмотрим следующую постановку задачи: необходимо произвести уборку снега с 2-х площадок: по ул. 79 Гвардейской Дивизии и по ул. Смирнова соответственно. Требуется оценить состояние очереди на этапе разгрузки снега при прибытии сторонних самосвалов через каждые 10, 5 и 3 минут, а также определить экономические потери предприятия, связанные с уходом необслуженной заявки.

На каждую площадку выделяется 1 снегопогрузчик и 3–4 самосвала. Самосвал и снегопогрузчик выходят из точки отбытия, то есть из автопарка САХа. Так как скорость снегопогрузчика ниже, то он, соответственно прибывает на место уборки с опозданием. На погрузку снега в самосвалы затрачивается 0,1 часа, и она осуществляется, когда самосвал и снегопогрузчик дождались друг друга. Вывоз

снега осуществляется на полигон, расположенный в поселке Хромовка 35/2, на котором имеется один пункт оформления документов и одно место разгрузки. Следовательно, процесс разгрузки снега соответствует одноканальной системе массового обслуживания, причем если заявка застала обслуживающий канал занятым, то она встает в очередь и ожидает начала обслуживания. В данном случае, считается, что число мест в очереди неограниченно. Если постановка задачи предполагает ограниченное количество мест в очереди, то предлагаемую модель необходимо перестроить и использовать другой вид очереди. В таком случае, если заявка застала обслуживающий канал занятым, и в очереди нет свободных мест, то она покидает систему необслуженной.

Приведем блок-схему алгоритма-сценария функционирования очереди на снежном полигоне, которая отражает последовательный ход рассуждений при построении модели «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» (рис. 3.31).

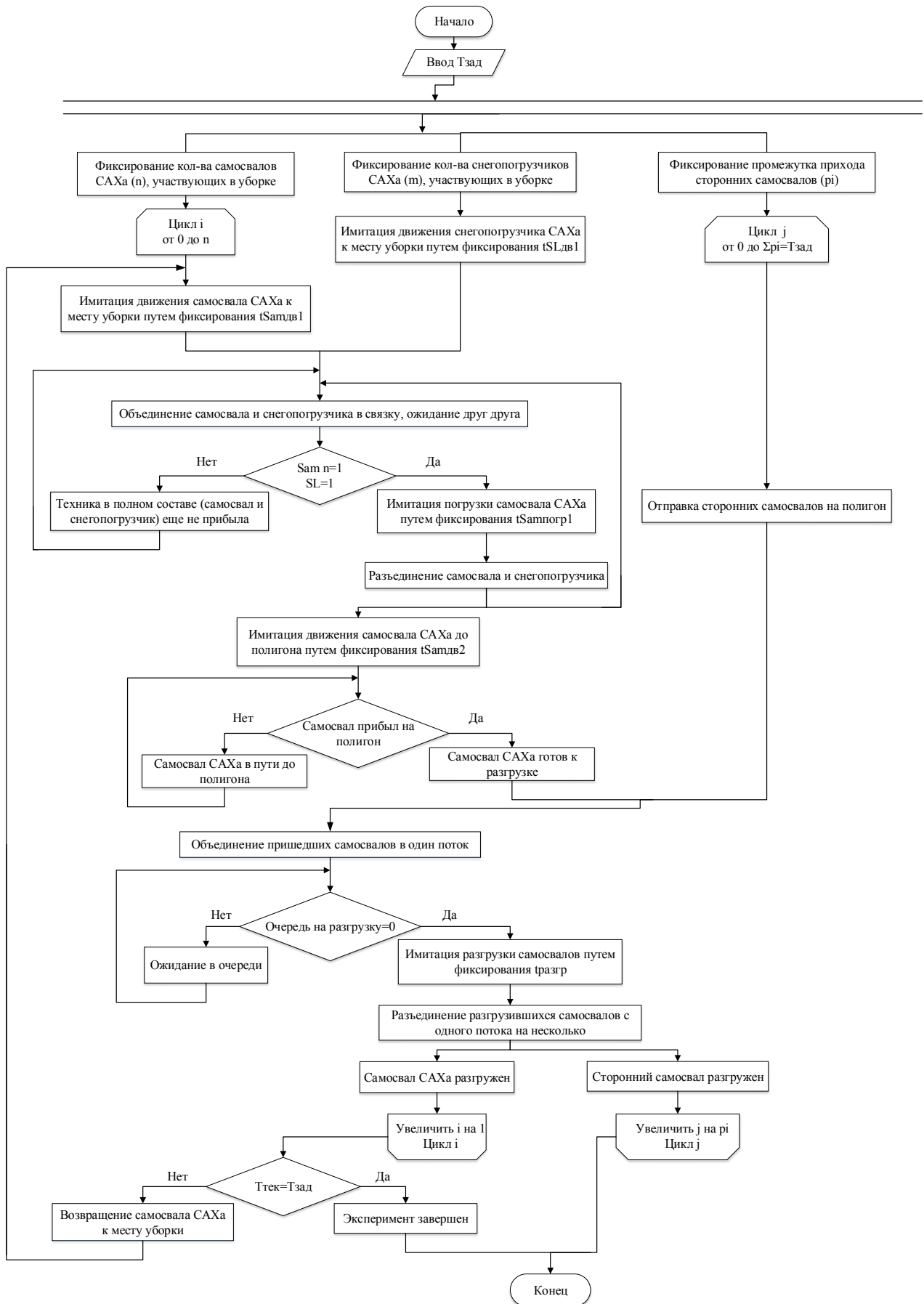


Рисунок 3.31 – Блок-схема алгоритма-сценария функционирования очереди на снежном полигоне

Для имитации предшествующих событий самосвала и снегопогрузчика до наступления процесса разгрузки можно воспользоваться выше представленной моделью «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами». Поскольку в данной постановке задачи акцент сделан на процесс разгрузки самосвалов, то временные затраты каждого события самосвалов и снегопогрузчиков определим вручную (табл. 3.5-3.6).

Таблица 3.5 – Исходные данные площадки 1

<i>№</i>	<i>Наименование события</i>	<i>Скорость движения, км/ч</i>	<i>Пройденное расстояние, км</i>	<i>Время, затрачиваемое на выполнение данного события, ч</i>
Вид техники: самосвал				
1	Перемещение самосвала от автопарка до места уборки	50	4,65	0,093
2	Перемещение самосвала с места уборки до полигона	40	5,62	0,14
3	Перемещение самосвала от полигона до места уборки	50	7,45	0,149
Вид техники: снегопогрузчик				
1	Перемещение снегопогрузчика от автопарка до места уборки	20	4,65	0,232

Таблица 3.6– Исходные данные площадки 2

<i>№</i>	<i>Наименование события</i>	<i>Скорость движения, км/ч</i>	<i>Пройденное расстояние, км</i>	<i>Время, затрачиваемое на выполнение данного события, ч</i>
Вид техники: самосвал				
1	Перемещение самосвала от автопарка до места уборки	50	7,28	0,146
2	Перемещение самосвала с места уборки до полигона	40	7,36	0,184
3	Перемещение самосвала от полигона до места уборки	50	6,93	0,138
Вид техники: снегопогрузчик				
1	Перемещение снегопогрузчика от автопарка до места уборки	20	7,28	0,364

Вышеуказанные исходные данные самосвалов и снегопогрузчиков учитываются в модели «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон»

посредством компонента «Временная задержка». На рисунке 3.32 такая модель представлена на объектном уровне.

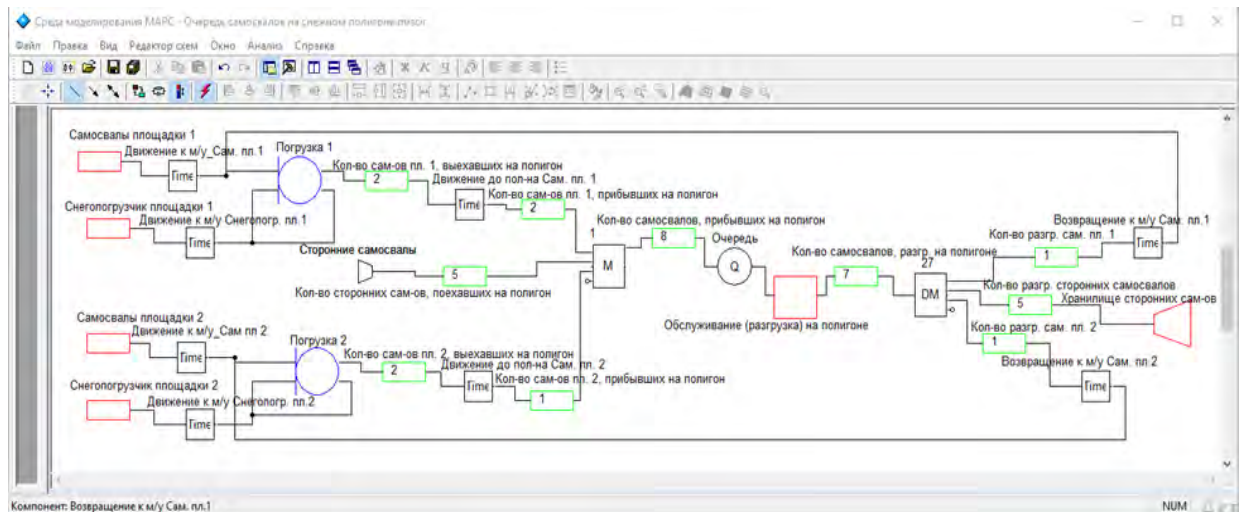


Рисунок 3.32 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на объектном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 10 минут

Построенная модель предполагает, что на полигон снег вывозится не только самосвалами САХа, но и сторонними предприятиями, которые прибывают, например, каждые 10 минут. Пусть на разгрузку снега (с учетом оформления документов) затрачивается 0,07 ч., что указывается в свойствах компонента «Оператор». Для отслеживания числа пройденных фишек на определенных этапах установлен компонент «Счетчик». В качестве иллюстрации скопления очереди на разгрузке снега, на объектном уровне, установлен компонент «Очередь». Для того, чтобы идентифицировать, каких фишек и сколько было обслужено и чьи фишки остались в очереди, используются компоненты «Маркер фишек», который несколько потоков фишек объединяет в один в порядке первый пришел и первый пошел на обслуживание, и «Демаркер фишек», который, наоборот, из общего потока отправляет фишки туда, откуда они изначально пришли. Таким образом, самосвалы Спецавтохозяйства после разгрузки снега отправляются обратно на место уборки, а самосвалы сторонних предприятий направляются в компонент «Хранилище фишек». В данной задаче цикл повтора событий ограничивается временем моделирования, равным 1 час, т.е. 60 минут.

По результатам моделирования видно, что при прибытии сторонних самосвалов через каждые 10 минут очередь на этапе разгрузки снега не

скапливается. За время моделирования все прибывшие сторонние самосвалы обслужены в количестве 5 единиц, что касается самосвалов САХа, то один самосвал первой площадки находится на этапе разгрузке снега и один самосвал второй площадки остался в пути до полигона. Всего на полигоне разгружено 7 самосвалов.

На рисунке 3.33 модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон», которая состоит из следующих компонентов: «Генератор транзактов», «Заполнитель параметров», «Вывод данных», «Движковые регуляторы», «Источник вещественного значения», «Умножение», «Вычитание» представлена на логическом уровне.

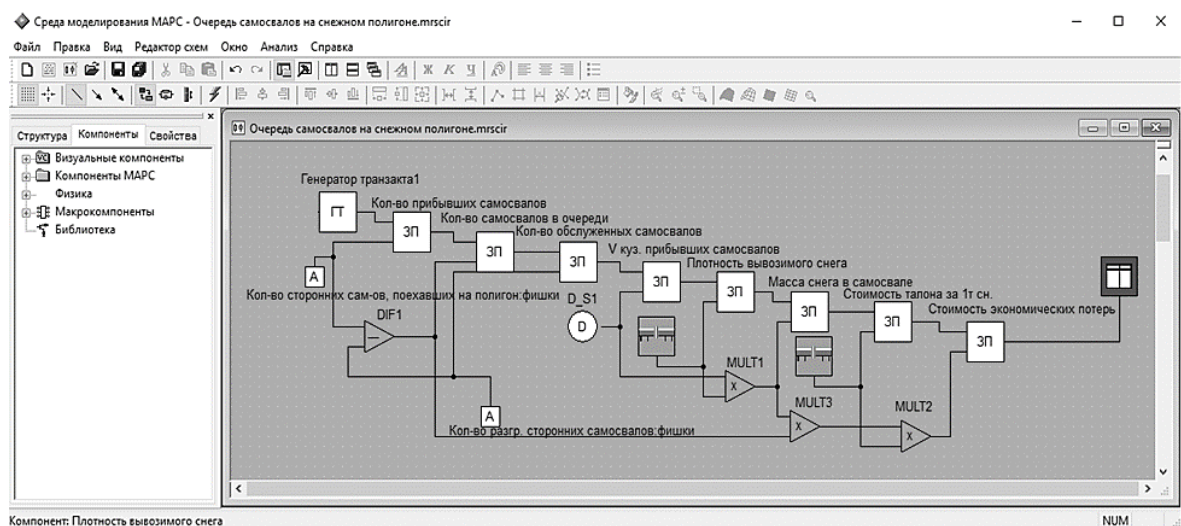


Рисунок 3.33 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на логическом уровне

На данном уровне учтены результаты моделирования объектного уровня только для сторонних самосвалов, так как экономические потери Спецавтохозяйства составляют необслуженные сторонние самосвалы, которые приобретают талон на осуществление разгрузки снега.

В компоненте «Генератор транзактов» формируются экономические расчеты и указываются теги данных, которые необходимо изначально задать и определить в процессе моделирования. После заполнения компонента «Генератор транзактов», в компоненте «Заполнитель параметров» необходимо прописать имя тега, за который отвечает данный компонент. Так, «Заполнитель параметров 1» –

количество прибывших самосвалов (данное значение передается с объектного уровня); «Заполнитель параметров 2» – количество самосвалов в очереди; «Заполнитель параметров 3» – количество обслуженных самосвалов (данное значение передается с объектного уровня); «Заполнитель параметров 4» – объем кузова прибывших самосвалов; «Заполнитель параметров 5» – плотность вывозимого снега; «Заполнитель параметров 6» – масса снега в самосвале; «Заполнитель параметров 7» – стоимость талона за 1 тонну снега; «Заполнитель параметров 8» – стоимость экономических потерь.

Предположим, что в среднем объем кузова прибывших самосвалов равен 12 м^3 ; плотность вывозимого, лежалого снега примем за $0,35 \text{ т/м}^3$; стоимость талона за 1 тонну снега составляет 75 руб.

Визуальный уровень отображает результаты моделирования и экономических расчетов, что представлено на рисунке 3.34.

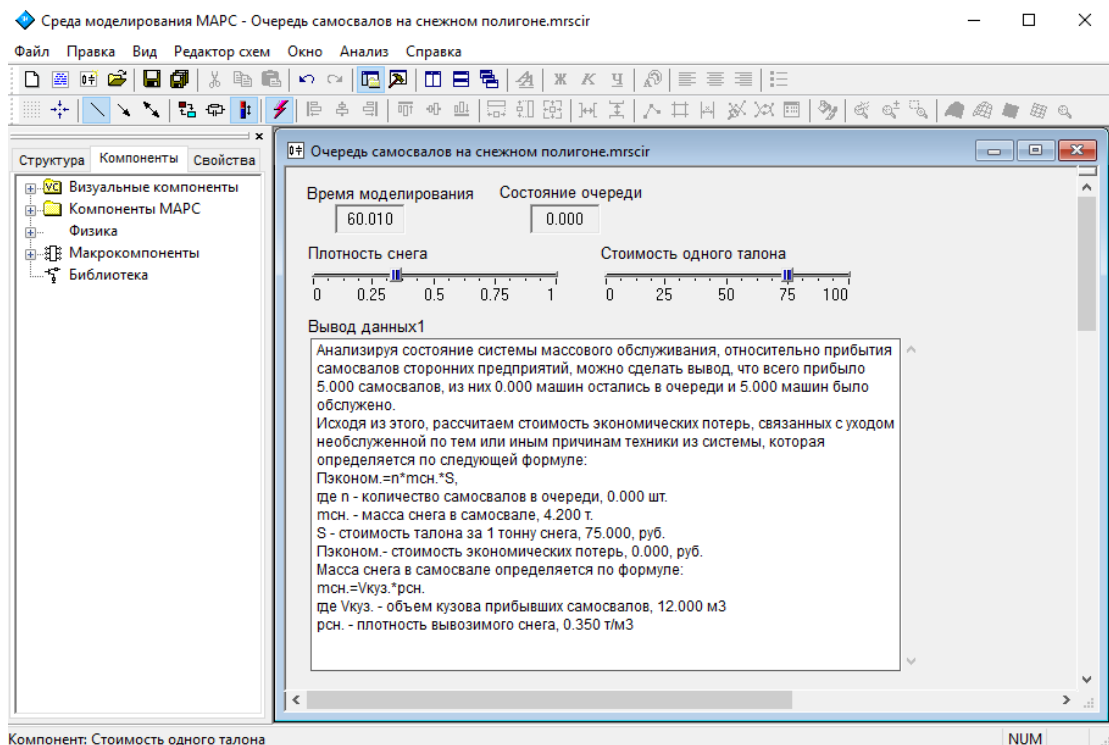


Рисунок 3.34 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на визуальном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 10 минут

По результатам моделирования видно, что из всех прибывших самосвалов в очереди осталось 0 самосвалов. Исходя из этого, экономические потери отсутствуют.

На рисунке 3.35 представлена модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» при прибытии сторонних самосвалов через каждые 5 минут на объектном уровне.

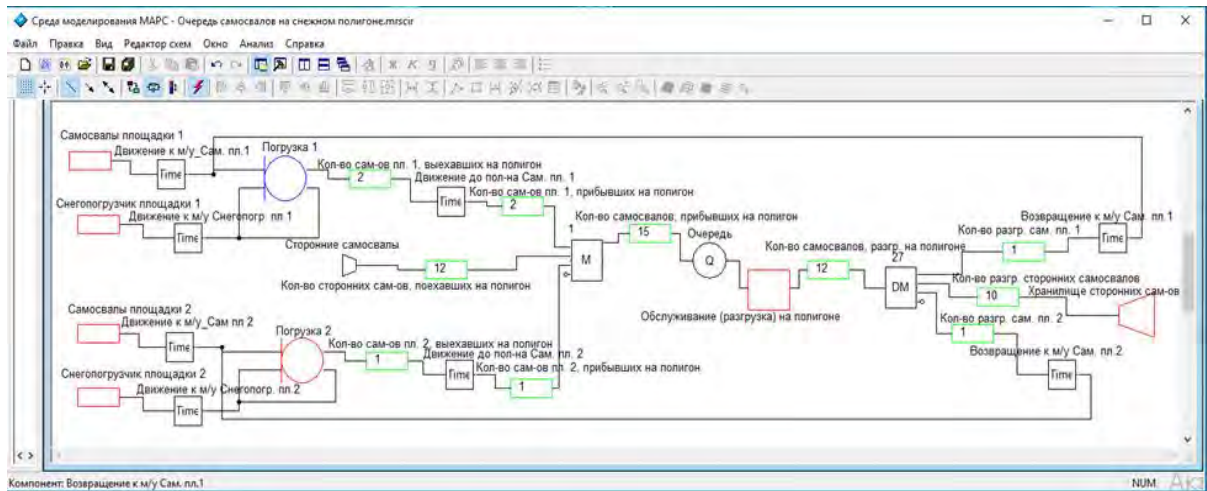


Рисунок 3.35 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на объектном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 5 минут

По результатам моделирования видно, что на этапе разгрузки снега скапливается очередь в размере двух самосвалов, и один находится на самой разгрузке. Среди необслуженных самосвалов остались сторонние самосвалы и самосвал первой площадки. Всего на полигоне разгружено 12 машин.

На рисунке 3.36 модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» при прибытии сторонних самосвалов через каждые 5 минут представлена на визуальном уровне.

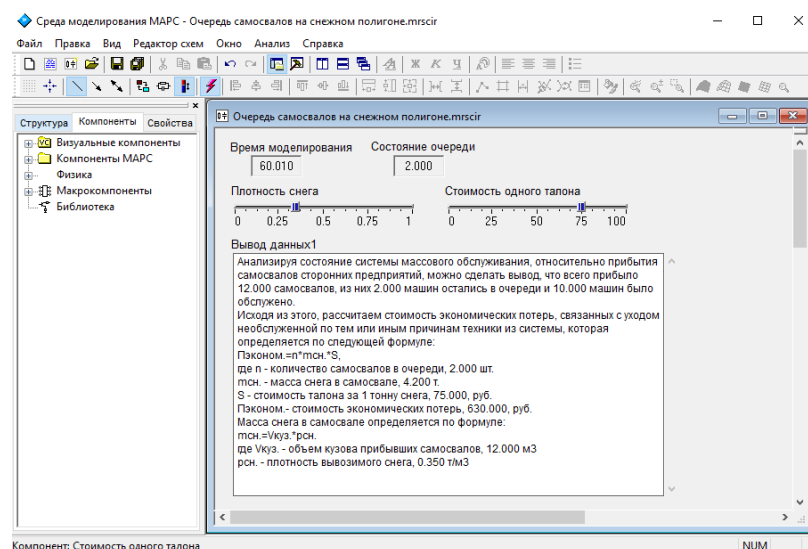


Рисунок 3.36 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на визуальном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 5 минут

Согласно полученным данным визуального уровня видно, что среди сторонних самосвалов 2 машины остались в очереди. Предположим, что в среднем объем кузова сторонних самосвалов равен 12 м^3 , плотность снега составляет $0,35\text{ т/м}^3$. Исходя из этого, рассчитывается масса снега, вывозимая самосвалами на полигон. Если стоимость талона за 1 тонну снега равна 75 руб., то экономические потери составляют 630 руб.

На рисунке 3.37 представлена модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» при прибытии сторонних самосвалов через каждые 3 минуты на объектном уровне.

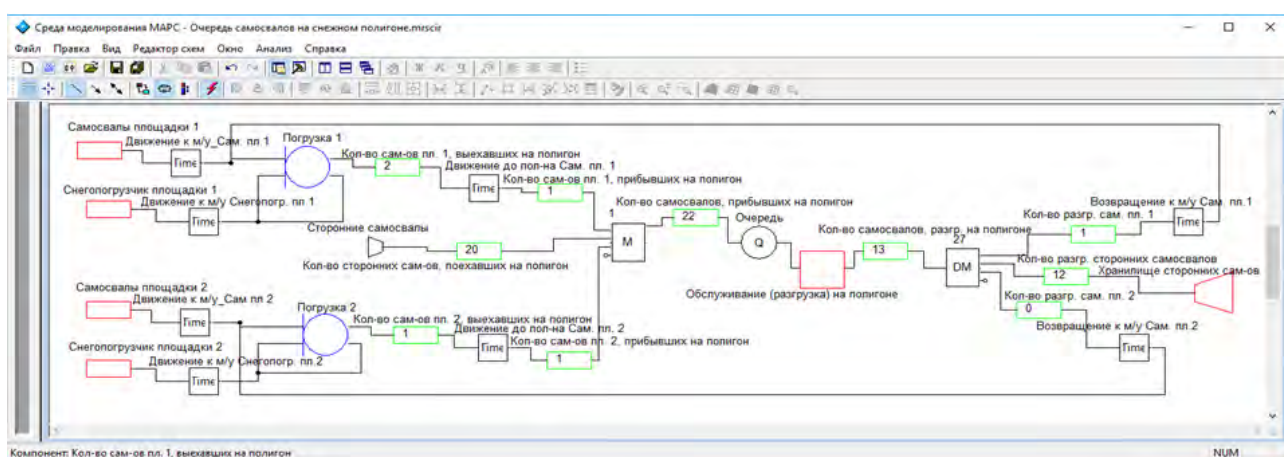


Рисунок 3.37 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на объектном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 3 минуты

По результатам моделирования видно, что при таком временном интервале прихода сторонних самосвалов на этапе разгрузки снега скапливается очередь в размере 8 самосвалов, и один находится на самой разгрузке. Среди необслуженных самосвалов остались сторонние самосвалы и самосвал второй площадки. Всего на полигоне разгружено 13 машин.

На рисунке 3.38 модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» при прибытии сторонних самосвалов через каждые 3 минуты представлена на визуальном уровне.

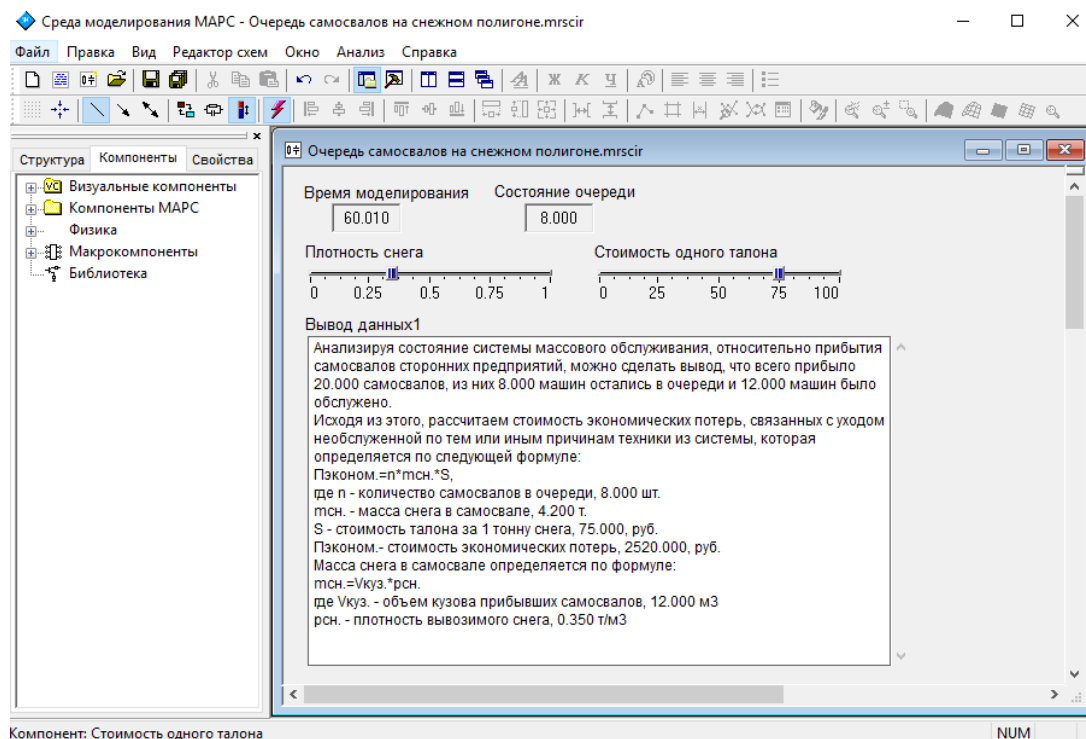


Рисунок 3.38 – Модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» на визуальном уровне при прибытии сторонних самосвалов через каждые 3 минуты

В данном случае среди сторонних самосвалов 8 машин остались в очереди. Исходя из того, что стоимость талона за 1 тонну снега равна 75 руб., экономические потери составляют 2 520 руб.

Таким образом, представленная модель «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон» позволяет исследовать и проанализировать состояние очереди на снежном полигоне, а также провести серию экспериментов с различными исходными данными, что поможет при планировании этапа разгрузки снега на практике.

В качестве повышения эффективности рассматриваемой системы массового обслуживания также можно рассмотреть реорганизацию этапа оформления документов. На этапе оформления документов заполняется журнал приемки и происходит взвешивание привезённого снега. Оценка привезённого снега осуществляется с помощью устройства типа «АВТОПОСТ», которое предполагает взвешивание автомобиля по нескольким осям для определения веса автомобиля и груза. Это, в свою очередь, увеличивает время обслуживания каждой спецтехники и сказывается на состоянии очереди. Для того, чтобы сократить время

обслуживания, предлагается определять вес автомобиля предварительно, до начала вывоза снега на полигон. К автомобилям сторонних предприятий данная рекомендация относится в случае приобретения талона на вывоз снега.

Рекомендуется оптимизировать и процесс заполнения журнала приемки путем введения автоматической регистрации (при помощи пластиковых карт) по аналогии с организацией аналогичного этапа в других городах (например, г. Москва). Тем более недавно было введено в эксплуатацию разработанное ранее программное обеспечение, позволяющее составлять отчеты по количеству принятого снега и количеству автомобилей, что тоже может помочь уменьшить время обслуживания на полигоне. Таким образом, скорость обслуживания на этапе оформления документов можно сократить до 1 минуты.

Подобные нововведения позволят:

- сократить время обслуживания;
- снизить вероятность возникновения очереди на снежном полигоне;
- снизить нагрузку на сотрудника полигона;
- минимизировать риск возникновения ошибок при сборе и регистрации данных;
- уменьшить общее время, затрачиваемое на процесс погрузки и вывоза снега.

Представленные рекомендации позволят существенно сократить время уборки и вывоза снега, что скажется на эффективности зимней уборки улиц Спецавтохозяйством.

3.6. Анализ временных и производственных затрат процесса снегоуборки

В качестве примера рассчитаем стоимость выполнения работ процесса снегоуборки на улицах 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.

Для выявления кратности выполнения снегоуборочных работ произведен анализ погодных условий за период времени с 01.01.2019 по 31.01.2019. Средняя температура воздуха за месяц составила $-17,3^{\circ}\text{C}$, средняя высота снежного покрова 7,1 см. Количество работ по каждому этапу за месяц определяется в зависимости от остатка снежного покрова на дороге под влиянием различных коэффициентов, таких как коэффициент уплотнения, равный 0,4, и коэффициент силы трения, равный 0,08. При этом, на основе практических наблюдений замечено, что толщина слоя снега по высоте меньше свежеснежавшего в 1,5...2 раза. Другими словами, 5 см свежеснежавшего неуплотненного снега соответствуют 3...2 см снежной массы на поверхности покрытия [20].

Этап механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами производится тогда, когда к концу дня остаток снежного покрова на дороге превышает два сантиметра, что регламентировано новым ГОСТом 50597 — 2017 [37]. Таким образом, автомобильные дороги за январь 2019г. необходимо было посыпать девять раз. В данном примере предполагается, что после этапа механизированной посыпки проезжей части ПГМ, необходимо произвести механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц. Следовательно, кратность работ этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц также равна девять раз в месяц. Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами, предположим, осуществляется три раза в месяц. Следовательно, работы по формированию снежного вала также производятся три раза в месяц. Таблица анализа погодных условий и установления кратности выполнения соответствующих снегоуборочных работ представлена в приложении Е. В рассматриваемом примере требуется минимизировать временные затраты, то есть снегоуборочные работы необходимо произвести в рамках 8-ми часового рабочего дня. С учетом механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами работы необходимо выполнить в течение суток.

Расчеты стоимости выполнения работ процесса снегоуборки вышеуказанных улиц произведены частично на вышеописанных многоуровневых моделях и с

помощью Microsoft Excel. Ниже представлены пояснения к расчетам каждого этапа процесса снегоуборки.

Этап механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами

Расчеты стоимости данного этапа произведены на основе выше описанной имитационной модели «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами», которая в пункте 3.2 представлена на примере некоторых опасных участков улично-дорожной сети г. Томска, а для моделирования вышеуказанных улиц I категории Ленинского района она перестроена согласно ниже описанному маршруту.

Техника выезжает с пескобазы, расположенной по адресу ул. Московский тракт 109, и по завершению работ возвращается обратно. Полной загрузки кузова пескоразбрасывателя хватает на посыпку 7,5 км автомобильных дорог. По завершении ПСС пескоразбрасыватель возвращается на пескобазу для загрузки новой партии противогололедных материалов, а затем отправляется на точку маршрута, где была окончена предыдущая посыпка и продолжает работу.

Для посыпки проезжей части улиц построен следующий маршрут общей протяженностью 37,5 км: пр. Ленина (5,5 км) – ул. Дальне-Ключевская (0,7 км) – пр. Мира (2,6 км) – ул. Смирнова (6,8 км) – пр. Мира (2,7 км) – ул. Дальне-Ключевская (0,35 км) – ул. Большая Подгорная (10,2 км) – ул. Дальне-Ключевская (0,25 км) – ул. Розы Люксембург (5,2 км) – ул. Дальне-Ключевская (0,2 км) – пр. Ленина (3 км).

С учетом скоростей «холостого хода» загруженного пескоразбрасывателя – 40 км/ч, пустого – 45 км/ч; скорости посыпки – 20 км/ч, а также расстояний «холостого хода» и построенного маршрута находится время работы каждой единицы техники. Таким образом, продолжительность однократного выполнения работ механизированной посыпки проезжей части ПГМ по заданным улицам составила 5,18 ч, что соответствует вышеуказанным требованиям.

Далее с помощью тарифов на платные услуги, оказываемые Спецавтохозяйством (3130 руб./1 пескоразбрасыватель-час), вычисляется стоимость

выполнения работ за месяц и однократно. Стоимость одной загрузки песко-соляной смесью принимается за 30017, 6 руб.

Таблица расчетов этапа механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами представлена в приложении Ж.

Этап механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц

Расчеты стоимости данного этапа произведены на основе вышеописанной имитационной модели «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц I и II категорий», которая в пункте 3.3.2 представлена на примере разработанных маршрутах улиц I и II категорий Ленинского района г. Томска, а для моделирования вышеуказанных улиц I категории Ленинского района она перестроена согласно маршруту пескоразбрасывателей.

На данном этапе применяется звено из 4 снегоуборочных машин с навесным плужно-щеточным оборудованием. Техника проходит по тому же маршруту, что и пескоразбрасыватели на следующий день после посыпки дорог противогололедными материалами. Движение снегоуборочных машин начинается от автопарка до места начала уборки, и по завершению работ техника возвращается обратно. При расчетах стоимости однократного выполнения работ данного этапа и за месяц учитывается расстояние «холостого хода» (14 км) и маршрута сгребания (37,5 км), скорости рабочая (35 км/ч) и «холостого хода» (45 км/ч), а также тарифная стоимость (2305 руб./1машино-час). Временные затраты однократного выполнения работ данного этапа равны 1,38 ч, что соответствует вышеуказанным требованиям.

Таблица расчетов этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц представлена в приложении З.

Этап формирования снежного вала автогрейдером

Расчеты стоимости данного этапа произведены с помощью Microsoft Excel по причине того, что имитационная модель формирования снежного вала автогрейдером в диссертационной работе не представлена.

Формирование снежного вала осуществляется автогрейдером и колесным трактором МТЗ. За первым звеном закреплены пр. Мира, ул. Смирнова, ул. Дальне-

Ключевская. За вторым – пр. Ленина, ул. Большая Подгорная, ул. Розы Люксембург. Количество проходов автогрейдером равно трем, то есть 1 проход – автогрейдер подрезает прибордюрную часть дороги, либо рыхлит уплотненные снежные массы по обочине, 2 проход — сдвигает снег с прилотовой части, 3 проход — сдвигает вал снега к бордюру, оставляя между бордюром и валом расстояние 25–30 см. После прохождения автогрейдера, дорогу необходимо промести колесным трактором МТЗ. С начала работ снегоуборочная техника выезжает из автопарка и по их завершению возвращается обратно. Работы по формированию снежного вала выполняются 3 раза в месяц. При расчетах стоимости однократного выполнения работ данного этапа и за месяц учитываются расстояния «холостого хода» и уборки, скорости «холостого хода» и рабочая, а также тарифная стоимость работ автогрейдера и колесного трактора МТЗ (1 780 руб./1 машино-час и 1 106 руб./1 машино-час соответственно).

В связи с требованием осуществить работы в течение рабочего дня, длительностью 8 часов, организовано два звена, исходя из этого, временные затраты 1 звена составили: автогрейдера – 4,44 ч., трактора МТЗ – 2,74 ч.; 2 звена: автогрейдера – 7,63 ч., трактора МТЗ – 4,58 ч.

Таблица расчетов этапа формирования снежного вала автогрейдером представлена в приложении И.

Этап механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами

Расчеты стоимости данного этапа произведены на основе вышеописанной имитационной модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» и с помощью Microsoft Excel.

Этап механизированной погрузки и вывоза снега проводится после того, как сформирован снежный вал в прилотовой части дороги. В связи с требованием осуществить работы в течение суток организовано три звена в две рабочих смены, каждая смена не превышает 8 часов. В состав звена входят 4 самосвала различной грузоподъемности и один снегопогрузчик. Количество самосвалов определено, исходя из объема их кузовов; объема снега, подлежащего уборке; числа загрузок и с учетом временных ограничений рабочего дня.

За первым звеном закреплены ул. Розы Люксембург и пр. Ленина (1 полоса движения от ул. Нахимова до ул. Профсоюзная). За вторым звеном – ул. Большая Подгорная и ул. Дальне-Ключевская (от пр. Ленина до начала пр. Мира). Третье звено обслуживает пр. Мира и ул. Смирнова. Изначально снегоуборочная техника выезжает с автопарка и по завершению работ возвращается обратно. Самосвалы поочередно загружают максимально возможный объем снега и вывозят на ближайший полигон (в данном случае поселок Хромовка 35/2). На полигоне происходит разгрузка снега, и затем самосвалы возвращаются на рабочую улицу к последующей погрузке.

Таким образом, в среднем временные затраты самосвалов составили: 1 звено дневная смена – 8ч., ночная – 6,39ч.; 2 звено дневная смена – 4,48ч., ночная – 7ч.; 3 звено дневная смена – 6,85ч., ночная – 7,28ч. При расчете стоимости однократного выполнения работ данного этапа и за месяц учитываются время работы техники, тарифная стоимость самосвалов и снегопогрузчика, а также тариф приема и складирования снега на снежном полигоне (71,07руб./т).

Таблица расчетов одного звена механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами представлена в приложении К.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что временные затраты каждого этапа процесса снегоуборки соответствуют изначально заданным требованиям. Общая их стоимость для выбранных дорог I категории Ленинского района г. Томска за январь 2019 г. равна 2 668 882,42руб., что представлено на рисунке 3.39.

Этап	Стоимость
Механизированная посыпка проезжей части ПГМ	1 496 767,38р.
Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц	114 723,14р.
Формирование снежного вала автогрейдером	88 740,12р.
Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами	895 691,32р.
Стоимость приема и складирования снега на полигоне	72960,462
Итого	2 668 882,42р.

Рисунок 3.39 – Общая стоимость этапов процесса снегоуборки выбранных дорог I категории Ленинского района г. Томска за январь 2019 г.

На рисунке 3.40 представлена общая стоимость фактического выполнения работ процесса снегоуборки на выбранных улицах I категории Ленинского района за период времени – январь 2019 года.

Этап	Стоимость
Механизированная посыпка проезжей части ПГМ	1 496 767,38р.
Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц	114 723,14р.
Формирование снежного вала автогрейдером	129 502,62р.
Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами	888 674,03р.
Стоимость приема и складирования снега на полигоне	60800,385
Итого	2 690 467,55р.

Рисунок 3.40 – Общая стоимость фактического выполнения этапов процесса снегоуборки выбранных дорог I категории Ленинского района г. Томска за январь 2019 г.

При сравнении стоимостей этапов процесса снегоуборки моделируемого (2 668 882,42 руб.) и фактического (2 690 467,55 руб.) выполнения видно, что стоимость фактическая превышает моделируемую. Причем при фактическом выполнении снег был вывезен на снежный полигон 1 раз в месяц, а при моделируемом 3 раза в месяц (рис. 3.41).

Кол-во единиц техники / Кратность выполнения работ	Вариант моделируемого выполнения работ	Вариант фактического выполнения работ
<i>Этап механизированной посыпки проезжей части ПГМ</i>		
Кол-во единиц техники	1 пескоразбрасыватель	1 пескоразбрасыватель
Кол-во раз в месяц	9 раз в месяц	9 раз в месяц
<i>Этап механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц</i>		
Кол-во единиц техники	4 плужно-щеточные машины	4 плужно-щеточные машины
Кол-во раз в месяц	9 раз в месяц	9 раз в месяц
<i>Этап формирования снежного вала автогрейдером</i>		
Кол-во единиц техники	2 автогрейдера, 2 трактора МТЗ	2 автогрейдера, 2 трактора МТЗ
Кол-во раз в месяц	3 раза в месяц, 2 звена	1 раз в месяц, 2 звена
Кол-во проходов техники	автогрейдер - 3 прохода, трактор МТЗ - 1 проход	автогрейдер - 4 прохода, трактор МТЗ - 2 прохода
<i>Этап механизированной погрузки и вывозки / разгрузки снега самосвалами</i>		
Кол-во единиц техники	36 самосвалов	30 самосвалов
Кол-во раз в месяц	3 раза в месяц, 3 звена в 2 смены	1 раз в месяц, 3 звена в 2 смены

Рисунок 3.41 – Количество работ моделируемого и фактического выполнения этапов процесса снегоуборки

В случае вывоза снега 1 раз в месяц увеличился объем снега, подлежащего уборке. Исходя из этого увеличились расходы на этапе формирования снежного вала автогрейдером, поскольку для уборки большего объема снега требуется

увеличить количество проходов. Но уменьшились затраты на этапе механизированной погрузки и вывоза снега, так как произошло слёживание, уплотнение снега. При этом на этапе механизированной погрузки и вывоза снега потребовалось большее количество самосвалов, поэтому часть самосвалов была взята в аренду, наряду с этим тарифная стоимость самосвалов возросла до 1800 руб./час. Стоимость приема и складирования снега на полигоне при фактическом выполнении работ уменьшилась, поскольку снег был вывезен в меньшем объеме.

Так, при сопоставлении выше представленных вариантов фактического и моделируемого решения, наблюдается сравнительная экономическая эффективность, показателем которой является минимизация затрат. Исходя из этого, наилучшим решением является моделируемый вариант уборки стоимостью 2 668 882,42 руб., следовательно, применение имитационного моделирования к процессу снегоуборки на этапе планирования повышает эффективность принимаемых решений.

Ниже рассмотрим основные потери города, которые он понесет ввиду отсутствия выполнения работ по снегоуборке.

Системный анализ факторов зимнего содержания городских автомобильных дорог произведен Тюпаковым С.В., который укрупнил их в следующие блоки: экономические, экологические, социальной сферы и погодных условий [134]. С помощью вышеперечисленных блоков факторов происходит взаимодействие городской улично-дорожной сети (ГУДС) и транспортного потока, а дорожно-эксплуатационные организации управляют этим взаимодействием.

Все факторы зимнего содержания ГУДС можно разделить на независимые, среди которых выделяют погодные условия (интенсивность и периодичность снегопадов, число дней с гололёдом и т.д.) и категории дорог и улиц по транспортно-эксплуатационным характеристикам, и управляемые, к которым относятся технология снегоуборочных работ (продолжительность выдержки, норма распределения ПГМ и т.д.), организация выполнения работ (одновременность и последовательность выполнения и т.д.), качество и количество применяемых ресурсов (снегоуборочной техники, ПГМ и пр.), качество

метеорологического обеспечения (точность и периодичность прогноза и т.д.), уровень зимнего содержания ГУДС (допустимая толщина снега, срок ликвидации гололёда, срок вывоза снега и т.д.).

Факторы, на которые дорожно-эксплуатационные службы могут повлиять в ходе зимнего содержания ГУДС, называются управляемыми. Наиболее значимым из них является уровень зимнего содержания ГУДС. Именно он напрямую связывает между собой стоимость снегоуборочных работ и народнохозяйственные потери. Чем выше задан уровень содержания улиц и дорог, тем больше требуется ресурсов для его обеспечения, но вместе с тем, меньше временной интервал пребывания дороги в неудовлетворительном состоянии и меньше народнохозяйственные потери [135-136]. Все вышеперечисленные факторы являются предметом оптимизации по критерию минимальных затрат, один из элементов которых – потери, сопряженные с тем или иным уровнем зимнего содержания ГУДС [137].

К экономическим факторам можно отнести потери, связанные с повышением себестоимости автомобильных перевозок; потери части прибылей автотранспортных предприятий и т.д. [138-140].

Экологические факторы составляют потери, связанные с применением противогололедных материалов; потери, вызванные повышенным выбросом вредных веществ в атмосферу при движении автомобилей на пониженных скоростях и другие, которые возрастают с повышением уровня зимнего содержания ГУДС [141-142].

Факторы социальной сферы реализуются в критерии минимальных затрат в виде стоимостной оценки потерь времени пассажиров в пути, потерь из-за ДТП и пр. [143-144].

Факторы погодных условий оказывают влияние на величину потерь из-за ухудшения транспортно-эксплуатационного состояния дороги и т.д.

В рамках данного исследования рассмотрим основные потери, связанные с отсутствием выполнения работ процесса снегоуборки городских автомобильных дорог, а именно потери из-за роста ДТП; ущерб от загрязнения окружающей среды

противогололедными материалами; потери из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров; потери из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта; потери, вызванные нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки.

Вышеуказанные потери определены на том же участке городской дорожно-транспортной сети, что и выше рассчитанная стоимость процесса снегоуборки за период времени – январь 2019 года. Расчеты потерь выполнены по методике, описанной в диссертации Райгородской В.С. на тему «Экономические предпосылки оптимизации зимнего содержания автомобильных дорог в крупных городах» [137].

Общая стоимость основных потерь, связанных с отсутствием зимнего содержания городских автомобильных дорог, рассчитываются по формуле:

$$П = \Sigma(Сдтп_i + Сэx_i + Спас_i + Стр_i) + Сорг, \text{руб.}, \quad (3.7)$$

где $Сдтп_i$ – потери из-за роста ДТП, руб. [145];

$Сэx_i$ – ущерб от загрязнения окружающей среды противогололедными материалами, руб.;

$Спас_i$ – потери из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров, руб.;

$Стр_i$ – потери из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта, руб.;

$Сорг$ – потери, вызванные нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки, руб.

Далее рассмотрим расчеты каждого вида потерь.

Определение потерь из-за роста ДТП

Данный вид потерь является наиболее часто учитываемым при решении оптимизационных задач в области зимнего содержания автомобильных дорог и рассчитывается по формуле:

$$Сдтп_i = Удтп * L_i * Mm_i(a'_i - a_i) * kol_i * srok_i * N_i, \text{руб.} \quad (3.8)$$

где $Удтп$ – ущерб от одного ДТП, руб. [102];

L_i – протяженность дороги i категории, км;

kol_i – количество дней с неблагоприятными дорожными условиями в течение зимнего сезона [103];

$srok_i$ – срок удаления скользкости на дороге, ч;

Mm_i – коэффициент тяжести ДТП [146];

a_i', a_i – аварийность на сухой/снежно-обледенелой дороге [147];

N_i – интенсивность движения, авт./ч.

На рисунке 3.42 представлены расчеты потерь из-за роста ДТП, вычисленные по формуле (3.8).

Потери из за роста ДТП, руб	27 816 889,96р.		
Ущерб городу от одного ДТП, руб	4277	Средний ущерб городу от одного ДТП, руб	4277,125
Длина дорог i категории, км	18	Поврежденный элемент дороги	Затраты на восстановление,руб.
Количество дней с неблагоприятными дорожными условиями в течение зимнего сезона	15	Знаки: указательные, запрещающие, предупреждающие, предписывающие, километровые	1342
Срок удаления скользкости на дороге, ч	4	Сигнальные столбики	648
Коэффициент тяжести ДТП	1	Барьерные ограждения	1837
Интенсивность движения, авт/ч	1160	Обочины	144
		Опоры ограждений	964
Аварийность на дороге за период времени	0,0052	Дорожные металлические указатели на стойках	4230
		Пешеходные ограждения	3025
Количество ДТП за период времени	5	Опоры светильников	22027
Период времени, сут	31		
Средняя интенсивность движения за период времени	863040		
Протяженность дороги, км	36		

Рисунок 3.42 – Расчеты потерь из-за роста ДТП

Определение потерь из-за снижения скорости движения автомобильного транспорта в течение зимнего сезона

Данный вид потерь рассчитывается по формуле:

$$Tv_i = \left(\frac{1}{V_i} - \frac{1}{Vn_i} \right) * L_i * t_i * kol_i, \text{ ч} \quad (3.9)$$

где V_i – скорость движения на покрытии в неудовлетворительном состоянии, км/ч [148];

Vn_i – скорость движения на покрытии в удовлетворительном состоянии, км/ч;

t_i – продолжительность пребывания дороги в неудовлетворительном состоянии, ч;

На рисунке 3.43 представлены расчеты потерь из-за снижения скорости движения автомобильного транспорта в течение зимнего сезона, вычисленные по формуле (3.9).

Потери из-за снижения скорости движения автомобильного транспорта в течение зимнего сезона, ч	36,00
Скорость движения на покрытии в неудовлетворительном состоянии, км/ч	20
Скорость движения на покрытии в удовлетворительном состоянии, км/ч	60
Продолжительность пребывания дороги в неудовлетворительном состоянии, ч	4

Рисунок 3.43 – Расчеты потерь из-за снижения скорости движения автомобильного транспорта в течение зимнего сезона

Определение потерь времени из-за перепробега автомобилей

Данный вид потерь рассчитывается по формуле:

$$Tl_i = \frac{1}{v_{ni}} (L_i * K_{Li} - L_i) * t_i * kol_i, \text{ ч} \quad (3.10)$$

где K_{Li} – коэффициент увеличения пробега автомобилей, вынужденных объезжать участок дороги с неблагоприятными условиями движения.

На рисунке 3.44 представлены расчеты потерь времени из-за перепробега автомобилей, вычисленные по формуле (3.10).

Потери времени из-за перепробега автомобилей, ч	10,80
Коэффициент увеличения пробега автомобилей, вынужденных объезжать участок дороги с неблагоприятными условиями движения	1,6

Рисунок 3.44 – Расчеты потерь времени из-за перепробега автомобилей

Определение потерь из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров

Данный вид потерь рассчитывается по формуле:

$$\text{Спас}_i = \text{Спасу} N_i (Tv(d_{\text{л}} * B_{\text{л}}(1 - g_i) + d_{\text{а}} * B_{\text{а}} + d_{\text{т}} * B_{\text{т}}) + Tl * d_{\text{л}} * B_{\text{л}} * g_i), \text{ руб.} \quad (3.11)$$

где Спасу – стоимостная оценка потерь времени пассажиров в пути, руб./чел.-ч;

g_i – доля транспортного потока, объезжающего перегоны УДС, находящихся в неудовлетворительном транспортно-эксплуатационном состоянии;

$d_{\text{л}}, d_{\text{т}}, d_{\text{а}}$ – пассажировместимость, соответственно, одного легкового автомобиля, троллейбуса, автобуса, чел;

$V_{л}, V_{а}, V_{т}$ – коэффициент наполняемости, соответственно, легкового автомобиля, автобуса, троллейбуса.

На рисунке 3.45 представлены расчеты потерь из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров, вычисленные по формуле (3.11).

Потери из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров, руб	28 700 171,37р.
Стоимостная оценка потерь времени пассажиров в пути, руб./чел.-ч	160,00
Доля транспортного потока, объезжающего перегоны УДС, находящихся в неудовлетворительном транспортно- эксплуатационном состоянии	0,6
Пассажировместимость одного легкового автомобиля, чел.	3,00
Пассажировместимость одного автобуса, чел.	40,00
Пассажировместимость одного троллейбуса, чел.	70,00
Коэффициент наполняемости легкового автомобиля	0,015
Коэффициент наполняемости автобуса	0,07
Коэффициент наполняемости троллейбуса	0,021

Рисунок 3.45 – Расчеты потерь из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров
Определение потерь из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта

Данный вид потерь выражается в невозможности получения прибыли от транспортных услуг за то время, на которое происходит задержка движения на дороге, и определяется следующим образом:

$$\text{Стр}_i = N_i (P_{гр} * y_{гр} * (Tv(1 - g_i) + Tl * g_i) + P_{п} (y_{а} + y_{т}) * Tv), \text{руб} \quad (3.12)$$

где $P_{гр}, P_{п}$ – соответственно, прибыль на грузовом и пассажирском автомобильном транспорте, руб./авт-ч [149];

$y_{гр}, y_{а}, y_{т}$ – доля в транспортном потоке, соответственно, грузовых автомобилей, автобусов, троллейбусов.

На рисунке 3.46 представлены расчеты потерь из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта, вычисленные по формуле (3.12).

Потери из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта, руб	12 711 744,00р.
Прибыль на пассажирском автомобильном транспорте, руб./авт-ч	800
Прибыль на грузовом автомобильном транспорте, руб./авт-ч	1200
Доля в транспортном потоке грузовых автомобилей	0,15
Доля в транспортном потоке автобусов	0,2
Доля в транспортном потоке троллейбусов	0,05

Рисунок 3.46 – Расчеты потерь из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта

Определение ущерба от загрязнения окружающей среды противогололедными материалами

Данный вид потерь рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{Эх}} = \sum_h nhim_h (q_{\text{В}_h} * c_{\text{В}_h} + q_{\text{П}_h} * c_{\text{П}_h}), \text{руб} \quad (3.13)$$

где $nhim_h$ – требуемое количество противогололедных материалов, т;

$q_{\text{В}}$, $q_{\text{П}}$ – доля противогололедных материалов, попадаемых, соответственно, в воду и в почву;

$c_{\text{В}}$, $c_{\text{П}}$ – ставки платы за загрязнение, соответственно, воды и почвы, руб./т.

Определение требуемого количества противогололедных материалов:

$$nhim_h = \sum_i \sum_o \sum_v L_i * b_i * ks_{iov} * kol_i * ghim_{hiov}, \text{т} \quad (3.14)$$

где L_i – протяженность дороги i категории, м;

b_i – ширина проезжей части, м;

ks_{iov} – коэффициент охвата площади при выполнении операции;

$ghim_{hiov}$ – плотность распределения реагента, т/кв.м.

На рисунке 3.47 представлены расчеты ущерба от загрязнения окружающей среды противогололедными материалами, вычисленные по формулам (3.13-3.14).

Ущерб от загрязнения окружающей среды противогололедными материалами, руб	1 331 736,84р.			
Требуемое количество противогололедных материалов, т	546,7		Требуемое количество противогололедных материалов, т	546,7
Доля противогололедных материалов, попадаемых в воду	1,2		Площадь проезжей части, тыс. кв.м.	182230
Доля противогололедных материалов, попадаемых в почву	1,8		Коэффициент охвата площади при выполнении операции	0,8
			Плотность распределения реагента, т/кв. м	0,00025
Ставки платы за загрязнение воды, руб./т.	980		Количество дней с неблагоприятными дорожными условиями в течение зимнего сезона	15
Ставки платы за загрязнение почвы, руб./т.	700			

Рисунок 3.47 – Расчеты ущерба от загрязнения окружающей среды ПГМ

Определение потерь, вызванных нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки

Данный вид потерь связан с работой снегоочистительных машин, поскольку они движутся колоннами, занимают всю проезжую часть или ее половину. Следовательно, автомобильный транспорт, едущий вслед за колонной, не может превысить рабочую скорость снегоочистительных машин на перегоне УДС (участке дороги, не имеющем пересечения с другими). Рассчитывается он по следующей формуле:

$$C_{орг} = \sum_i \frac{СП_i}{2} * \frac{Lsr_i * nc_i}{Vrab * tsn}, \text{руб} \quad (3.15)$$

где Lsr_i – средняя длина перегона (среднее расстояние между остановками), км;

$СП_i$ – сумма потерь, вызванных снижением скорости автомобильного транспорта и его перепробегом, руб.;

$Vrab$ – рабочая скорость снегоочистки, км/ч;

tsn – продолжительность снегопада за выбранный период, ч;

nc_i – число циклов снегоочистки.

На рисунке 3.48 представлены расчеты потерь, вызванных нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки, вычисленные по формуле (3.15).

Потери, вызванные нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки, руб	6 996 642,12р.
Средняя длина перегона, км	0,45
Сумма потерь, вызванных снижением скорости автомобильного транспорта и его перепробегом	38 870 233,98р.
Рабочая скорость снегоочистки, км/ч	40
Продолжительность снегопада, ч	32
Число циклов снегоочистки	1

Рисунок 3.48 – Расчеты потерь, вызванных нарушением организации дорожного движения из-за снегоочистки

Таким образом, общая стоимость основных потерь города, связанных с отсутствием выполнения работ процесса снегоуборки в период времени с 01.01.2019 по 31.01.2019, равны 77 557 184,28 руб. (рис. 3.49).

Потери из за роста ДТП, руб.	27 816 889,96р.
Потери из-за увеличения времени пребывания в пути пассажиров, руб.	28 700 171,37р.
Потери из-за снижения транспортной работы грузового и пассажирского автомобильного транспорта, руб.	12 711 744,00р.
Ущерб от загрязнения окружающей среды противогололедными материалами, руб.	1 331 736,84р.
дорожного движения из-за снегоочистки, руб.	6 996 642,12р.
ОБЩИЕ ПОТЕРИ	77 557 184,28р.

Рисунок 3.49 – Общая стоимость основных потерь города, связанных с отсутствием выполнения работ процесса снегоуборки за январь 2019 г.

Определив стоимость работ процесса снегоуборки и потери, вызванные их невыполнением, появляется возможность оценки экономической эффективности зимнего содержания дорог относительно города, что имеет важное практическое значение, так как позволяет обоснованно принимать решение о целесообразности регулярной эксплуатации дорог в зимний период. Так, регулярное зимнее содержание дорог экономически целесообразно при условии:

$$S_{з. с.} < П_{отс. з.с.} \quad (3.16)$$

где $S_{з.с.}$ – стоимость зимнего содержания дорог (в данном случае, процесса снегоуборки);

$П_{отс. з.с.}$ – потери, вызванные отсутствием зимнего содержания дорог (в данном случае, процесса снегоуборки).

Поскольку предусматривается сравнение двух видов затрат – стоимости зимнего содержания и потерь, вызванных его отсутствием, то для определения экономической эффективности зимнего содержания дорог следует производить расчеты по сравнительному методу [19]. При расчетах определяют общие затраты, представляющие собой сумму текущих издержек и единовременных затрат, приведенных к начальному году в соответствии с установленным нормативным коэффициентом эффективности:

$$S = C + E_n K \quad (3.17)$$

где C – текущие временные издержки (эксплуатационные расходы);

E_n – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений (следует принимать $E_n = 0,12$);

K – единовременные затраты (если таковые отсутствуют, значение не учитывается).

Так как единовременные затраты в данном случае отсутствуют, стоимость зимнего содержания дорог (в данном случае, стоимость работ процесса снегоуборки) складывается из мероприятий по очистке дорог от снега и борьбе с зимней скользкостью и наледями.

Таким образом, рассчитанные потери за январь 2019 года существенно превышают стоимость работ процесса снегоуборки (Потери (77 557 184,28 руб.) > Стоимость этапов снегоуборочного процесса (2 668 882, 42 руб.)) следовательно, регулярное зимнее содержание дорог в г. Томске экономически целесообразно.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что затраты на организацию процесса снегоуборки обойдутся городу дешевле, чем потери, которые он понесет в случае его отсутствия.

3.7. Предложения по реформированию системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки Спецавтохозяйства

Под системой поддержки принятия решений (СППР) подразумевается система, целью которой является помощь людям, принимающим решение в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Основываясь на входных данных, она выдаёт информацию, помогающую людям быстро и точно оценить ситуацию и принять решение [150].

Рассмотрим существующую схему системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки (рис. 3.50).



Рисунок 3.50 – Существующая схема системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки

Субъектами системы управления Спецавтохозяйством являются: директор, заместитель директора по производству, первый заместитель директора, начальник службы полигонов, начальник производственного отдела и начальник службы содержания объектов внешнего благоустройства.

Информационная система управления существующей СППР формируется только на основе ее информационной подсистемы, целью которой является создание информационной среды предприятия [151]. При формировании этой подсистемы учитывается внутренняя информация предприятия, например, имеющиеся ресурсы (кадровый состав, снегоуборочная техника и т.д.), статистика опыта прошлых лет и прочее; нормативная документация (например, технологические и маршрутные карты, технология уборки, ГОСТы и т.д.); внешняя информация предприятия, например, информация о «пробках» и состоянии погодных условий, перечень и площадь убираемых улиц и т.д.

Анализируя процесс принятия управленческих решений в Спецавтохозяйстве выявлено, что при планировании процесса снегоуборки руководителями данного предприятия решения принимаются, по большей части, на основе качественных методов, т.е. путем теоретического сравнения альтернатив с учетом накопленного опыта и интуиции руководителя. Такие методы основаны на аналитических способностях руководителей и к ним относятся: метод экспертных оценок, метод мозговой атаки, метод Дельфи, мозговой штурм, метод комиссий, SWOT-анализ, метод сценариев и т.д. [152]. Качественные методы подразделяются на индивидуальные и коллективные. Преимуществом качественных методов является оперативность, среди недостатков можно выделить принятие ошибочного (неэффективного) решения, так как интуиция может подвести.

Благодаря комплексу разработанных имитационных моделей процесса снегоуборки, в рамках диссертационной работы, предлагается реформировать СППР за счет добавления в ее информационную систему управления модельной подсистемы (рис. 3.51).

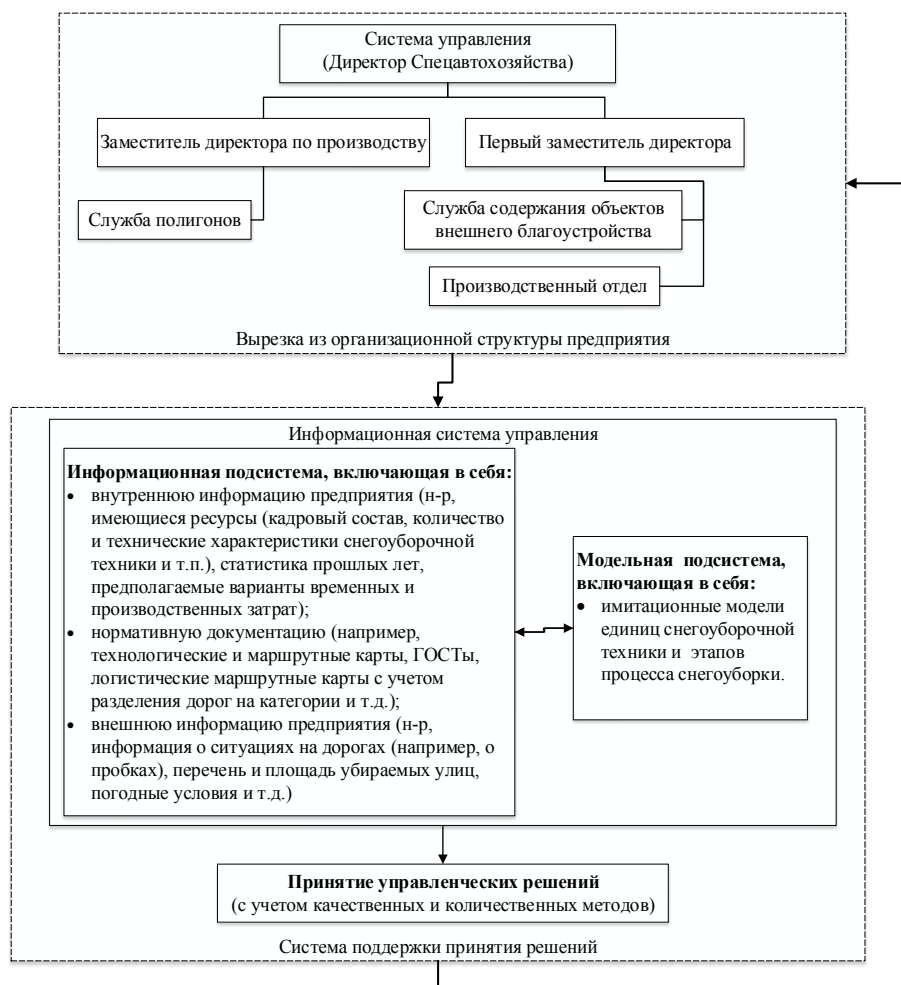


Рисунок 3.51 – Реформирование схемы системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки

Целью модельной подсистемы является обработка и получение информации с помощью имитационных моделей процесса снегоуборки, которые, в свою очередь, подразделяются на физическую, дискретно-событийную и экономическую модели [153]. Таким образом, при принятии управленческих решений руководителями САХа предлагается учитывать результаты информационной и модельной подсистем, то есть использовать комплексный подход, который предполагает сочетание качественных и количественных методов.

Количественные методы принятия управленческих решений основаны на научно-практическом подходе, предполагающем выбор оптимальных решений путем использования экономико-математических моделей и средств вычислительной техники. Эти методы базируются на информации, которую можно

получить, зная тенденции изменения параметров или имея статистически достоверные зависимости, характеризующие деятельность объекта управления. К таким методам относятся: анализ временных рядов, линейное программирование, теория игр, теория массового обслуживания, теория управления запасами, имитационное моделирование и другие [154]. Преимуществами этих методов можно считать достоверность и обоснованность полученных альтернатив, среди недостатков – сложность применения методов, что требуют специальной профессиональной подготовки. Задействование только количественных методов не дает безусловных оснований для принятия решений [155]. В данной работе в качестве количественного метода предлагается использовать имитационное моделирование, которое позволит «воспроизвести» планируемые процессы на моделях, определить «узкие места», недоработки и погрешности системы. По результатам моделирования на основе полученных «симулированных» альтернатив предоставляется возможность выбора наилучшей путем оценки их эффективности и вариативности.

Подводя итог вышесказанному, можно сделать вывод, что методы принятия управленческих решений дополняют друг друга, поэтому на практике их рекомендуется использовать комплексно [156]. Приведем некоторое соответствие качественных, количественных методов и основных функций управления, позволяющее определить какой из методов ПУР и на каком этапе предпочтительнее использовать (табл. 3.7).

Таблица 3.7 – Соответствие методов ПУР и функций управления

Функции управления	Методы ПУР		
	Качественные		Количественные
	Индивидуальные	Коллективные	
Планирование	–	+	+
Организация	+	–	+
Мотивация	+	+	–
Контроль	+	+	–

В САХе, как и в любом другом предприятии, выделяют следующие основные функции системы управления: планирование, организация, мотивация и контроль.

При ПУР на стадии планирования применяются качественные (коллективные) и количественные методы. Коллективные методы применяются в случае, когда на каждом уровне системы управления происходит сбор информации для последующего планирования. Любое предпринимаемое решение характеризуется наличием рисков, которые следует просчитать и учесть при ПУР, и для этого следует применять количественные методы. Так, например, при организации вывоза снега, чтобы определить требуемое количество самосвалов, можно было бы учесть и опыт прошлых лет, и расчет оптимального количества техники с помощью линейного программирования, а также теории массового обслуживания, которая позволила бы избежать очередей самосвалов на этапе погрузки-разгрузки снега.

На стадии организации применяются качественные (индивидуальные) и количественные методы. Учитывая технологические, экономические, социальные и временные факторы, влияющие на эффективность деятельности предприятия, следует их оценивать с помощью количественных методов. Следовательно, на данном этапе вышеуказанные методы рекомендуется применять в комплексе.

При осуществлении функций мотивации и контроля, в основном, используются только качественные методы, включающие в себя коллективные и индивидуальные.

Выбор применения методов ПУР в системе управления САХа зависит не только от вышеперечисленных факторов, но и от уровня компетентности лица, принимаемого решения; от его лидерских способностей; от характера ситуаций, которые могут быть программируемыми и непрограммируемыми. Оценить применение комплексных методов и инструментов ПУР на разных этапах организации процесса снегоуборки возможно через следующие факторы:

- социальные, позволяющие обеспечить бесперебойное и безопасное движение транспортных средств;
- временные, т. е. умение системы быстро среагировать на внезапные изменения (например, форс-мажор, который может быть вызван обильными снегопадами);

- экономические, позволяющие использовать методы ПУР так, чтобы минимизировать стоимость выполнения работ процесса снегоуборки;
- технологические, которые включают в себя процессы комплектации парка снегоуборочных машин по численности и по составу и организации выполненных работ.

ВЫВОДЫ ПО ГЛАВЕ 3

1. Анализ организации процесса снегоуборки в городе Томске показывает, что Спецавтохозяйство имеет ограниченное количество ресурсов, и его деятельность связана с непредсказуемыми погодными условиями. Исходя из этого, во избежание сложностей в организации зимней уборки, актуализируется задача о планировании временных и производственных затрат процесса снегоуборки.

2. Путем решения задачи коммивояжера разработана модель построения оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей на примере Ленинского района г. Томска, позволяющая минимизировать расстояние их «холостого хода» с учетом разделения дорог на категории.

3. Созданные многоуровневые имитационные модели процесса снегоуборки, а именно механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами; механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц; механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами, разработанные на основе моделей единиц снегоуборочной техники, позволяют определить временные и производственные затраты на ее эксплуатацию.

4. Разработанная модель очереди при вывозе снега самосвалами на полигон, позволяет исследовать и проанализировать состояние очереди на полигоне, а также оценить экономические потери предприятия, связанные с уходом необслуженной техники.

5. Анализ временных и производственных затрат фактического и моделируемого выполнения работ показывает, что наилучшим решением является моделируемый вариант уборки стоимостью 2 668 882,42 руб., следовательно,

применение имитационного моделирования к процессу снегоуборки на этапе планирования повышает эффективность принимаемых решений.

6. Реформирование системы поддержки принятия решений процесса снегоуборки обеспечивается за счет взаимодействия информационной и модельной подсистем, что позволяет при разработке управленческих решений применить комплексный подход, то есть использовать не только качественные, но и количественные методы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках проведенного исследования решена актуальная практическая задача планирования процесса снегоуборки посредством разработки комплекса его многоуровневых имитационных моделей. В ходе проведения исследования поставленная цель достигнута и решены следующие задачи:

- проведен анализ процесса снегоуборки и его текущего состояния исследований, в результате которого доказана перспективность применения имитационного моделирования на этапе планирования;
- предложена методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию техники, позволяющая четче планировать процесс снегоуборки и на основе этого принимать обоснованные решения;
- 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;
- 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;
- 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;
- разработаны многоуровневые имитационные модели этапов процесса снегоуборки, позволяющие оценить и подобрать наилучшие варианты временных и производственных затрат эксплуатации каждой единицы снегоуборочной техники;
- 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 ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Who is responsible in winter? Traffic accidents, the fight against hazardous weather and the role of law in a history of risks / Itzen Peter // Historical Social Research. – 2016. – №1 (41). – P. 154-175.
2. Стоим в пробках: как вовремя попасть на работу [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.tomsk.ru/news/view/138127> (дата обращения: 15.12.2018).
3. Hong, S. Effects of weather conditions and snow removal operations on travel speed in an urban area / S. Hong, T. Hagiwara, S. Takeuchi, B. Lu // Transportation Research Record. – 2015. – V. 2482 (1). – P. 90-101.
4. Петербург сменит стратегию уборки снега [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.pnp.ru/social/peterburg-smenit-strategiyu-uborki-snega.html> (дата обращения: 12.04.2019).
5. Zakharov, D. Sustainability of the Urban Transport System under Changes in Weather and Road Conditions Affecting Vehicle Operation / D. Zakharov, E. Magaril, E. Cristina Rada // Sustainability. – 2018. – №6 (10). – P. 1-17.
6. Нехай, К. Применение новых технологий при планировании затрат на содержание автомобильных дорог / К. Нехай, А. Лебедь, А. Глотов // Транспорт Российской Федерации. – 2006. – №6 (6). – С. 20–22.
7. Campbel, J. F. Operations management for urban snow removal and disposal / J. F. Campbel, A. Langevin // Transportation Research Part A: Policy and Practice. – 1995. – V.29 (5). –P. 359-370.
8. Белоусов, В.Е. Управление ресурсами при зимнем содержании региональной сети автомобильных дорог / В.Е. Белоусов, Т.В. Самодурова, В.Н. Шарапова // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2010. – №7. – С. 51–55.
9. Urban Snow Removal: Modeling and Relaxations [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2%3A728056&dswid=-9796> (дата обращения: 16.10.2018).

10. Moghadas, S. Review of models and procedures for modelling urban snowmelt / S. Moghadasa , A-M Gustafssona , T.M. Muthannac , J. Marsalekb and M. Viklandera // Urban Water Journal. – 2015. – V.13 (4). – 16 p.

11. Urban Snow Hydrology and Modelling [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.65.8239&rep=rep1&type=pdf> (дата обращения: 17.01.2019).

12. Телушкина, Е. К. Моделирование работы транспортно-технологического комплекса уборки снега [Электронный ресурс] / Е. К. Телушкина // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2013. – №1. – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18830873>.

13. Perrier, N. A survey of models and algorithms for winter road maintenance. Part II: system design for snow disposal / N. Perrier, A. Langevin, J.F. Campbell // Computers & Operations Research. – 2006. – V. 33 (1). – P. 239-262.

14. Mohamed, E. Data-driven simulation-based model for planning roadway operation and maintenance projects / E. Mohamed, P. Jafari, M.F. Siu, S. AbouRizk // Proceedings of the 2017 Winter Simulation Conference. – IEEE Press, 2017. – P. 272.

15. Самодурова, Т.В. Моделирование состояния дорожного покрытия в зимний период / Т.В. Самодурова, Е.Н. Тропынин // Дороги и мосты. – 2009. – №. 22. – С. 137-148.

16. Слепцов, И.В. Моделирование организации работ по зимнему содержанию в зависимости от уровня загрузки улично-дорожной сети / И.В. Слепцов // Молодежь и научно-технический прогресс в дорожной отрасли юга России: материалы VII Международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Волгоград, 14-16 мая 2013 г. – Волгоград: Изд-во Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2013. – С. 306-311.

17. Петров, Е.А. Моделирование движения транспортного потока высокой интенсивности / Е. А. Петров // Омский научный вестник. – 2002. – №. 21. – С. 137-138.

18. Порядок организации и проведения ремонта и содержания автомобильных дорог местного значения муниципального образования “Город Томск” [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/467916113> (дата обращения: 29.11.2017).

19. Бялобжеский, Г.В. Зимнее содержание автомобильных дорог / Г.В. Бялобжеский, А.К. Плакса, Л.М. Рудакова, Б.В. Уткин; под ред. А. К. Дюнина. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1983. — 197 с.

20. Борисюк, Н.В. Зимнее содержание автомобильных и городских дорог: методические указания к курсовой работе / Н.В. Борисюк. — М.: МАДИ, 2016. — 24 с.

21. Автомобильные дороги и мосты. Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах. Обзорная информация. Выпуск 4 [Электронный ресурс] / Строительные нормы и правила, СНиПы. Нормативно-техническая документация. — 2006. — Режим доступа: http://snipov.net/c_4676_snip_113895.html#i22178 (дата обращения: 23.05.2018).

22. ОДН 218.2.027-2003 «Требования к противогололедным материалам» [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032208> (дата обращения: 20.05.2018).

23. ОДМ 218.8.002-2010. Методические рекомендации по зимнему содержанию автомобильных дорог с использованием специализированной гидрометеорологической информации (для опытного применения) [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200080547> (дата обращения: 13.12.2017).

24. Инструкция по организации и технологии механизированной уборки населённых мест [Электронный ресурс]. — Режим доступа: <http://www.gov.spb.ru/Files/file/instruktsiya.doc> (дата обращения: 13.12.17).

25. Pearson, Derek. Winter Maintenance // Highway Maintenance Handbook. — Thomas Telford, 1990.

26. А снег куда девать? Снегоуборщики в Оренбурге часами стоят в очереди на свалку [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://56orb.ru/cards/20-02-2019/a-sneg-kuda-devat-snegouborschiki-v-orenburge-chasami-stoyat-v-ocheredi-na-svalku> (дата обращения: 23.04.2019).

27. Власти Ленинского района: вывоз снега затрудняют очереди на полигонах [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.riatomsk.ru/article/20170118/leninskij-rajon-podgotovka-k-pavodku-tomsk/> (дата обращения: 17.12.2018).

28. Южносахалинцы сообщают об огромной очереди из самосвалов на южный снежный полигон [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sakhalin.info/news/148110> (дата обращения: 14.04.2019).

29. Огромная очередь из вывозящих снег самосвалов образовалась в Уральске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.caravan.kz/news/ogromnaya-ochered-iz-vyvozyashhikh-sneg-samosvalov-obrazovalas-v-uralske-525986/> (дата обращения: 07.04.2019).

30. Усеинова, Э.С. Совершенствование подходов к принципам планировки уличной сети (на примере г. Томска) [Электронный ресурс] / Э.С. Усеинова, под руководством В.А. Базавлук // Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). – 2017. – Режим доступа: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/40131>

31. Доронин, М. Н. Зимнее содержание автомобильных дорог: отечественный и зарубежный опыт обеспечения безопасности дорожного движения / М. Н. Доронин, Е. М. Олещенко // Организация и безопасность дорожного движения в крупных городах: Сборник докладов девятой международной научно-практической конференции / Санкт-Петербург: Изд-во гос. Архит.Строит. Ун-т, 2010. – С. 358-361.

32. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за 3 месяца 2018 года. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ НЦ БДД МВД России, 2018.

33. Рунэ Эльвик, Аннэ Боргер Мюсен, Трулс Ваа. Справочник по безопасности дорожного движения / Пер. с норв. Под редакцией проф. В.В.Сильянова. - М.: МАДИ(ГТУ), 2001. – 754 с.

34. Статистика ДТП: в каких странах опаснее? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.rambler.ru/incidents/36974231-statistika-dtp-v-kakih-stranah-opasnee/?updated> (дата обращения: 27.11.2018).

35. Безопасность дорожного движения – Концепция нулевой смертности – Шведское дорожное управление Vägverket, SE-781 87 Borlänge – 20 с.

36. Игнатьев, Н.С. Совершенствование технологии уборки снега с учетом мирового опыта (на примере ООО «АвтоМикс») [Электронный ресурс] / Н.С. Игнатьев, под руководством З.Л. Симакова // Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. – 2016. – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/v16-2334.pdf/download/v16-2334.pdf>.

37. ГОСТ Р 50597-2017 Дороги автомобильные и улицы. Требования к эксплуатационному состоянию, допустимому по условиям обеспечения безопасности дорожного движения. Методы контроля. – М.: Стандартинформ, 2017. – 31 с.

38. Классификация и основные параметры категорий городских дорог и улиц [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.pppa.ru/additional/09autoroads/highways_408.php (дата обращения: 22.03.19).

39. Методы зимнего содержания дорог в Финляндии: Пер. с англ. Е.А. Алексеевой / Под ред. Е.Н. Баринаова, М.П. Костельова. – С.-Пб.: Дор. учеб.-инж. центр, 1995. – 66 с.

40. Ефимова, В. Л. Сравнение международного и российского опыта по уборке снега с дорог / В.Л. Ефимова, Д.О. Цыдыпова // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: Материалы Международной научно-технической конференции / Тюмень: Изд-во Тюм.Гос.Нефт.Ун-т, 2015. – С. 109-112.

41. Костырченко, В.А. Анализ проблем зимнего содержания автомобильных дорог / В.А. Костырченко, О.А. Петухова, Д.О. Цыдыпова // Транспортные и транспортно-технологические системы: материалы Международной научно-технической конференции, Тюмень, 18 апреля 2013 г. – Тюмень: Изд-во Тюменский индустриальный университет, 2013. – С. 95-97.

42. Самодурова, Т.В. Погодный мониторинг в системе оперативного управления зимним содержанием автомобильных дорог / Т.В Самодурова // обзорная информация. – Москва: Информавтодор. – 2006. – №. 2. – С. 45.

43. Мерданов, Ш. М. Ресурсосбережение при уборке снега в городских условиях [Электронный ресурс] / Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, В.Л. Ефимова, А.В. Балин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №1. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/2803.

44. Стукач, А. В. Техническое решение переоборудования фронтальных погрузчиков для уборки снега придомовых территорий [Электронный ресурс] / А.В. Стукач, А.В. Наумов, А.А. Соловьев // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2012. – №3 (21). – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17974861>.

45. Мерданов, Ш. М. Разработка раздвижного отвала снегоуборочной машины [Электронный ресурс] / Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, Е.В. Половников // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №3. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2015/3163.

46. Мерданов, Ш. М. Разработка конструкции отвала снегоуборочной машины для городских условий [Электронный ресурс] / Ш.М. Мерданов, В.В. Конев, В.В. Райшев, А.В. Балин // Инженерный вестник Дона. – 2015. – №4. – Режим доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2015/3272.

47. New Technology and Experimental Study on Snow-Melting Heated Pavement System in Tunnel Portal [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.hindawi.com/journals/amse/2015/706536/> свободный (дата обращения: 17.06.2018).

48. Mensah, K. Review of technologies for snow melting systems / K. Mensah, J. M Choi // *Journal of Mechanical Science and Technology*. – 2015. – V. 29 (12). – P. 5507-5521.
49. Тенденции развития. Группа Компаний «ИРВЕН» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.soyuzstroy.ru/iframe/docs/of._pismo_ob_biznes-missiyah.pdf (дата обращения: 25.12.2017).
50. Ассоциация мэров зимних городов мира [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://docplayer.ru/28834338-Associaciya-merov-zimnih-gorodov-mira-wwwcam-world-winter-cities-association-for-mayors-yanvar-2016-goda.html> (дата обращения: 16.10.2017).
51. Трофимова, И. Ф. Определение оптимального количества плужных снегоочистителей для механизированной очистки городских магистралей и аэродромов от свежеснегавпавшего снега / И. Ф. Трофимова // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. – 2011. – № 1. – С. 91-94.
52. Трофимова, И. Ф. Экономическое обоснование эффективности методики определения оптимального количества снегоуборочных машин для очистки городских территорий от снега и наледи / И. Ф. Трофимова // *Вестник московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)* – 2011. – № 2 (25). – С. 50-53.
53. Куляшов, А. П. Разработка рекомендаций по выбору рациональной структуры парка снегоуборочной техники / А.П. Куляшов, Ю.И. Молев // *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. – 2006. – №4. – С. 25-27.
54. Jing Wang. Snow removal resource location and allocation optimization for urban road network recovery: a resilience perspective / Wang Jing, Liu Haotian // *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*. – 2019. – №1 (10). – P. 395-408.
55. Hajibabai, L. Dynamic Snow Plow Fleet Management under Uncertain Demand and Service Disruption / L. Hajibabai, Y. Ouyang // *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*. – 2016. – V. 9 (17). – P. 2574–2582.

56. Лобкина, В. А. Современные и традиционные способы уборки снега / В. А. Лобкина // Геодинамические процессы и природные катастрофы: сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, Владивосток, 26-30 мая 2015. – Владивосток: Изд-во Фед.Гос.Унит.Пред. Изд-во Дальнаука, 2015. – С. 388-390.

57. Чурсин, А.И. Экологическое состояние территории полигона складирования снежных масс и его воздействие на окружающую среду / А.И. Чурсин, А.В. Киналь // Астраханский вестник экологического образования. – 2019. – №. 4. – С. 54-59.

58. Ушакова, Н.С. Правовые основы землеустройства площадок размещения снега с улиц города на примере города Томска // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 апреля 2015 г. —Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 1. – С. 556-559.

59. Рымарь, М.А. Совершенствование способов утилизации снега в г. Барнауле / М.А. Рымарь, С.А. Ульрих, Д.Ю. Каширский // Организация и безопасность дорожного движения: материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения д.т.н., профессора Л. Г. Резника, Тюмень, 16 марта 2017 г. – Тюмень: Изд-во Тюменский индустриальный университет, 2017. – С. 239-242.

60. Шаруха, А. В. Обоснование применения модульной снегоплавильной установки, для утилизации снега с территорий жилых домов и торговых центров / А.В. Шаруха, В. О. Довбыш, В.П. Шитый, С.В. Стрельбицкая // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 6. – С. 354.

61. Пивоваров, А.С. Систематизация снегоплавильных установок / А.С. Пивоваров, Д.А. Коротков, Е.В. Корепанов // Энергоресурсосбережение в промышленности, жилищно-коммунальном хозяйстве и агропромышленном комплексе: материалы регионального научно-практического семинара, Ижевск: Изд-во ИННОВА, 2016. – С. 212-215.

62. Дерюшева, Н.Л. Оптимизация работы снегоплавильных сооружений / Н.Л. Дерюшева // Вестник российского университета дружбы народов. – 2016. – №1. – С. 46-51.

63. В Омске нет денег на снегоплавильные машины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.omskinform.ru/news/104654> (дата обращения: 09.11.2018).

64. Власти Томска отказались от покупки снегоплавильной установки [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://news.vtomske.ru/news/134555-vlasti-tomska-otkazalis-ot-pokupki-snegoplavilnoi-ustanovki> (дата обращения: 22.10.2018).

65. Снег пойдет: эксперты оценили, грозят ли дорогам Новосибирска проблемы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://nsk.rbc.ru/nsk/18/10/2017/59e5deae9a7947917eb83fff>, свободный (дата обращения: 20.01.2018).

66. Снегоплавильную станцию №1 могут законсервировать [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ksonline.ru/248935/sneg-kotoryj-taet-sam/> (дата обращения: 22.12.2018).

67. Цыдыпова, Д.О. К вопросу о повышении эффективности уборки снега с дорог / Д.О. Цыдыпова, О.А. Петухова // Новые технологии - нефтегазовому региону: сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием, Тюмень, 16-18 мая, 2014. Тюмень: Изд-во Тюм. Инд.Ун-т, 2014. – С. 329-330.

68. Макарычев, Е.А. Анализ производственных процессов по уборке дорожного полотна в зимнее время в условиях мегаполиса / Е.А. Макарычев // Современное состояние, проблемы и перспективы развития отраслевой науки: материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, Москва: Изд-во «Перо», 2016. – С. 339-342.

69. Бакланов, Ю.В. Совершенствование организации зимнего содержания автомобильных дорог на основе расчета цикличности работ: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Бакланов Юрий Владимирович. – Воронеж, 2014. – 136 с.

70. Cohen, S.J. User oriented climatic information for planning a snow removal budget / S. J. Cohen // *Journal of Applied Meteorology*. – 1981. – V. 20 (12). – P. 1420-1427.

71. Мальцев, А.В. Методы моделирования на GPU снега и дождя в имитационно-тренажёрных комплексах / А.В. Мальцев // *Труды научно-исследовательского института системных исследований Российской академии наук*. – 2015. – Т. 5. № 2. – С. 42-46.

72. Медведев А.Н., Медведев М.А. О применении подхода land use regression для моделирования площадного загрязнения снега при малом количестве точек наблюдений / А.Н. Медведев, М.А. Медведев // *Российские регионы в фокусе перемен: Сборник докладов XI Международной конференции. В 2-х томах, Екатеринбург, 17-19 ноября, 2017. – Екатеринбург: Изд-во ООО «Издательство УМЦ УПИ», 2017. – С. 487-494.*

73. Сызганов, В. С. Имитационное моделирование накопления снега на различных поверхностях / В.С. Сызганов // *Решетневские чтения*. – 2011. – Т.2, № 15. – С. 640.

74. Коденцева, Ю.В. Информационное моделирование организации работ по зимнему содержанию региональной сети автомобильных дорог / Ю.В. Коденцева, М.Е. Сизов, В. В. Голубенко // *Образование. Транспорт. Инновации. Строительство: сборник материалов II Национальной научно-практической конференции, Омск, 18-19 апреля 2019 г. – Омск: Изд-во: Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет (СибАДИ), 2019. – С. 482-487.*

75. Боброва, Т. В. Моделирование решений по снегоочистке городской улично-дорожной сети в многоагентной системе [Электронный ресурс] / Т.В. Боброва, И.В. Слепцов // *Вестник СибАДИ*. – 2013. – № 5 (33). – Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20679648>.

76. Ганченко, О. И., Телушкина, Е. К. Организационно-методический подход к повышению эффективности организации управления транспортно-технологическим комплексом по уборке и утилизации снега в крупных городах /

О.И. Ганченко, Е.К. Телушкина // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2015. – № 1 (40). – С. 74-81.

77. Телушкина, Е.К. Организационно-экономические методы повышения эффективности функционирования транспортно-технологического комплекса уборки и утилизации снега: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Телушкина Елена Константиновна. – М., 2013. – 177 с.

78. Дегтярева, Н.А. Разработка управленческих решений. – Томск: Изд-во Том. Ун-та. – 2018. – 100 с.

79. Балдин, К.В. Управленческие решения / К.В. Балдин. – Москва.: Дашков и К, 2015. – 495 с.

80. Лаврушина, Е. Г. Теория систем и системный анализ: учебный комплекс / Е.Г. Лаврушина, Н.Л. Слугина. – Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2007. – 168 с.

81. Ким, С.А. Теория управления / С.А. Ким. – Москва.: Дашков и К, 2016. – 240 с.

82. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – Москва: Мир, 1984. – 264 с.

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

84. 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.

85. 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.

86. 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, Томск, 2018г. – Томск: Из-во ТУСУРа, 2018. – С. 585-587.

87. 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.

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

89. 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.

90. 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.

91. 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.

92. Дмитриев, В.М. Компьютерное моделирование процесса уборки и вывоза снега / В.М. Дмитриев, Т.Е. Григорьева // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири (СИБРЕСУРС-2015): доклады (материалы конференции) 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.

93. Дмитриев, В.М. MAPC – среда моделирования технических устройств и систем / В.М. Дмитриев, А.В. Шутенков, ТН. Зайченко, Т.В. Ганджа. – Томск: В-Спектр, 2011. – 278 с.

94. Dmitriev, V. M. Computer simulation of the visual interface in virtual instruments and devices / V. M. Dmitriev, T. V. Gandzha, V. V. Gandzha, Panov S.A. // Scientific Visualization. – 2016. – V.8 (3). – P. 111-131.

95. Дмитриев, В.М., Ганджа, Т.В. Среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических систем / В.М. Дмитриев, Т.В. Ганджа. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2017. – 332 с.

96. Котов, В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – Москва.: Наука, 1984. – 160 с.

97. Лескин, А.А. Сети Петри в моделировании и управлении / А.А. Лескин, П.А. Мальцев А.М. Спиридонов. – М.: Наука, 1989. – 133 с.

98. Григорьева, Т.Е. Имитационное моделирование цветных сетей Петри / Под ред. Е.В. Истигчевой // 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.

99. 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.

100. Дмитриев, В.М. Интерпретация сетей Петри в метод компонентных цепей / В.М. Дмитриев, Е.В. Истигчева, 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.

101. 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.

102. Методические рекомендации по определению нормативов финансовых затрат на содержание, ремонт и капитальный ремонт автомобильных дорог местного назначения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.lawru.info/dok/2012/01/01/n180038.htm> (дата обращения: 21.04.2019).

103. Архив погоды в Томске [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Томске (дата обращения: 09.12.2017).

104. Снег на голову: как власти Томска "вывозят" проблему [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.riatomsk.ru/article/20170111/uborka-snega-tomsk-reshenie-problemi/> (дата обращения: 20.02.2018).

105. Томичи оценили уборку города от снега. Опрос [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://tv2.today/News/Tomichi-ocenili-uborku-goroda-ot-snega-opros> (дата обращения: 03.02.2019).

106. Результаты опроса: томичи недовольны уборкой снега [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tomsk.ru/news/view/138093> (дата обращения: 07.02.2019).

107. Официальный портал МО «Город Томск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/8cy> (дата обращения 17.09.17).

108. УМП «Спецавтохозяйство г. Томска» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sahtomsk.ru/> (дата обращения: 10.04.18).

109. Тебекин, А.В. Управление организацией / А.В. Тебекин, В.Б. Мантусов. – Москва: Российская таможенная академия, 2016. – 312 с.

110. Как это работает: уборка снега с улиц Томска [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://obzor.westsib.ru/article/437508> (дата обращения: 16.02.2018).

111. АвтоГРАФ Система спутникового мониторинга и контроля транспорта [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:АвтоГРАФ_Система_спутникового_мониторинга_и_контроля_транспорта (дата обращения: 05.12.2018).

112. САХ: денег на вывоз снега из Томска может не хватить [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.riatomsk.ru/article/20160929/sah-deneg-na-vivoz-snega-iz-tomska-mozhet-ne-hvatitj/> (дата обращения: 19.11.2018).

113. 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.

114. 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.

115. 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.

116. В России ужесточают требования к содержанию дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roszimdor.ru/press-tsentr/publikacii-ehkspertov/v-rossii-uzhestochayut-trebovaniya-k-soderzhaniyu-dorog/> (дата обращения: 02.04.2018).

117. Ассоциация зимнего содержания дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://roszimdor.ru/deyatelnost/meropriyatiya/proshedshie-sobytiya/kruglyuy-stol-novye-tekhnologii-zimnego-soderzhaniya-avtomobilnykh-dorog/> (дата обращения: 09.04.2018).

118. Мартынова, Ю.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта / Ю.А. Мартынова, Я.А. Мартынов, Е.А. Кочегурова // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, Тамбов, 28 февраля, 2018. – Тамбов: Изд-во ООО "Консалтинговая компания Юком". – С. 81-82.

119. Гиндуллин, Р.В. Оптимизация маршрута доставки однородного груза от множества производителей множеству потребителей: автореф. ...канд.физ.-мат.наук: 05.13.01 / Гиндуллин Рамиз Вилевич. – Уфа., 2014. – 147 с.

120. Гаваев, А.С. Оптимизация маршрутов движения снегоуборочной техники / А.С. Гаваев // Новые технологии - нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых / Тюмень: Изд-во Тюмен. Инд. Ун-т, 2014. – С. 273-275.

121. Майника, Э. Алгоритмы оптимизации на сетях и графах /Под ред. Е.К. Масловского. – М: Мир, 1981. – 322 с.

122. Дискретная математика: учебное пособие, руководство по изучению дисциплины / Э.Л. Балюкевич, Л.Ф. Ковалева, А.Н. Романников. – М: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2007. – 125 с.

123. Сафронов, Э.А. Транспортные системы городов и регионов: учебное пособие / Э.Ф. Сафронов. – М.: Ассоциации строительных ВУЗов, 2005. – 272 с.

124. Основы теории транспортных систем: учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, 2010. – 214 с.

125. John M. Harris. Combinatorics and graph theory. Second Edition / John M. Harris, Jeffrey L. Hirst, Michael Mossinghoff. – NY: Springer Science+Business Media, 2008. – 381 p.

126. Perrier, N. Vehicle routing for urban snow plowing operations / N.Perrier, A. Langevin // Transportation science. – 2008. – V.42 (1). – P. 44-56.

127. 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.

128. 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.

129. Панов, С.А. Интеграция среды MAPC 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.

130. Григорьева, Т.Е. Методика моделирования систем массового обслуживания в среде моделирования MAPC / 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.

131. 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.

132. Ивченко, Г.И. Теория массового обслуживания: Учеб. пособие для вузов / Г.И. Ивченко, В.А. Каштанов, И.Н. Коваленко. – М.: Высшая Школа, 1982. – 256 с.

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

134. Тюпаков, С.В. Разработка метода проектирования организации зимнего содержания городских дорог: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.14 / Тюпаков Сергей Викторович. – Киев, 1987. – 153 с.

135. ГОСТ 33181-2014 Дороги автомобильные общего пользования. Требования к уровню зимнего содержания. – М: Стандартинформ, 2016. – 8 с.

136. Строительные нормы и правила 2.05.02-85*. Автомобильные дороги [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200258> (дата обращения: 11.03.2019).

137. Райгородская, В.С. Экономические предпосылки оптимизации зимнего содержания автомобильных дорог в крупных городах: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05 / Райгородская Виктория Станиславовна. – М., 1999. – 190 с.

138. Уфимцева, Е.В. Исследование влияния инфраструктуры городского хозяйства на региональное социально-экономическое развитие / Е.В. Уфимцева, И.В. Волчкова, Ю.В. Подопригора, М.Н. Данилова, Н.Р. Шадейко, А.А. Селиверстов // Региональная экономика: теория и практика. – 2017. – Т. 15. – № 2 (437). – С. 237–253.

139. Шадейко, Н.Р. Аспекты практической реализации алгоритма оценки комплексного развития инфраструктуры городского хозяйства / Н.Р. Шадейко, А.А. Селиверстов, Е.В. Уфимцева, И.В. Волчкова, М.Н. Данилова, Ю.В. Подопригора // Сибирская финансовая школа. – 2016. – №6 (119). – С. 11-14.

140. Уфимцева, Е.В. Формирование системы показателей оценки комплексного развития городской инфраструктуры / Е.В. Уфимцева, И.В.

Волчкова, М.Н. Данилова, Н.Р. Шадейко, Ю.В. Подопригора, А.А. Селиверстов // Вопросы управления. – 2016. – №3 (21). – С. 81-91.

141. Соловьева, Н.Е. Исследование талой воды (снега) как показатель загрязнения атмосферы урбанизированной среды / Н.Е. Соловьева, Е.А. Олькова, А.А. Алябьева, О.В. Краева // Молодой ученый. – 2015. – №14. — С. 668-672.

142. Gavazova, K. Winter ecology of a subalpine grassland: Effects of snow removal on soil respiration, microbial structure and function / K. Gavazova, J. Ingrischb, R. Hasibederb, R.T.E. Millsc, A. Buttlerdef, G. Gleixnerg, J. Pumpanenh, M. Bahnb // Science of the Total Environment. – 2017. –Vol. 590–591. – P. 316-324.

143. Стратегическая сессия дизайн-мышления по созданию регионального центра компетенций по вопросам городской среды в Томской области [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://leader-id.ru/event/9047/> (дата обращения: 20.06.2018).

144. Стратегия социально-экономического развития Томской области до 2030 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://tomsk.gov.ru/ctrategija-sotsialno-ekonomicheskogo-razvitija-tomskoj-oblasti-do-2030-goda> (дата обращения: 27.06.2018).

145. Минавтодор РСФСР. Инструкция по учету потерь народного хозяйства от дорожно-транспортных происшествий при проектировании автомобильных дорог [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200006797> (дата обращения: 14.04.2019).

146. Верзилин, В.А. Социально-экономические потери от ДТП / А.В. Верзилин // Воронежский научно-технический вестник. – 2009. – №1 (19). – С. 48-53.

147. Показатели состояния безопасности дорожного движения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 27.03.2019).

148. Евтюков, С.А. Влияние факторов на сцепные качества покрытий автомобильных дорог / С.А. Евтюков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 3. – 97 с.

149. Минтранс РФ. Распоряжение Минтранса РФ от 14.03.2008 N АМ-23-р "Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте" [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/12059439/> (дата обращения: 19.04.2019).

150. Системы поддержки принятия решений [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://bourabai.ru/tpoi/dss.htm> (дата обращения: 17.09.2018).

151. Кудж, С. А. Закономерности информационного поля: монография / С. А. Кудж, В. Я. Цветков. - Москва: МАКС Пресс, 2017. – 77 с.

152. Ильченко, Е.Н. Управленческое решение: разработка, принятие и реализация / Е.Н. Ильченко, С.А. Суркова. – Курган: Курганский государственный университет, 2016. – 124 с.

153. 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.

154. Uusitaloa, L. An overview of methods to evaluate uncertainty of deterministic models in decision support / L. Uusitaloa, A. Lehtikoinenb, I. Hellec, K. Myrberga // Environmental Modelling & Software. – 2015. – V. 63. – P. 24–31.

155. Васильева, И.С. Эффективные методы и модели принятия управленческих решений / И.С. Васильева // Экономика и менеджмент инновационных технологий. – 2014. – № 3. – С. 13–15.

156. 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.

ПРИЛОЖЕНИЕ А. РЯД СУЩЕСТВУЮЩИХ КОМПОНЕНТОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ

На рисунках А.1-А.2 представлены компоненты «Измеритель» и «Источник физической величины».



Рисунок А.1 – Компонент «Измеритель»

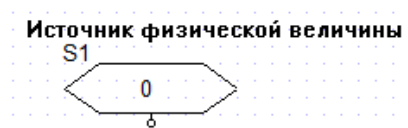


Рисунок А.2 – Компонент «Источник физической величины»

С помощью данных компонентов измеряются и передаются входные данные снегоуборочной техники с логического уровня на объектный.

На рисунках А.3-А.10 представлены компоненты сетей Петри в СМ МАРС. Компонент «Генератор фишек» имеет вид (рис. А.3):

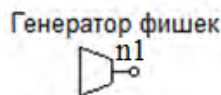


Рисунок А.3 – Компонент «Генератор фишек»

Данный компонент при помощи выхода *n1* без остановки подает по одной фишке через определенный промежуток времени. Промежуток времени между фишками задается пользователем в свойствах компонента.

Компонент «Временная задержка» имеет вид (рис. А.4):

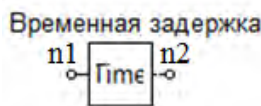


Рисунок А.4 – Компонент «Временная задержка»

Данный компонент задерживает пришедшую фишку с входа *n1* на заданное время. Время задержки указывается пользователем в свойствах компонента. При помощи выхода *n2* фишка передается далее по схеме.

Компонент «Счетчик» визуально выглядит так (рис. А.5):

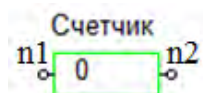


Рисунок А.5 – Компонент «Счетчик»

На вход $n1$ поступают фишки, при помощи выхода $n2$ фишки передаются далее по схеме. Данный компонент считает количество фишек, прошедших через него.

Компонент «Хранилище фишек» визуально выглядит так (рис. А.6):

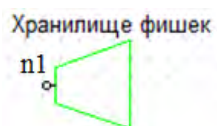


Рисунок А.6 – Компонент «Хранилище фишек»

Данный компонент представляет собой буфер данных и при помощи входа $n1$ собирает фишки в хранилище. При отсутствии фишек компонент зеленого цвета, при наличии – красного. Компонент отображается на объектном и логическом уровнях.

Компонент «Позиция 2 входа» имеет вид (рис. А.7):

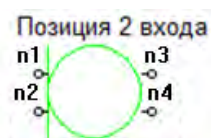


Рисунок А.7 – Компонент «Позиция 2 входа»

На входы $n1$ и $n2$ поступают фишки, на выходы $n3$ и $n4$ они соответственно передаются далее по схеме. Компонент срабатывает только при условии, что на двух входах есть фишки, в противном случае не срабатывает, а «ждет» фишку. При отсутствии фишки компонент зеленого цвета, при наличии одной – синего, при наличии двух - красного.

Компонент «Источник фишек по условию» визуально имеет вид (рис. А.8):



Рисунок А.8 – Компонент «Источник фишек по условию»

На вход n_1 подается условие дальнейшего прохождения фишки, что может быть осуществлено, например, с помощью компонента «Кнопка». Вход n_2 соответственно осуществляет передачу фишки другому компоненту.

На рисунке А.9 представлен компонент «Ожидающая позиция».

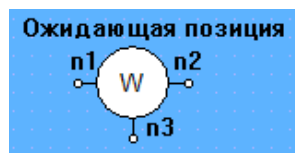


Рисунок А.9 – Компонент «Ожидающая позиция»

На вход n_1 данного компонента поступают фишки, а с помощью выхода n_2 они соответственно передаются далее по схеме. На вход n_3 подаются управляющие воздействия (например, условия перемещения техники, условия погрузки/разгрузки и пр.), благодаря которым и осуществляется передача фишек.

Компонент «Позиция установления» визуально имеет вид (рис. А.10):

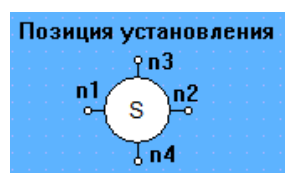


Рисунок А.10 – Компонент «Позиция установления»

На вход n_1 поступают фишки, через выход n_2 фишки отправляются далее по схеме. С помощью входа n_4 принимаются входящие значения снегоуборочной техники, на выходе n_3 значения отправляются далее.

На рисунке А.11 представлены компоненты блока «Математические компоненты».

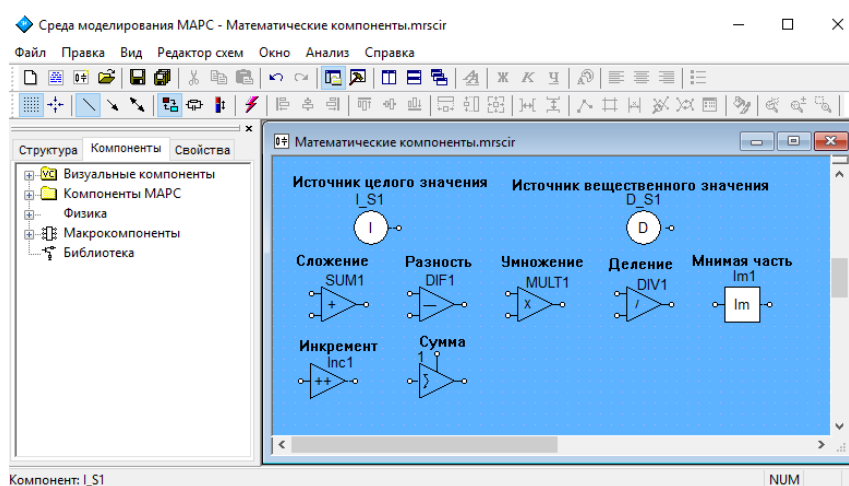


Рисунок А.11 – Компоненты блока «Математические компоненты»

С помощью данных компонентов определяется необходимое количество противогололедных материалов; фиксируется время, затрачиваемое на выполнение соответствующего события; рассчитываются экономические затраты и т.д.

На рисунке А.12 представлены компоненты блока «Операторы сравнения».

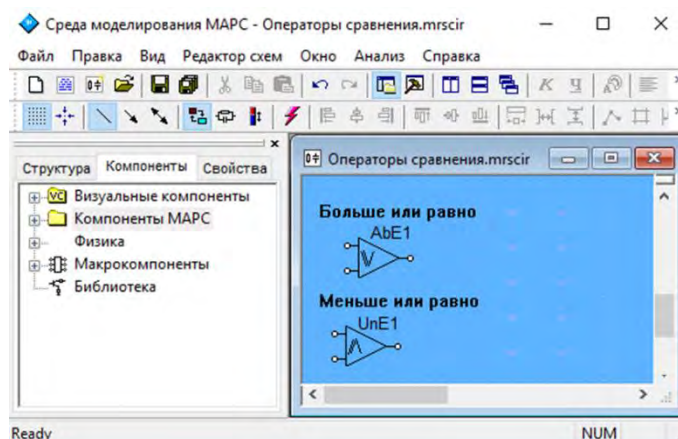


Рисунок А.12 – Компоненты блока «Операторы сравнения»

Посредством этих компонентов осуществляется расчет длины посыпаемой улицы; происходит сравнение измеряемого и заданного расстояния движения/посыпки/уборки; формируются условия погрузки/разгрузки снега.

Компонент «Накопитель» визуально выглядит так (рис. А.13):

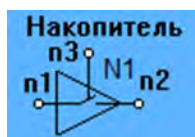


Рисунок А.13 – Компонент «Накопитель»

На вход $n1$ данный компонент получает некоторое значение любого типа данных; выход $n2$ служит для передачи значения при условии получения истинного значения на узел $n3$; узел $n3$ предназначен для получения значения логического типа данных, регулирующего процесс передачи на узел $n2$ значения, полученного на узел $n1$.

Компонент «Логическое отрицание» визуально выглядит так (рис. А.14):

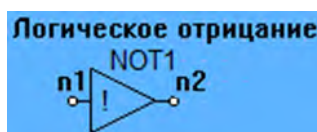


Рисунок А.14 – Компонент «Логическое отрицание»

На вход $n1$ данный компонент получает некоторое значение логического, целочисленного или вещественного типа данных; выход $n2$ служит для передачи полученного значения, подверженного логическому отрицанию.

На рисунке А.15 представлен компонент «Вывод времени моделирования» блока «Управление моделированием».

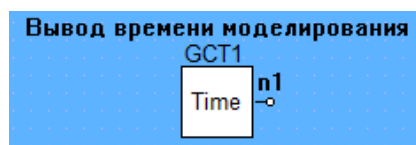


Рисунок А.15 – Компонент «Вывод времени моделирования»

Данный компонент предназначен для фиксирования времени моделирования. С помощью выхода $n1$ можно зафиксировать время в любой момент, например, начальное и конечное время моделирования.

Компонент «Генератор транзактов» визуально имеет вид (рис. А.16):

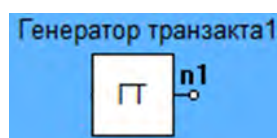


Рисунок А.16 – Компонент «Генератор транзактов»

Данный компонент по $n1$ передает транзакты, но перед этим в нем необходимо заполнить информацию с тегами, которая будет являться результатом моделирования. Применительно, к основным этапам процесса снегоуборки с помощью данного компонента формируются их экономические затраты.

На рисунке А.17 представлен компонент «Заполнитель параметров».

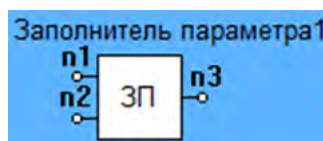


Рисунок А.17 – Компонент «Заполнитель параметров»

Узел $n1$ – принимает транзакты, $n3$ – передает транзакты, а на узел $n2$ – прописывается условие или константа. В свойствах компонента необходимо указать имя тега, который необходимо заполнить. Относительно этапов процесса снегоуборки, с помощью данного компонента задаются исходные данные экономических затрат в виде статических или динамических значений.

Для визуализации результатов моделирования основных этапов процесса снегоуборки применяется блок «Визуальные компоненты» (рис. А.18).

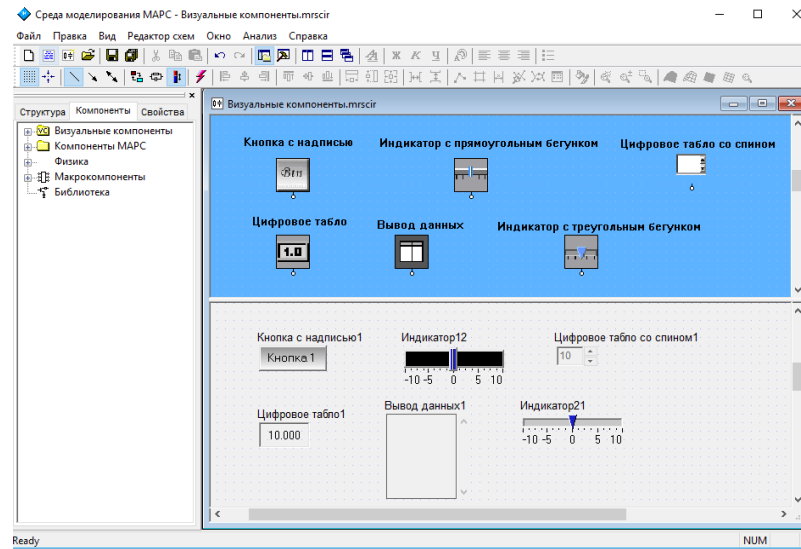
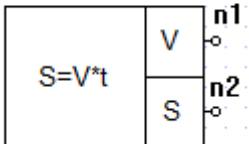


Рисунок А.18 – Компоненты блока «Визуальные компоненты»

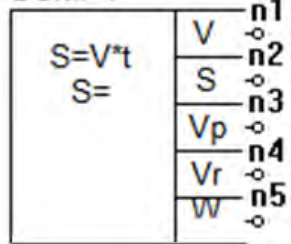
Данные компоненты представляются на нескольких уровнях, либо на объектном и визуальном, либо на логическом и визуальном. Благодаря таким компонентам предоставляется возможность варьирования исходных данных, отображения результатов моделирования в более удобной и наглядной форме и т.д.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ПЕРЕЧЕНЬ РАЗРАБОТАННЫХ КОМПОНЕНТОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ ПОСТРОЕНИИ КОМПЛЕКСА ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ

Таблица Б.1 – Перечень разработанных компонентов, применяемых при построении комплекса имитационных моделей процесса снегоуборки

№	Имя компонента и его графическое представление	Математическая модель компонента	Параметры компонента	Переменные компонента	Назначение компонента
<i>Компоненты процесса снегоуборки</i>					
1.	Снегоуборочная машина/ Пескоразбрасыватель 	$\frac{dS_{\text{Сизм.}}}{dt} = v$ процесс движения/уборки/посыпки имитируется до тех пор, пока $S_{\text{Сизм.}} \leq S_{\text{Зад.}}$	$S_{\text{Зад.}}$ – заданный путь снегоуборочной машины/пескоразбрасывателя, который задается на логическом уровне, км.	$S_{\text{Сизм.}}$ – измеряемый, пройденный путь снегоуборочной машиной/пескоразбрасывателем, который подается на вход n_2, км; v – скорости движения снегоуборочной машины/пескоразбрасывателя, фиксируются с помощью входа n_1 и задаются на логическом уровне, км/ч; t – время, накапливаемое при прохождении заданного пути движения/уборки/посыпки, ч.	Имитирует процесс движения/уборки/посыпки снегоуборочной техники

2.

Самосвал
DUMP1

$$\frac{dS_{\text{сизм.}}}{dt} = v$$

процесс движения имитируется до тех пор, пока $S_{\text{сизм.}} \leq S_{\text{зад.}}$

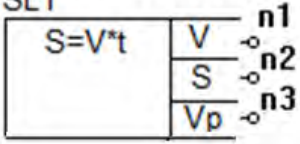
$$\frac{dW_{\text{сн.}}}{dt} = v_p - v_r$$

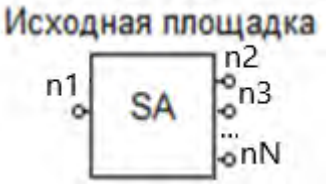
процесс погрузки имитируется при его взаимодействии со снегопогрузчиком до тех пор, пока $W_{\text{сн.}} \leq V_{\text{куз.}}$, $v_p > 0$;
 процесс разгрузки имитируется до тех пор, пока $W_{\text{сн.}} = 0$, $v_r > 0$.

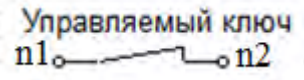
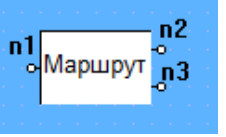
$S_{\text{зад.}}$ – заданный путь самосвала, который задается на логическом уровне, км;
 $V_{\text{куз.}}$ – объем кузова самосвала, задается на логическом уровне, м³.

$S_{\text{сизм.}}$ – измеряемый, пройденный путь самосвалом, который подается на вход n₂, км;
 v – скорость движения самосвала, фиксируется с помощью входа n₁ и задается на логическом уровне, км/ч.;
 v_p – скорость погрузки, которая выражается в виде фактической производительности снегопогрузчика и задается при его взаимодействии с самосвалом с помощью входа n₃, м³/ч.;
 v_r – скорость разгрузки, которая выражается в виде производительности самосвала при разгрузке, фиксируется с помощью входа n₄ и задается на логическом уровне, м³/ч.
 t – время, накапливаемое при прохождении заданного пути движения, при осуществлении

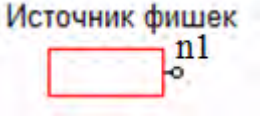
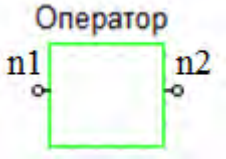
Имитирует процесс движения/погрузки и/разгрузки самосвала

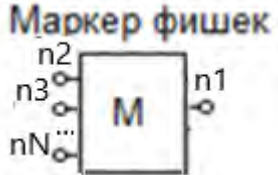
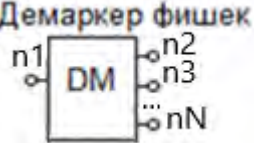
				погрузки/разгрузки снега, ч.; $W_{\text{сн.}}$ – объем снега, загруженного в самосвал, который подается на вход n_5 , м^3 .	
3.	Снегопогрузчик SL1 	$\frac{dS_{\text{сизм.}}}{dt} = v$ процесс движения имитируется до тех пор, пока $S_{\text{сизм.}} \leq S_{\text{зад.}}$ $v = v_p$ процесс погрузки имитируется при его взаимодействии с самосвалом.	$S_{\text{зад.}}$ – заданный путь снегопогрузчи ка, который задается на логическом уровне, км.	$S_{\text{сизм.}}$ – измеряемый, пройденный путь снегопогрузчика, который подается на вход n_2 , км; t – время, накапливаемое при прохождении заданного пути движения, при осуществлении погрузки снега, ч.; v – скорость движения снегопогрузчика, фиксируется с помощью входа n_1 и задается на логическом уровне, км/ч; v_p – скорость погрузки, которая выражается в виде его фактической производительности, фиксируется с помощью входа n_3 и задается на логическом уровне, $\text{м}^3/\text{ч}$.	Имитирует процесс движения/погрузк и снегопогрузчика

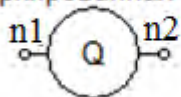
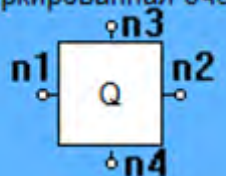
4.		$\frac{dS_{\text{пол.}}}{dt} = \sum_{i=2}^N V_{\text{прив. сн.}}$ ($V_{\text{прив. сн.}}$ - объем привезенного снега, передается с помощью компонента «Самосвал» на входы $n_2, n_3, \dots, n_N, \text{ м}^3$, где N – количество самосвалов, прибывших на разгрузку, шт.)	-	Спол. – состояние полигона, которое пополняется при разгрузке снега самосвалами и отображается с помощью выхода $n_2, \text{ м}^3$.	Имитирует место складирования снега путем взаимодействия с компонентом «Самосвал». Данный компонент является многовходовым, т.е. к нему можно подсоединить неограниченное количество самосвалов.
5.		$\frac{dS_{\text{сисх. пл.}}}{dt} = S_{\text{зад.}} - \sum_{i=2}^N V_{\text{загр. сн.}}$ ($V_{\text{загр. сн.}}$ передается от компонента «Самосвал», N – количество самосвалов, прибывших на погрузку, шт.)	$S_{\text{зад.}}$ – объем снега, подлежащего уборке на исходной площадке, задается в свойствах этого компонента, м^3.	Сисх. пл. – текущий объем снега на исходной площадке, который уменьшается при погрузке снега в самосвал и отображается с помощью входа $n_1, \text{ м}^3$.	Имитирует место уборки путем взаимодействия с компонентом «Самосвал». Компонент является многовыходовым, т.е. к нему можно подсоединить неограниченное количество самосвалов.

6.	 Управляемый ключ n1 — n2	$K_{упр.} = \begin{cases} 0, \text{ если самосвал} \\ \text{не прибыл к месту} \\ \text{погрузки} \\ 1, \text{ если самосвал} \\ \text{прибыл к месту} \\ \text{погрузки} \end{cases}$	-	Купр. – значение управляемого ключа, которое определяется при взаимодействии с компонентом «Самосвал» с помощью выхода n2 и передается компоненту «Снегопогрузчик» посредством входа n1	Обеспечивает взаимодействие снегопогрузчика и самосвала(ов) путем выстраивания их в очередность погрузки
7.		$N1 = (v1, S1)$ $N2 = (v2, S2)$ $\dots$ $Nm = (vm, Sm)$	v – скорости движения техники, что передается из БД с помощью выхода n₂, км/ч.; S – расстояния движения техники, которые передаются из БД при помощи выхода n₃, км; m – количество маршрутов, шт.	N - номер маршрута, значение которого передается по схеме при помощи входа n₁	Предназначен для имитации процесса движения посредством взаимодействия с БД, в которой зафиксированы скорости и расстояния движения

Компоненты сети Петри

8.		$Cf_{тек.} = Cf_{зад.} - 1$ Компонент прекращает подачу фишек, когда $Cf_{тек.} = 0$	$Cf_{зад.}$ - количество фишек, заданных пользователем в свойствах компонента, которое передается по схеме с помощью выхода $n1$, шт.; $T_{зад.}$ – промежуток подачи фишек, который задается пользователем в свойствах компонента, ч.	$Cf_{тек.}$ - текущее количество неотправленных фишек, шт.	Предназначен для подачи определенного количества фишек и через определенный промежуток времени, что задается пользователем.
9.		$Vn1 = \begin{cases} 0, \text{ фишка на обработку не прибыла} \\ 1, \text{ фишка прибыла на обработку} \end{cases}$ $Vn2 = \begin{cases} 0, \text{ фишка обрабатывается} \\ 1, \text{ фишка обработана и готова к отправке} \end{cases}$	$T_{обр.}$ - время обработки одной фишки, задается пользователем в свойствах компонента, ч.	$Vn1$ – пришедшие фишки посредством входа $n1$; $Vn2$ – отправляемые фишки при помощи выхода $n2$.	Предназначен для имитирования обработки пришедших фишек

10.		$\begin{pmatrix} Vn2 \\ Vn3 \\ \dots \\ VnN \end{pmatrix} \rightarrow Vn1$	-	$Vn2, Vn3, \dots, VnN$ - пришедшие потоки фишек посредством входа $n1$; $Vn1$ - отправляемый поток фишек посредством выхода $n2$.	Предназначен для объединения нескольких входящих потоков фишек в один поток. Данный компонент отображается на объектном и логическом уровнях.
11.		$Vn1 \rightarrow \begin{pmatrix} Vn2 \\ Vn3 \\ \dots \\ VnN \end{pmatrix}$	-	$Vn1$ – пришедший поток фишек посредством входа $n1$; $Vn2, Vn3, \dots, VnN$ - отправляемые потоки фишек посредством выхода $n2$;	Предназначен для разъединения одного входящего потока фишек на несколько выходящих потоков. Данный компонент отображается на объектном и логическом уровнях.

12.	На объектном уровне:  На логическом уровне: 	$V_{n1} = \begin{cases} 0, \text{ фишка не пришла} \\ 1, \text{ фишка прибыла} \end{cases}$ $V_{n2} = \begin{cases} 0, \text{ фишка передается далее} \\ 1, \text{ фишка встает в очередь} \end{cases}$ Количество фишек в очереди на объектном уровне фиксируется внутри компонента, на логическом уровне отображается при помощи выхода n3.	-	V_{n1} – пришедшие фишки посредством входа n1; V_{n2} – отправляемые фишки при помощи выхода n2. На логическом уровне при помощи входа n4 подается команда срабатывания маркированной очереди.	Предназначена для отображения количества фишек в очереди. Данный компонент отображается на объектном и логическом уровнях.
-----	--	--	---	--	---

ПРИЛОЖЕНИЕ В. ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЗИМНЕГО ПЕРИОДА В ГОРОДАХ СИБИРСКОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО ОКРУГА

Таблица В.1 – Продолжительность зимнего периода в городах сибирского федерального округа

<i>Центры регионов</i>	<i>Продолжительность содержания автомобильных дорог в зимний период</i>			<i>Число дней с возможными случаями образования зимней скользкости</i>
	<i>Средняя дата начала</i>	<i>Средняя дата окончания</i>	<i>Продолжительность периода, дни</i>	
Новосибирск	22.10	17.04	178	98
Омск	20.10	14.04	177	68
Красноярск	23.10	08.04	168	66
Иркутск	16.10	13.04	180	63
Томск	08.10	17.04	183	105
Кемерово	19.10	18.04	182	87
Улан-Удэ	14.10	12.04	181	40
Чита	14.10	15.04	184	25

ПРИЛОЖЕНИЕ Г. ПЕРЕЧЕНЬ УЛИЦ, ЗАКРЕПЛЕННЫХ ЗА СПЕЦАВТОХОЗЯЙСТВОМ

В городе Томске выделяют 4 района города: Кировский, Октябрьский, Советский и Ленинский. Для определения сроков удаления снега и проведения зимних работ по уборке снега с городских дорог их подразделяют на три категории:

I категории - выездные магистрали; все улицы с интенсивным движением, имеющие троллейбусные и автобусные линии; улицы, имеющие уклоны, сужение проездов, где снежные валы особенно затрудняют движение транспорта;

II категории - улицы со средней интенсивностью движения городского транспорта; площади перед вокзалами, зрелищными предприятиями, магазинами, рынками и прочими местами с интенсивным пешеходным движением;

III категории - улицы города с небольшой интенсивностью движения транспорта.

Ниже на рисунках Г.1-Г.4 представлена площадь убираемой территории САХа согласно категориям дорог и районам города.



Рисунок Г.1 – Площадь убираемой территории Кировского района



Рисунок Г.2 – Площадь убираемой территории Октябрьского района



Рисунок Г.3 – Площадь убираемой территории Советского района



Рисунок Г.4 – Площадь убираемой территории Ленинского района

ПРИЛОЖЕНИЕ Д. МАТРИЦА РАССТОЯНИЙ ГРАФА МАРШРУТА ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ПРИ УБОРКЕ СНЕГА Г. ТОМСКА

Таблица Д.1 – Матрица расстояний графа маршрута транспортной сети при уборке снега г. Томска для дорог I категории

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	0
0	0,00	4,69	5,38	4,49	4,76	4,47	5,04	5,09	7,41	4,92	5,46	4,02	6,27	3,80	8,32	4,32	5,76	6,20	9,17	8,32	5,46	8,89	10,74	8,90	5,26	5,94	8,15	9,28	0,00
1	6,46	0,00	0,00	3,75	3,91	4,12	3,44	2,31	2,04	3,11	3,57	3,78	2,74	4,30	4,79	3,08	2,23	2,28	2,96	2,94	1,94	3,51	5,35	3,52	1,32	0,64	4,65	5,78	6,46
2	5,81	0,82	0,00	3,58	3,86	3,96	3,38	2,60	2,87	2,94	3,89	3,61	3,44	5,49	4,12	1,84	2,94	1,45	4,35	3,77	2,63	4,35	6,20	4,36	0,73	1,45	5,36	6,48	5,81
3	5,13	4,33	3,86	0,00	0,00	0,29	0,47	2,83	5,89	0,91	0,98	0,67	2,60	0,92	4,33	1,95	1,70	5,65	6,80	5,78	2,49	6,35	8,20	6,47	4,93	4,50	4,20	5,32	5,13
4	4,94	4,06	3,67	0,00	0,00	0,37	0,94	2,47	5,72	0,66	1,08	0,40	2,30	0,65	4,15	1,70	1,52	5,40	6,62	5,61	2,32	6,18	8,03	6,29	4,68	4,32	4,01	5,14	4,94
5	5,40	3,92	3,39	0,55	0,47	0,00	0,00	2,35	5,42	0,44	0,51	0,95	2,13	1,20	3,86	1,54	1,23	5,24	6,32	5,30	2,02	5,88	7,73	6,00	4,52	4,02	3,72	4,85	5,40
6	4,83	4,42	3,96	0,37	0,29	0,00	0,00	3,14	6,11	1,05	0,00	0,38	2,82	0,63	4,43	2,09	1,85	5,79	5,59	6,00	2,71	6,57	8,42	6,57	5,40	4,72	4,30	5,42	4,83
7	8,61	2,83	2,07	5,76	5,93	6,15	5,46	0,00	0,22	5,13	5,59	5,80	4,15	6,39	3,84	5,00	4,26	1,60	1,97	1,12	3,95	1,69	3,54	1,71	2,18	1,49	3,97	3,19	8,61
8	6,56	2,24	1,54	2,26	2,43	2,65	1,96	0,83	0,00	1,62	2,09	2,30	1,26	2,89	3,31	1,59	0,75	4,65	3,82	4,23	0,45	4,80	6,65	4,81	3,69	3,00	3,17	4,30	6,56
9	5,53	4,04	3,60	0,68	0,60	0,70	0,00	2,44	5,63	0,00	0,00	1,07	2,33	1,33	3,98	1,66	1,35	5,36	5,10	5,51	2,23	6,08	7,93	6,12	4,64	4,23	3,85	4,98	5,53
10	5,39	3,47	3,04	0,64	0,92	1,02	0,44	1,49	5,06	0,00	0,00	0,68	1,97	1,26	4,02	1,10	1,46	4,80	4,74	5,15	1,66	5,72	7,57	5,74	4,35	3,66	3,88	5,01	5,39
11	6,93	3,44	2,75	2,28	2,56	2,79	2,01	1,20	4,18	1,95	2,17	0,00	0,00	3,05	2,12	1,96	0,78	5,02	3,22	3,63	1,37	4,21	6,05	4,26	4,06	3,37	1,98	3,11	6,93
12	4,68	3,70	4,09	0,37	0,64	0,35	0,92	2,16	5,74	0,68	1,43	0,00	0,00	0,58	4,50	1,72	1,87	5,42	5,21	5,21	2,34	6,20	8,05	6,21	4,69	4,34	4,36	5,49	4,68
13	8,95	5,49	4,80	4,14	4,41	4,51	4,14	3,25	3,70	4,02	4,02	4,53	2,12	0,00	0,00	4,01	2,63	5,39	2,74	2,74	3,42	3,18	5,03	2,41	5,66	4,98	0,14	1,27	8,95
14	4,20	4,64	4,26	0,69	0,96	0,67	1,24	2,69	6,27	1,21	1,75	0,53	2,97	0,00	0,00	2,50	2,19	5,95	5,74	5,74	2,87	6,73	8,58	6,74	5,22	4,87	4,69	5,81	4,20
15	6,33	2,90	2,20	1,54	1,81	1,84	1,60	0,65	4,23	1,43	1,47	1,94	0,97	2,19	2,82	0,00	0,04	4,48	5,28	5,28	0,83	4,83	6,68	4,84	3,52	2,87	2,68	3,81	6,33
16	5,69	2,38	2,20	1,74	2,01	2,11	1,54	0,77	4,23	1,10	2,05	1,77	1,94	2,80	4,00	0,00	0,00	3,70	4,50	4,50	1,14	5,48	7,33	5,50	2,98	2,83	3,86	4,98	5,69
17	10,09	4,32	3,56	5,90	6,10	6,28	5,88	4,47	1,70	5,27	5,76	5,94	3,94	6,52	2,60	5,24	4,38	0,00	0,74	0,74	4,65	0,00	3,03	0,47	3,66	2,98	2,74	1,96	10,09
18	7,21	1,39	2,33	5,16	5,43	5,54	4,96	4,17	1,72	4,52	5,47	5,19	4,46	5,78	5,34	3,42	4,84	0,00	0,00	2,62	4,54	3,20	5,05	3,21	0,98	1,66	5,48	4,70	7,21
19	6,26	2,63	1,94	1,80	1,96	2,17	1,48	0,58	4,15	1,35	1,61	1,83	0,78	2,41	2,84	1,34	0,28	4,40	3,56	0,00	0,76	4,54	6,39	4,55	3,44	2,76	2,70	3,82	6,26
20	10,24	3,54	2,83	6,02	6,23	6,40	5,74	4,59	1,82	5,39	5,87	6,05	4,06	6,64	2,72	5,36	3,66	2,66	0,01	0,00	0,00	0,57	2,42	0,59	2,93	2,25	2,85	2,08	10,24
21	11,96	6,09	5,40	7,75	7,95	8,13	7,48	6,32	3,55	7,12	7,60	7,79	5,79	8,37	4,45	7,09	6,23	5,24	2,58	2,58	6,50	0,00	0,00	2,32	5,51	4,82	4,58	3,81	11,96
22	10,10	4,32	3,55	5,91	6,11	6,29	5,88	4,48	1,70	5,28	5,76	5,94	3,95	6,52	2,60	5,24	4,38	3,39	0,74	0,74	4,65	0,00	0,00	0,47	3,66	2,98	2,74	1,96	10,10
23	9,28	3,58	2,81	5,59	5,75	5,85	5,53	4,16	0,96	4,95	5,41	5,62	4,32	6,21	3,12	4,92	4,07	2,65	0,00	0,00	4,70	0,98	2,83	0,00	2,92	2,24	3,26	2,49	9,28
24	7,14	1,34	0,68	4,36	4,54	4,75	4,07	2,93	1,46	3,73	4,19	4,41	3,37	4,99	5,42	3,21	2,86	1,70	2,37	2,36	2,56	2,93	4,78	2,95	0,00	0,00	5,21	4,43	7,14
25	6,45	0,66	1,37	4,24	4,51	4,62	4,04	3,25	2,14	3,60	4,55	4,27	4,22	5,30	6,10	2,50	3,55	0,96	3,06	3,05	3,24	3,62	5,47	3,63	0,00	0,00	5,90	5,12	6,45
26	10,29	5,40	4,63	5,48	5,76	5,86	5,21	4,60	2,78	5,37	5,42	5,88	3,47	6,14	1,35	5,36	3,98	4,47	1,82	1,82	4,77	2,26	4,11	1,49	4,74	4,06	0,00	0,00	10,29
27	10,12	5,23	4,46	5,31	5,18	5,68	5,04	4,42	2,61	5,21	5,24	5,71	3,30	5,96	1,18	5,19	3,81	4,30	1,64	1,64	4,60	2,09	3,94	1,32	4,57	3,88	1,32	0,00	10,12
0	0,00	4,69	5,38	4,49	4,76	4,47	5,04	5,09	7,41	4,92	5,46	4,02	6,27	3,80	8,32	4,32	5,76	6,20	9,17	8,32	5,46	8,89	10,74	8,90	5,26	5,94	8,15	9,28	0,00

Таблица Д.2 – Матрица расстояний графа маршрута транспортной сети при уборке снега г. Томска для дорог II категории

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	0
0	0,00	4,54	4,87	5,50	5,05	5,94	5,34	5,62	5,97	6,40	6,89	6,42	7,77	7,48	8,11	8,66	9,45	8,91	10,10	9,72	10,62	8,95	13,36	11,67	13,63	8,80	10,05	9,58	12,55	9,56	9,13	9,32	9,27	9,21	9,41	0,00
1	5,33	0,00	0,00	1,82	0,81	3,20	3,79	4,06	5,37	4,71	5,38	4,73	3,96	5,50	4,30	5,96	6,74	6,20	7,39	7,01	7,92	6,22	10,65	8,96	10,92	6,09	6,09	5,59	8,56	5,60	4,92	5,11	5,06	5,00	5,19	5,33
2	5,24	0,00	0,00	1,49	0,28	2,96	3,26	3,54	4,90	4,18	4,85	4,20	3,63	5,26	3,98	5,63	6,41	5,88	7,06	6,69	7,59	6,29	10,32	8,63	10,59	5,77	6,16	5,66	8,63	5,68	4,99	5,18	5,13	5,07	5,26	5,24
3	5,49	0,28	0,81	0,00	0,00	2,96	3,54	3,81	5,17	4,46	5,13	4,89	3,90	5,54	4,25	5,91	6,69	6,15	7,34	6,96	7,86	6,57	10,60	8,91	10,87	6,05	6,44	5,94	9,19	5,96	5,28	5,47	5,42	5,36	5,55	5,49
4	6,05	1,28	1,81	0,00	0,00	1,39	1,98	2,25	3,89	2,90	3,57	2,92	2,63	3,98	2,98	4,64	5,35	4,88	6,07	5,70	6,48	4,92	9,33	7,63	9,60	5,22	5,23	4,73	7,97	4,88	4,20	4,38	4,34	4,27	4,46	6,05
5	6,35	3,68	4,21	2,14	3,96	0,00	0,00	0,00	1,99	2,43	2,73	2,45	3,79	3,51	4,14	4,69	5,63	4,93	6,29	5,75	6,53	4,97	10,30	7,69	9,65	4,83	6,07	5,60	8,84	5,29	5,68	5,86	5,82	5,75	5,94	6,35
6	7,03	2,72	3,25	1,44	3,00	0,00	0,00	0,88	2,52	1,53	2,20	1,57	2,91	2,63	3,26	3,79	4,57	4,04	5,23	4,85	5,75	4,08	8,48	6,80	8,75	3,94	5,17	4,70	7,67	4,69	5,07	5,21	5,21	5,14	5,34	7,03
7	7,10	4,42	4,95	4,17	4,70	2,57	1,98	0,00	0,00	1,78	0,44	1,14	2,48	2,15	2,82	3,11	3,88	3,35	4,54	4,16	5,06	3,38	7,80	6,11	8,07	3,25	4,49	4,02	6,98	4,00	6,73	6,92	6,87	6,80	4,57	7,10
8	6,67	3,96	4,14	2,32	4,24	0,88	0,00	0,00	0,00	2,42	3,08	2,43	3,78	3,49	4,12	4,68	5,46	4,92	6,11	5,73	6,63	4,96	9,37	7,68	9,64	4,81	6,06	5,59	8,56	5,57	5,95	6,14	6,09	6,03	6,22	6,67
9	8,14	4,90	5,44	3,62	5,18	2,22	3,03	3,10	2,48	0,00	0,00	1,10	2,03	1,75	2,38	2,94	3,71	3,80	4,36	3,99	4,89	3,21	7,62	5,93	7,89	3,06	4,31	3,84	6,81	3,83	6,28	6,47	6,42	6,36	4,40	8,14
10	7,48	4,23	4,77	2,95	4,51	1,56	2,16	2,43	1,81	0,00	0,00	0,02	1,36	1,08	1,71	2,27	3,05	2,52	3,70	3,32	4,22	2,55	6,95	5,26	7,22	2,85	3,64	3,18	6,14	3,16	5,61	5,80	5,75	5,69	3,73	7,48
11	8,15	3,42	3,95	2,13	3,69	2,88	3,48	3,76	3,13	1,79	2,46	0,00	0,00	1,76	0,55	2,21	2,99	2,46	3,64	3,26	4,17	2,49	6,90	5,21	7,17	2,35	3,59	3,12	6,09	3,11	4,44	4,63	4,58	4,52	3,68	8,15
12	7,57	4,21	4,64	3,14	4,49	1,53	2,14	2,41	1,79	0,00	1,12	0,00	0,00	1,53	2,16	2,72	3,49	2,96	4,14	3,77	4,67	2,99	9,42	5,72	7,67	2,85	4,09	3,62	6,60	3,61	6,06	4,53	6,20	6,14	4,18	7,57
13	8,68	3,94	4,47	2,86	4,22	3,22	3,83	4,10	3,72	2,14	2,45	1,76	0,72	0,00	0,00	1,66	2,44	1,90	3,09	2,71	3,61	1,94	6,34	4,66	6,62	1,79	3,04	2,57	5,54	2,55	4,97	5,16	5,11	5,04	3,12	8,68
14	8,11	4,78	5,21	3,49	5,06	2,10	2,70	2,98	2,40	1,01	1,25	0,56	1,91	0,00	0,00	2,10	2,88	2,35	3,53	3,16	4,06	2,38	6,79	5,10	7,06	2,24	3,48	3,01	5,98	3,00	5,58	3,91	5,72	5,65	3,57	8,11
15	10,65	5,96	6,49	6,24	4,68	4,62	5,22	5,50	4,08	3,53	3,77	3,08	2,74	2,52	2,41	0,00	0,00	0,53	0,65	0,28	1,18	1,03	5,44	3,75	5,71	0,86	2,13	1,66	4,03	1,64	4,22	2,56	4,37	4,30	2,22	10,65
16	9,74	5,07	5,61	3,79	5,35	3,73	4,61	4,64	3,19	2,21	2,88	2,19	1,85	1,63	1,53	0,58	0,00	0,83	2,02	1,64	2,54	0,14	4,55	2,87	4,82	0,00	1,24	0,77	3,74	0,76	3,34	3,42	3,48	3,42	1,33	9,74
17	11,33	6,63	7,16	5,54	6,90	5,28	6,16	6,16	4,74	3,77	4,44	3,75	3,40	3,18	3,08	1,38	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	1,70	6,11	4,42	6,38	1,56	2,80	2,33	5,30	2,31	4,89	3,23	5,03	4,97	2,88	11,33
18	9,74	5,07	5,60	3,99	5,35	3,73	4,61	4,61	3,19	2,22	2,88	2,20	1,85	1,63	1,53	0,59	1,37	0,84	0,00	1,64	2,54	0,14	4,55	2,86	4,82	0,00	1,24	0,78	3,74	0,76	3,34	1,68	3,48	3,42	1,34	9,74
19	11,73	7,02	7,56	5,74	7,30	5,68	6,28	6,56	5,14	4,60	4,83	4,14	3,80	3,58	3,47	1,78	1,06	1,59	0,53	0,00	0,00	2,10	6,50	4,82	6,77	1,95	3,19	2,72	5,69	2,71	5,29	3,62	5,43	5,37	3,28	11,73
20	10,94	6,24	6,77	5,15	6,51	4,89	5,77	5,77	4,35	3,38	4,04	3,36	3,01	2,79	2,69	0,99	0,27	0,80	0,38	0,00	0,00	1,30	5,71	4,03	5,99	1,16	2,41	1,94	4,90	1,92	4,50	2,84	4,64	4,58	2,49	10,94
21	14,55	9,84	10,38	8,56	10,12	8,50	9,10	9,38	7,96	6,99	7,65	6,97	6,62	6,40	6,30	5,36	5,78	5,25	6,43	6,06	6,96	0,00	0,00	3,96	5,60	5,91	5,44	8,41	5,42	8,00	6,34	8,14	8,08	6,00	14,55	
22	9,73	5,04	5,57	3,95	5,32	3,69	4,30	4,57	3,15	2,18	2,84	2,16	1,81	1,59	1,49	0,55	1,33	0,80	1,98	1,60	2,50	0,00	0,00	2,72	4,68	0,00	1,10	0,63	3,60	0,62	3,20	1,53	3,34	3,27	1,19	9,73
23	14,39	9,72	10,25	8,64	10,00	8,38	8,98	9,26	7,83	6,86	7,53	6,84	6,50	6,28	6,17	5,23	6,01	5,48	6,66	6,29	7,19	4,69	3,56	0,00	0,00	5,37	5,78	5,31	8,28	5,30	7,88	6,22	8,02	7,96	5,87	14,39
24	12,43	7,76	8,29	6,68	8,04	6,42	7,02	7,29	5,87	4,90	5,57	4,88	5,54	4,32	4,21	3,27	4,05	3,52	4,70	4,33	5,22	2,73	0,00	0,00	0,00	3,41	3,82	3,35	6,32	3,34	5,92	4,25	6,06	5,99	3,91	12,43
25	10,83	6,14	6,15	4,85	6,42	4,79	5,40	5,67	4,25	3,28	3,94	3,26	2,91	2,69	2,59	1,65	2,43	1,89	3,08	2,70	3,60	1,10	5,50	3,82	5,78	0,00	0,00	0,00	3,47	0,48	3,06	1,40	3,20	3,14	1,06	10,83
26	9,71	5,04	5,57	3,75	5,32	3,69	4,30	4,57	3,15	2,18	2,84	2,16	1,81	1,59	1,49	0,55	1,33	0,79	1,98	1,60	2,50	0,14	4,41	2,72	4,68	0,69	0,00	0,63	3,60	0,62	3,19	1,53	3,34	2,37	1,19	9,71
27	13,34	8,64	8,62	7,35	8,91	7,29	7,89	8,17	6,75	5,78	6,44	5,76	5,41	5,19	5,09	4,14	4,93	4,39	5,58	5,20	6,10	3,60	8,00	6,32	8,28	4,28	3,46	0,00	0,00	2,98	5,53	3,87	5,68	5,61	3,53	13,34
28	10,37	5,67	5,65	4,38	5,94	4,32	4,93	5,20	3,78	2,81	3,48	2,79	2,44	2,22	2,12	1,18	1,96	1,42	2,61	2,23	3,14	0,63	5,04	3,35	5,31	1,32	0,50	0,00	0,00	0,00	2,56	0,90	2,71	2,64	0,56	10,37
29	9,92	5,17	5,17	3,89	5,45	5,26	5,86	6,14	6,54	5,57	6,23	5,54	4,64	4,98	4,87	3,94	4,71	4,18	5,37	4,99	5,78	3,39	7,79	6,11	8,07	4,07	3,25	2,76	5,73	0,00	2,08	2,27	2,23	2,16	0,00	9,92
30	10,21	5,44	5,44	4,16	5,72	5,08	5,68	5,95	4,53	3,56	4,22	3,54	3,20	2,97	2,87	1,93	2,71	2,17	3,36	2,98	3,88	1,38	5,78	4,10	6,06	2,06	1,24	0,75	3,72	0,76	0,00	0,22	0,27	0,00	0,35	10,21
31	10,44	5,66	5,66	4,38	5,94	5,29	5,90	6,17	4,75	3,78	4,44	3,76	3,41	3,19	3,08	2,15	2,93	2,39	3,58	3,20	4,10	1,60	6,01	4,32	6,28	2,29	1,47	0,97	3,94	0,98	0,30	0,00	0,00	0,30	0,57	10,44
32	10,46	5,71	5,70	4,42	5,99	5,34	5,95	6,22	4,80	3,83	4,49	3,81	3,46	3,24	3,14	2,19	2,98	2,44	3,63	3,25	4,15	1,65	6,06	4,37	6,33	2,33	1,52	1,02	3,99	1,03	0,35	0,00	0,00	0,42	0,61	10,46
33	10,32	5,65	5,66	4,37	5,93	4,31	4,91	5,19	3,77	2,79	3,46	2,77	2,43	2,21	2,10	1,16	1,94	1,41	2,60	2,22	3,12	0,62	5,02	3,34	5,30	1,30	0,00	0,01	2,98	0,00	2,58	0,92	2,72	0,00	0,57	10,32
34	8,96	4,18	4,17	2,90	4,46	4,26	4,87	5,14	5,54	4,57	5,24	4,55	3,64	3,98	3,99	2,94	3,72	3,18	4,37	4,00	4,90	2,39	6,80	5,11	7,07	3,08	2,26	1,76	4,73	1,78	1,09	1,23	1,23	1,16	0,00	8,96
0	0,00	4,54	4,87	5,50	5,05	5,94	5,34	5,62	5,97	6,40	6,89	6,42	7,77	7,48	8,11	8,66	9,45	8,91	10,10	9,72	10,62	8,95	13,36	11,												

ПРИЛОЖЕНИЕ Е. АНАЛИЗ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И УСТАНОВЛЕНИЯ КРАТНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ СООТВЕТСТВУЮЩИХ СНЕГОУБОРОЧНЫХ РАБОТ

Таблица Е.1 – Анализ погодных условий и установления кратности выполнения соответствующих снегоуборочных работ

Количество раз вывоза снега на полигон	Дата	Высота свежеснеживавшего снежного покрова, см	Остаток снега на дороге, см	Растаявший снег под влиянием силы трения, см	Остаток снежного покрова, см	Остаток снега на конец дня с учетом коэффициента уплотнения, см	Количество посыпок проезжей части за месяц
1	1	6,5	3,25	0,26	2,99	1,20	
	2	6,5	3,25	0,26	2,99	1,67	
	3	6,6	3,3	0,264	3,036	1,88	
	4	6,6	3,3	0,264	3,036	1,97	
	5	6,5	3,25	0,26	2,99	1,98	
	6	7,3	3,65	0,292	3,358	2,14	1
	7	7,5	3,75	0,3	3,45	1,38	
	8	7,8	3,9	0,312	3,588	1,99	
	9	7,6	3,8	0,304	3,496	2,19	2
	10	7,6	3,8	0,304	3,496	1,40	
2	11	7,6	3,8	0,304	3,496	1,96	
	12	7,7	3,85	0,308	3,542	2,20	3
	13	7,4	3,7	0,296	3,404	1,36	
	14	7,5	3,75	0,3	3,45	1,92	
	15	7,45	3,725	0,298	3,427	2,14	4
	16	7,4	3,7	0,296	3,404	1,36	
	17	7,4	3,7	0,296	3,404	1,91	
	18	7,4	3,7	0,296	3,404	2,12	5
	19	7,3	3,65	0,292	3,358	1,34	
	20	7,2	3,6	0,288	3,312	1,86	
3	21	7	3,5	0,28	3,22	2,03	6
	22	6,9	3,45	0,276	3,174	1,27	
	23	6,9	3,45	0,276	3,174	1,78	
	24	6,9	3,45	0,276	3,174	1,98	
	25	7	3,5	0,28	3,22	2,08	7
	26	7	3,5	0,28	3,22	1,29	
	27	7,2	3,6	0,288	3,312	1,84	
	28	7,3	3,65	0,292	3,358	2,08	8
	29	7,2	3,6	0,288	3,312	1,32	
	30	7,3	3,65	0,292	3,358	1,87	
	31	7,2	3,6	0,288	3,312	2,07	9

ПРИЛОЖЕНИЕ Ж. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОСЫПКИ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ ПРОТИВОГОЛОЛЕДНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ

Таблица Ж.1 – Формирование исходных данных пескоразбрасывателей и фиксирование их временных затрат

Вид техники	Кол-во техники, ед.	Наименование улицы	Рабочая скорость, км/ч	Расстояние посыпки, км	Скорость холостого хода км/ч	Расстояние холостого хода, км	Продолжительность выполнения операции, ч	Загрузка <u>пескосоляной</u> смесью
КАМАЗ КДМ-650-04	1	ПЕСКОБАЗА (до места посыпки)			40	1,5	0,6175	1
		пр. Ленина	20	5,5				
		ул. Дальне-Ключевская	20	0,7				
		пр. Мира	20	1,3				
		НА ПЕСКОБАЗУ			45	8,5		
КАМАЗ КДМ-650-04	1	ПЕСКОБАЗА (до места посыпки)			40	8,4	0,82	1
		пр. Мира	20	1,3				
		ул. Смирнова	20	6,2				
		НА ПЕСКОБАЗУ			45	10,2		
КАМАЗ КДМ-650-04	1	ПЕСКОБАЗА (до места посыпки)			40	10,2	0,82	1
		ул. Смирнова	20	0,6				
		пр. Мира	20	2,7				
		ул. Дальне-Ключевская	20	0,35				
		ул. Большая Подгорная	20	3,85				
		НА ПЕСКОБАЗУ			45	8,3		
КАМАЗ КДМ-650-04	1	ПЕСКОБАЗА (до места посыпки)			40	8,3	0,74	1
		ул. Большая Подгорная	20	6,35				
		разворот по ул. Дальне-Ключевская			40	0,5		
		ул. Дальне-Ключевская	20	0,25				
		ул. Розы Люксембург	20	0,9				
		НА ПЕСКОБАЗУ			45	6,4		
КАМАЗ КДМ-650-04	1	ПЕСКОБАЗА (до места посыпки)			40	6,4	0,72	1
		ул. Розы Люксембург	20	4,3				
		ул. Дальне-Ключевская	20	0,2				
		пр. Ленина	20	3				
		НА ПЕСКОБАЗУ			45	8,2		

Таблица Ж.2 – Расчеты стоимости этапа механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами

	Тариф, руб.	Стоимость однократного выполнения работ, руб.	Стоимость работ за МЕСЯЦ, руб.
КАМАЗ КДМ-650-04	3 130,00р.	16 219,49р.	145 975,38р.
Пескосоляная смесь	30 017,60р.	150 088,00р.	1 350 792,00р.
		Итого	1 496 767,38р.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОГО СГРЕБАНИЯ И ПОДМЕТАНИЯ СНЕГА С ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТИ УЛИЦ

Таблица 3.1 – Формирование исходных данных плужно-щеточных снегоочистителей и фиксирование их временных затрат

Вид техники	Кол-во техники, ед.	Рабочая скорость, км/ч	Расстояние маршрута, км	Время прохождения маршрута, ч	Скорость холостого хода, км/ч	Расстояние холостого хода, км	Время холостого хода, ч	Время работы одной единицы техники, ч
МКДС-44105	4	35	37,5	1,071428571	45	14	0,311111111	1,382539683

Таблица 3.2 – Расчеты стоимости этапа механизированного сгребания и подметания снега с проезжей части улиц

	Тариф, руб.	Стоимость однократного выполнения работ, руб.	Стоимость работ за МЕСЯЦ, руб.
МКДС-44105	2 305,00р.	12 747,02р.	114 723,14р.

ПРИЛОЖЕНИЕ И. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА ФОРМИРОВАНИЯ СНЕЖНОГО ВАЛА АВТОГРЕЙДЕРОМ

Таблица И.1 – Определение исходных данных техники на этапе формирования снежного вала

*ул. Дальне-Ключевская - от пр.Ленина до пр.Мира			*(1), (2) - стороны улицы					
Вид техники	Кол-во техники, ед.	Наименование убираемой улицы	Расстояние холостого хода, км	Скорость холостого хода, км/ч	Расстояние уборки, км	Рабочая скорость, км/ч	Кол-во проходов техники	Продолжительность выполнения работ, ч
1 звено								
Автогрейдер1	1	АВТОПАРК (до места уборки)	5,2	30				0,1733
		пр. Мира (1)			2,6	10	3	0,7800
		ул. Смирнова (1,2)			6,8	10	3	2,0400
		пр. Мира (1)			2,7	10	3	0,8100
		ул. Дальне-Ключевская (1,2)			1,5	10	3	0,4500
		АВТОПАРК	5,65	30				0,1883
Трактор МТЗ 1	1	АВТОПАРК (до места уборки)	5,2	23				0,2261
		пр. Мира (1)			2,6	6	1	0,4333
		ул. Смирнова (1,2)			6,8	6	1	1,1333
		пр. Мира (1)			2,7	6	1	0,4500
		ул. Дальне-Ключевская (1,2)			1,5	6	1	0,2500
		АВТОПАРК	5,65	23				0,2457
2 звено								
Автогрейдер1	1	АВТОПАРК (до места уборки)	3,6	30				0,1200
		пр. Ленина (1)			5,5	10	3	1,6500
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,25	30				0,0083
		ул. Большая Подгорная (1,2)			10,2	10	3	3,0600
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,1	30				0,0033
		ул. Розы Люксембург (1,2)			5,2	10	3	1,5600
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,9	30				0,0300
		пр. Ленина (1)			3	10	3	0,9000
Трактор МТЗ 1	1	АВТОПАРК	8,9	30				0,2967
		АВТОПАРК (до места уборки)	3,6	23				0,1565
		пр. Ленина (1)			5,5	6	1	0,9167
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,25	23				0,0109
		ул. Большая Подгорная (1,2)			10,2	6	1	1,7000
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,1	23				0,0043
		ул. Розы Люксембург (1,2)			5,2	6	1	0,8667
		холостой ход по ул. Дальне-Ключевская	0,9	23				0,0391
Трактор МТЗ 1	1	пр. Ленина (1)			3	6	1	0,5000
		АВТОПАРК	8,9	23				0,3870

Таблица И.2 – Фиксирование временных затрат каждого звена и всех видов используемой техники на этапе формирования снежного вала

	Время работы автогрейдера, ч	Время работы трактора МТЗ, ч
1 звено	4,4417	2,7384
2 звено	7,6283	4,5812

Таблица И.3 – Расчеты стоимости этапа формирования снежного вала

	Тариф, руб.	Стоимость однократного выполнения работ, руб.	Стоимость работ за МЕСЯЦ, руб.
Автогрейдер	1 780р.	21 484,60р.	64 453,80р.
Трактор МТЗ	1 106р.	8 095,44р.	24 286,32р.
		Итого	88 740,12р.

ПРИЛОЖЕНИЕ К. РАСЧЕТЫ СТОИМОСТИ ЭТАПА МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ПОГРУЗКИ И ВЫВОЗА СНЕГА САМОСВАЛАМИ

Расчеты стоимости этапа механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами на полигон представлены на примере работы 3-го звена по обеим сторонам пр. Мира и ул. Смирнова. Расчеты стоимости 1-го и 2-го звена выполнены по такому же принципу.

Таблица К.1 – Работа 3 звена на пр. Мира, 1 сторона, дневная смена

Вид техники	Порядковое число загрузки	Расстояние холостого хода до места погрузки, км	Расстояние хол.хода + загрузка по улице, км	Скорость холостого хода, км/ч	Время погрузки, ч	Расстояние холостого хода до полигона, км	Скорость загруженного самосвала, км/ч	Оставшийся снег после погрузки, м3	Объем вывезенного снега, м3	Время работы, ч	Время разгрузки, ч	Временные потери (пробки, очередь на погрузку/разгрузку и т.д.)
Снегопогрузчик 1		6,07		20	2,96					3,51		0,25
Самосвал 1.1	1	6,07	0,121	50	0,14	6,879	40	284	14	0,56	0,13	0,25
Самосвал 1.2	2	6,192	0,278	50	0,18	6,722	40	266	32	0,60	0,13	0,25
Самосвал 1.3	3	6,349	0,435	50	0,18	6,565	40	248	50	0,60	0,13	0,25
Самосвал 1.4	4	6,506	0,575	50	0,16	6,425	40	232	66	0,58	0,13	0,25
Самосвал 1.1	5	8,3	0,697	50	0,14	6,379	40	218	80	0,60	0,13	
Самосвал 1.2	6	8,42	0,854	50	0,18	6,222	40	200	98	0,63	0,13	
Самосвал 1.3	7	8,58	1,011	50	0,18	6,065	40	182	116	0,63	0,13	
Самосвал 1.4	8	8,74	1,151	50	0,16	5,925	40	166	132	0,61	0,13	
Самосвал 1.1	9	8,9	1,273	50	0,14	7,979	40	152	146	0,65	0,13	
Самосвал 1.2	10	9,022	1,430	50	0,18	7,822	40	134	164	0,69	0,13	
Самосвал 1.3	11	9,179	1,587	50	0,18	7,665	40	116	182	0,69	0,13	
Самосвал 1.4	12	9,336	1,726	50	0,16	7,525	40	100	198	0,66	0,13	
Самосвал 1.1	13	9,1	1,849	50	0,14	9,879	40	86	212	0,70	0,13	
Самосвал 1.2	14	9,221	2,006	50	0,18	9,722	40	68	230	0,74	0,13	
Самосвал 1.3	15	9,499	2,163	50	0,18	9,565	40	50	248	0,74	0,13	
Самосвал 1.4	16	9,934	2,302	50	0,16	9,425	40	34	264	0,72	0,13	
Самосвал 1.1	17	10,1	2,424	50	0,14	11,279	40	20	278	0,75	0,13	
Самосвал 1.2	18	10,221	2,581	50	0,18	11,122	40	2	296	0,79	0,13	

Таблица К.2 – Работа 3 звена на пр. Мира, 2 сторона, дневная смена

Вид техники	Порядковое число загрузки	Расстояние холостого хода до места погрузки, км	Расстояние хол.хода + загрузка по улице, км	Скорость холостого хода, км/ч	Время погрузки, ч	Расстояние холостого хода до полигона, км	Скорость загруженного самосвала, км/ч	Оставшийся снег после погрузки, м3	Объем вывезенного снега, м3	Время работы,ч	Расстояние до автопарка, км	Время разгрузки, ч	Временные потери (пробки, очередь на погрузку/разгрузку и т.д.)
Снегопогрузчик 1				20	2,98					3,56	6,5		0,25
Самосвал 1.3	1	10,2	0,155	50	0,18	10,845	40	280	18	0,79		0,13	0,25
Самосвал 1.4	2	10,357	0,295	50	0,16	10,705	40	264	34	0,76		0,13	0,25
Самосвал 1.1	3	10,497	0,417	50	0,14	10,583	40	250	48	0,74		0,13	0,25
Самосвал 1.2	4	10,619	0,574	50	0,18	10,426	40	232	66	0,78		0,13	0,25
Самосвал 1.3	5	10,776	0,731	50	0,18	10,345	40	214	84	0,78		0,13	
Самосвал 1.4	6	10,933	0,870	50	0,16	10,205	40	198	100	0,76		0,13	
Самосвал 1.1	7	11,072	0,993	50	0,14	10,083	40	184	114	0,74		0,13	
Самосвал 1.2	8	11,195	1,150	50	0,18	9,926	40	166	132	0,78		0,13	
Самосвал 1.3	9	8,60	1,307	50	0,18	8,845	40	148	150	0,70		0,13	
Самосвал 1.4	10	8,76	1,446	50	0,16	8,705	40	132	166	0,68		0,13	
Самосвал 1.1	11	8,90	1,446	50	0,14	8,583	40	118	180	0,66		0,13	
Самосвал 1.2	12	9,02	1,568	50	0,18	8,426	40	100	198	0,70		0,13	
Самосвал 1.3	13	7,35	1,725	50	0,18	9,045	40	82	216	0,68		0,13	
Самосвал 1.4	14	7,507	1,883	50	0,16	8,905	40	66	232	0,66		0,13	
Самосвал 1.1	15	7,647	2,022	50	0,14	8,783	40	52	246	0,76	6	0,13	
Самосвал 1.2	16	7,769	2,022	50	0,18	8,626	40	34	264	0,80	6	0,13	
Самосвал 1.3	17	7,926	2,144	50	0,18	9,845	40	16	282	0,83	6	0,13	
Самосвал 1.4	18	8,083	2,301	50	0,16	9,705	40	0	298	0,81	6	0,13	

Таблица К.3. – Расчеты стоимости этапа механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами по пр. Мира

	Время работы техники, 1 сторона, ч	Время работы техники, 2 сторона, ч	Общее время работы техники, без обеда,ч				Тариф, руб.	Стоимость однократного выполнения работ, руб.	Стоимость работ за МЕСЯЦ, руб.
Самосвал 1.1	3,51	3,16	6,67			Самосвал 1.1	1 600р.	10 675,76р.	32 027,27р.
Самосвал 1.2	3,70	3,32	7,02			Самосвал 1.2	1 600р.	11 230,33р.	33 690,98р.
Самосвал 1.3	2,91	4,04	6,95			Самосвал 1.3	1 600р.	11 118,05р.	33 354,15р.
Самосвал 1.4	2,83	3,92	6,75			Самосвал 1.4	1 600р.	10 801,50р.	32 404,51р.
Снегопогрузчик	3,51	3,56	7,07			Снегопогрузчик	1150	8 128,78р.	24 386,33р.
								Итого	155 863,24р.

Таблица К.4 – Работа 3 звена на ул. Смирнова, 1 сторона, ночная смена

Вид техники	Порядковое число загрузки	Расстояние холостого хода до места погрузки, км	Расстояние хол.хода + загрузка по улице, км	Скорость холостого хода, км/ч	Время погрузки, ч	Расстояние холостого хода до полигона, км	Скорость загруженного самосвала, км/ч	Оставшийся снег после погрузки, м3	Объем вывезенного снега, м3	Время работы, ч	Время разгрузки, ч	Временные потери (например, очередь на погрузку/разгрузку), ч
Снегопогрузчик 1		6,2		20	2,96					3,37		0,1
Самосвал 1.1	1	6,2	0,160	55	0,14	11,960	40	283	14	0,68	0,13	0,1
Самосвал 1.2	2	6,36	0,366	55	0,18	12,166	40	265	32	0,73	0,13	0,1
Самосвал 1.3	3	6,57	0,572	55	0,18	12,372	40	247	50	0,74	0,13	0,1
Самосвал 1.4	4	6,77	0,756	55	0,16	12,556	40	231	66	0,73	0,13	0,1
Самосвал 1.1	5	6,96	0,916	55	0,14	12,716	40	217	80	0,71	0,13	
Самосвал 1.2	6	7,12	1,122	55	0,18	12,922	40	199	98	0,76	0,13	
Самосвал 1.3	7	7,32	1,328	55	0,18	13,128	40	181	116	0,77	0,13	
Самосвал 1.4	8	7,53	1,511	55	0,16	13,311	40	165	132	0,76	0,13	
Самосвал 1.1	9	7,71	1,671	55	0,14	13,471	40	151	146	0,75	0,13	
Самосвал 1.2	10	7,87	1,877	55	0,18	13,677	40	133	164	0,80	0,13	
Самосвал 1.3	11	8,08	2,084	55	0,18	13,884	40	115	182	0,80	0,13	
Самосвал 1.4	12	8,28	2,267	55	0,16	14,067	40	99	198	0,79	0,13	
Самосвал 1.1	13	8,47	2,427	55	0,14	14,227	40	85	212	0,78	0,13	
Самосвал 1.2	14	8,63	2,633	55	0,18	14,433	40	67	230	0,83	0,13	
Самосвал 1.3	15	8,83	2,839	55	0,18	14,639	40	49	248	0,84	0,13	
Самосвал 1.4	16	9,04	3,022	55	0,16	14,822	40	33	264	0,82	0,13	
Самосвал 1.1	17	9,22	3,182	55	0,14	14,982	40	19	278	0,81	0,13	
Самосвал 1.2	18	9,38	3,389	55	0,18	15,189	40	1	296	0,86	0,13	

Таблица К.5 – Работа 3 звена на ул. Смирнова, 2 сторона, ночная смена

Вид техники	Порядковое число загрузки	Расстояние холостого хода до места погрузки, км	Расстояние хол.хода + загрузка по улице, км	Скорость холостого хода, км/ч	Время погрузки, ч	Расстояние холостого хода до полигона, км	Скорость загруженного самосвала, км/ч	Оставшийся снег после погрузки, м3	Объем вывезенного снега, м3	Время работы, ч	Расстояние до автопарка, км	Время разгрузки, ч	Временные потери (например, очередь на погрузку/разгрузку), ч
Снегопогрузчик 1				20	2,98					3,43	7		0,1
Самосвал 1.3	1	12,8	0,160	55	0,18	12,594	40	279	18	0,86		0,13	0,1
Самосвал 1.4	2	12,59	0,366	55	0,16	12,411	40	263	34	0,83		0,13	0,1
Самосвал 1.1	3	12,41	0,572	55	0,14	12,251	40	249	48	0,80		0,13	0,1
Самосвал 1.2	4	12,25	0,756	55	0,18	12,044	40	231	66	0,83		0,13	0,1
Самосвал 1.3	5	12,04	0,916	55	0,18	11,838	40	213	84	0,82		0,13	
Самосвал 1.4	6	11,84	1,122	55	0,16	11,655	40	197	100	0,80		0,13	
Самосвал 1.1	7	11,66	1,328	55	0,14	11,495	40	183	114	0,77		0,13	
Самосвал 1.2	8	11,49	1,511	55	0,18	11,289	40	165	132	0,80		0,13	
Самосвал 1.3	9	11,29	1,671	55	0,18	11,083	40	147	150	0,79		0,13	
Самосвал 1.4	10	11,08	1,877	55	0,16	10,900	40	131	166	0,76		0,13	
Самосвал 1.1	11	10,90	2,084	55	0,14	10,739	40	117	180	0,74		0,13	
Самосвал 1.2	12	10,74	2,267	55	0,18	10,533	40	99	198	0,77		0,13	
Самосвал 1.3	13	10,53	2,427	55	0,18	10,327	40	81	216	0,76		0,13	
Самосвал 1.4	14	10,33	2,633	55	0,16	10,144	40	65	232	0,73		0,13	
Самосвал 1.1	15	10,14	2,839	55	0,14	9,984	40	51	246	0,81	6	0,13	
Самосвал 1.2	16	9,98	3,022	55	0,18	9,778	40	33	264	0,85	6	0,13	
Самосвал 1.3	17	9,78	3,182	55	0,18	9,572	40	15	282	0,84	6	0,13	
Самосвал 1.4	18	9,57	3,389	55	0,16	9,389	40	0	297	0,81	6	0,13	

Таблица К.6 – Расчеты стоимости этапа механизированной погрузки и вывоза снега самосвалами по ул. Смирнова

	Время работы техники, 1 сторона, ч	Время работы техники, 2 сторона, ч	Общее время работы техники, без обеда,ч			Тариф, руб.	Стоимость однократного выполнения работ, руб.	Стоимость работ за МЕСЯЦ, руб.	
Самосвал 1.1	3,83	3,22	7,06			Самосвал 1.1	1 600р.	11 289,47р.	33 868,41р.
Самосвал 1.2	4,08	3,35	7,42			Самосвал 1.2	1 600р.	11 878,37р.	35 635,12р.
Самосвал 1.3	3,25	4,17	7,42			Самосвал 1.3	1 600р.	11 874,02р.	35 622,06р.
Самосвал 1.4	3,20	4,03	7,23			Самосвал 1.4	1 600р.	11 572,70р.	34 718,09р.
Снегопогрузчик	3,37	3,43	6,80			Снегопогрузчик	1150	7 820,00р.	23 460,00р.
								Итого	163 303,68р.

Таблица К.7 – Дополнительные данные для расчетов, относящихся к работе 3-го звена

3 звено	Длина участка погрузки, м	Объем снега на 1 м, м3			Объем кузова самосвала, м3	Время погрузки, ч	Пройденное расстояние за 1 загрузку, км
	2600	0,112307692		Самосвал 1.1	14	0,14	0,125
пр. Мира				Самосвал 1.2	18	0,18	0,160
				Самосвал 1.3	18	0,18	0,160
				Самосвал 1.4	16	0,16	0,142
	Длина участка погрузки, м	Объем снега на 1 м, м3			Объем кузова самосвала, м3	Время погрузки, ч	Пройденное расстояние за 1 загрузку, км
	3400	0,0874		Самосвал 1.1	14	0,14	0,160
ул. Смирнова				Самосвал 1.2	18	0,18	0,206
				Самосвал 1.3	18	0,18	0,206
				Самосвал 1.4	16	0,16	0,183



УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по научной работе и инновациям

к.т.н., доцент

А.Г. Лошилов

«23» октября 2019г.

**Акт о внедрении
результатов диссертационной работы Т.Е. Григорьевой
«Методика и комплекс имитационных моделей планирования процесса снегоуборки»**

Настоящий акт подтверждает, что результаты диссертационной работы Т.Е. Григорьевой внедрены при выполнении следующей научно-исследовательской работы:

1. «Разработка программных средств автоматической параметризации компьютерных моделей эколого-экономических систем предприятий нефтегазовой промышленности», грант РФФИ №16-37-00027, 2016–2017 г.

В вышеуказанной научно-исследовательской работе использованы следующие полученные результаты:

1. Предложенная методика к многоуровневому имитационному моделированию эколого-экономических и социально-экономических систем.

2. Параметризация многоуровневых имитационных моделей эколого-экономических и социально-экономических систем в процессе их анализа.

Результаты диссертационной работы также использованы в учебном процессе ФГБОУ ВО «Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники» на кафедре компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП):

1. Многоуровневые компьютерные модели «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» и «Очередь при вывозе снега самосвалами на полигон», а также их компоненты среды моделирования MAPC были использованы при проведении лабораторных работ по дисциплине «Компьютерное моделирование систем» для бакалавров направления 27.03.03 «Системный анализ и управление».

2. Предложенный подход к многоуровневому имитационному моделированию дискретно-событийных систем нашёл отражение в методических указаниях по лабораторным работам по дисциплине «Моделирование систем» для бакалавров направления 27.03.03 «Системный анализ и управление».

На результаты интеллектуальной деятельности Т.Е. Григорьевой получено:

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

Зав. кафедрой КСУП,
д.т.н., профессор

 Ю.А. Шурьгин



ИНН/КПП 7017459701/701701001
 Реквизиты:
 Р/с 40701810300003000001
 ОТДЕЛЕНИЕ ТОМСК г.Томск
 БИК 046902001
 Л/с 20919ТСАХ0440
 ОГРН: 1197031056848
 ОКПО: 67220024
 ОКВЭД 81.29

634050, г. Томск,
 пр. Комсомольский, 66
 МБУ «Томск САХ»
 тел./факс/приемная: (3822) 26-23-59
 e-mail: mbu@tomskсах.ru

«25» 09 2019 г.

АКТ

о внедрении результатов диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук Григорьевой Татьяны Евгеньевны

МБУ «ТомскСпецавтохозяйство» выполняет работы по содержанию автомобильных дорог и инженерных сооружений на них, расположенных на территории муниципального образования «Город Томск».

Комиссия в составе Хуторянского И.И., начальника службы содержания объектов внешнего благоустройства, Люсина А.С., заместителя начальника службы содержания объектов внешнего благоустройства, составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Григорьевой Т.Е. «Методика и комплекс имитационных моделей планирования процесса снегоуборки» прошли экспериментальную апробацию в МБУ «ТомскСАХ» при планировании и организации зимней уборки проезжей части улиц.

При этом использовались:

- методика оценки временных и производственных затрат на эксплуатацию снегоуборочной техники;
- модель разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей на примере улиц I и II категорий Ленинского района;
- имитационная модель «Выборочная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на примере некоторых опасных участков Октябрьского района;
- имитационная модель «Сплошная механизированная посыпка проезжей части противогололедными материалами» на примере участка проспекта Ленина;
- имитационная модель «Механизированное сгребание и подметание снега с проезжей части улиц» на примере улиц I и II категорий Ленинского района;
- имитационная модель «Механизированная погрузка и вывоз снега самосвалами» на примере небольшого участка проезжей части улицы Розы Люксембург;

– имитационная модель «Очередь при вывозке снега самосвалами на полигон» на примере вывозки снега с улиц 79 Гвардейской Дивизии и Смирнова на полигон, который расположен в поселке Хромовка.

Эффект апробируемых моделей заключается в следующем:

- применение модели разработки оптимального маршрута плужно-щеточных снегоочистителей позволило минимизировать «холостой ход» техники, что привело к сокращению временных затрат на его прохождение;
- использование имитационных моделей процесса снегоуборки, позволило определить и подобрать наилучшие варианты временных и производственных затрат эксплуатации каждой единицы снегоуборочной техники.

Полученные результаты позволили сотрудникам предприятия четче спланировать процесс снегоуборки и наглядно оценить его предполагаемые затраты, а также на основе этого принять обоснованные решения. В дальнейшем МБУ «ТомскСАХ» планирует использовать наработки Григорьевой Т.Е. при организации зимней уборки проезжей части улиц.

Комиссия



И.И. Хуторянский

А.С. Люсин

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



СВИДЕТЕЛЬСТВО

о государственной регистрации программы для ЭВМ

№ 2016610252

**Библиотека моделей компонентов систем массового
обслуживания среды моделирования MAPC****Правообладатели: Ганджа Тарас Викторович (RU), Истигечева
Елена Валентиновна (RU), Григорьева Татьяна Евгеньевна (RU)****Авторы: Ганджа Тарас Викторович (RU), Истигечева Елена
Валентиновна (RU), Григорьева Татьяна Евгеньевна (RU)**Заявка № **2015660883**Дата поступления **10 ноября 2015 г.**

Дата государственной регистрации

в Реестре программ для ЭВМ **11 января 2016 г.**Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев