



УДК 004.942

© 2018 г. Т.Е. Григорьева,

В.М. Дмитриев, д-р техн. наук,

Т.В. Ганджа, д-р техн. наук

(Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)

КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ АКТИВНОГО КОМПОНЕНТА В КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА СНЕГОУБОРКИ ГОРОДСКИХ УЛИЦ

В статье для моделирования процессов снегоуборки предлагается использовать активные компоненты. Моделирование процессов позволяет без существенных затрат спрогнозировать влияние внедряемых изменений, выбрать оптимальный план и правильно определить необходимые ресурсы для снегоуборки, а применение активных компонентов позволяет повысить наглядность и эффективность моделирования.

Ключевые слова: зимняя уборка улиц, многоуровневая модель процесса снегоуборки, активные компоненты, сети Петри.

DOI: 10.22250/isu.2018.58.13-24

Введение

С наступлением холодного времени года в России одной из часто возникающих трудностей является проблема зимнего содержания дорог. Некачественное, несвоевременное содержание дорог зимой приводит к образованию «пробок» на дорогах, а также провоцирует увеличение числа дорожно-транспортных происшествий. По данным дорожно-транспортной аварийности в I квартале 2018 г. в РФ [1], с влиянием недостатков транспортно-эксплуатационного состояния улично-дорожной сети (НДУ) связано 14775 ДТП, что составляет почти половину всех ДТП (47,8%). Из них 41,8% ДТП связаны с недостатками зимнего содержания.

Согласно метеоданным [2], за последние несколько лет в Томской области значительно увеличилось среднегодовое количество осадков. Так, например, зимой 2016/2017 г. уровень снега в Томске вдвое превысил годовую норму, высота снежного покрова в Томской области составила 91 см при норме 50 см. При этом, по мнению горожан, коммунальщики с уборкой города не справлялись, томищи

активно жаловались на плохое качество уборки снега – только в администрацию Ленинского района за новогодние каникулы поступило 200 таких обращений [3].

Основной причиной некачественной, несвоевременной зимней уборки улиц является неправильное планирование и организация процессов уборки.

Для устранения этой причины предлагается изучить объект исследования на модели и провести серию экспериментов. Анализируя результаты экспериментов, можно будет оценить эффективность использования ресурсов, причем за несколько минут (часов), в то время как в реальном времени это заняло бы месяцы (годы). В дальнейшем это позволит усовершенствовать процессы уборки и сможет привести к снижению вероятности возникновения подобных ситуаций.

Исследования в данной области изложены в диссертационных работах Е.К. Телушкиной, В.С. Райгородской, Ю.В. Бакланова, С.В. Тюпакова [4 – 7].

Наиболее близкой к заявленной теме исследования является работа Е.К. Телушкиной, в которой затрагивается моделирование погрузки и разгрузки снега, где предлагаемая модель не учитывает ограничения, такие как «пробки», ограничивающие скорость движения снегоуборочной техники, погодные условия и т.п.

В данной статье предлагается использовать компьютерное моделирование с применением активных компонентов, благодаря которым можно будет смоделировать взаимодействие нескольких этапов уборки с учетом ограничений. Причем для эффективной и своевременной уборки улиц важно рассматривать весь комплекс работ и ресурсов в целом, учитывая и технику, и обслуживающий персонал, и саму организацию уборки.

Организация зимней уборки снега

Механизированная уборка городской территории является одной из важных и сложных задач жилищно-коммунальных организаций города. Качество работ по уборке территорий зависит от рациональной организации работ и выполнения технологических режимов. Зимой проводят наиболее трудоемкие работы (удаление свежевыпавшего и уплотненного снега, борьба с гололедом, предотвращение снежно-ледяных образований). Для организации работ по механизированной уборке территорию города разбивают на участки, которые обслуживают механизированные колонны, обеспечивающие выполнение всех видов работ по установленной технологии. Для каждого административного района города созданы участки.

Организация уборки участка, особенно в зимний период, предусматривает четкое выполнение работ по каждой технологической операции. Обслуживаемый участок делят на маршруты, за которыми закрепляют определенное число машин.

Исходя из объемов работ и производительности машин, деление на маршруты производят на карте – плане участка, на который предварительно наносят

протяженность улиц, их категории, места заправки снегоуборочных машин, расположение баз технологических материалов, стоянок дежурных машин и т. д. Основываясь на характерных сведениях о снегопадах, их интенсивности и продолжительности за зиму, определяют необходимое число снегоуборочных машин и организацию их работы на участке.

В соответствии с маршрутными картами разрабатывают маршрутные графики. При изменении местных условий (движение на участке, ремонт дорожных покрытий на одной из улиц и т.д.) маршруты корректируют. Один экземпляр маршрутов движения снегоуборочных машин находится у диспетчера, другой – у водителя. Водителей машин закрепляют за определенными маршрутами, что повышает ответственность каждого исполнителя за сроки и качество работ.

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.

При подготовке к зимней уборке предварительно устанавливают режимы уборки, которые в первую очередь зависят от значимости улицы, интенсивности транспортного движения и других показателей, приводимых в паспорте улицы. Улицы группируют по категориям, в каждой из которых выбирают характерную улицу; по ней устанавливают режимы уборки всех улиц этой категории и объемы работ. Исходя из объемов работ, определяют необходимое число машин для выполнения технологических операций [8].

Городские территории зимой обычно убирают в два этапа (в случае без механизированной посыпки проезжей части противогололедными материалами):

1) сгребание и подметание снега с проезжей части улиц – это процесс, во время которого снегоуборочная техника избавляет проезжую часть от излишков снега, сталкивая его на обочину;

2) погрузка и удаление снега с городских проездов – процесс, при котором снег сгружают в самосвалы и вывозят на полигон.

Оба этапа зимней уборки улиц представлены на рис. 1. Представленные этапы зимней уборки улиц соответствуют технологической карте, которая описывает вид работы, – например, «Механизированная погрузка снега, сбор снега с грузчиком и вывозка снега самосвалами» [9].

С появлением новой снегоуборочной техники технологические карты обновляются, вследствие чего совершенствуется качество уборки.

Таким образом, данную систему с содержащимся в ней процессом снегоуборки можно рассматривать как систему массового обслуживания с дискретно-событийным характером процесса.

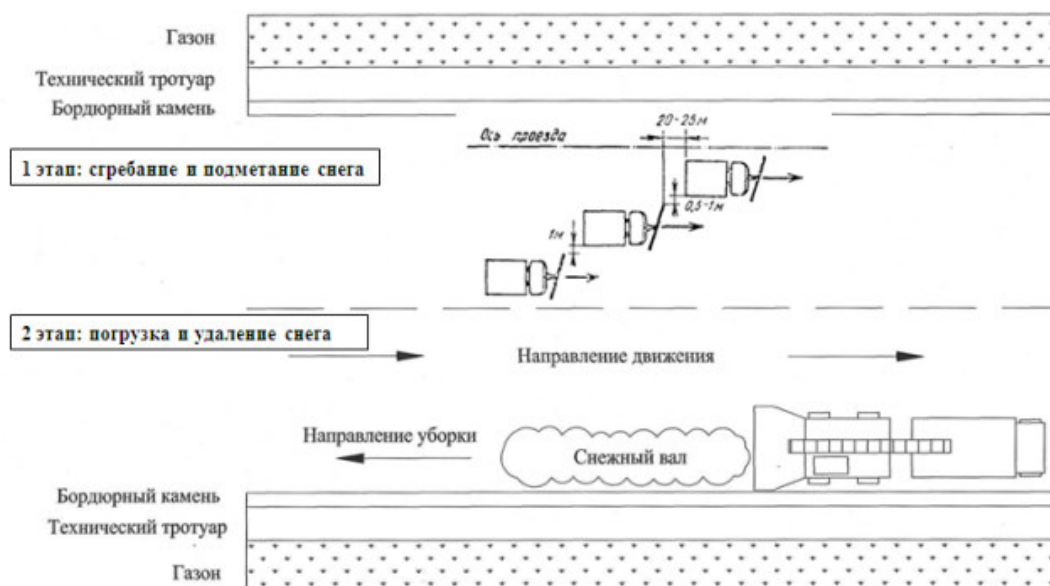


Рис. 1. Этапы зимней уборки улиц.

Дискретными объектами этого процесса являются грейдеры, снегопогрузчики, самосвалы и снегоотвал. Процессными действиями являются: сгребание, погрузка и разгрузка снега, а также его транспортировка. Управляющими действиями и предписаниями являются маршрутные карты и разработанные маршрутные графики. Возмущающими воздействиями и помехами являются движения на участке, ремонт дорожных покрытий на одной из улиц, а также меняющиеся гидрометеорологические условия. Для учета внешних воздействий маршруты корректируют.

Резюмируя, можно сказать, что сложность организации зимней уборки связана с неравномерной загрузкой парка снегоуборочных машин, зависящей от интенсивности снегопадов, их продолжительности, количества выпавшего снега, а также от температурных условий. Кроме того, необходимо учитывать интенсивность транспортного движения, помехи снегоуборке и техническое состояние парка. Указанные проблемы, как и поиск оптимальных управленческих решений, могут успешно определяться путем применения компьютерных моделей снегоуборочного процесса городских улиц.

Концепция компьютерного многоуровневого моделирования процессов снегоуборки городских улиц

Одним из основных преимуществ компьютерного 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, компьютерное моделирование позволяет провести серию экспериментов, осуществляющихся варьированием параметров модели. Входные параметры модели опираются на дейст-

вующие нормативные документы, регламентирующие данные процессы, причем при изменении нормативных документов модель корректируется.

Для построения такой модели предлагается применить метод многоуровневого компьютерного моделирования [10, 11]. Структурно-функциональная схема многоуровневого компьютерного моделирования снегоуборки показана на рис. 2.

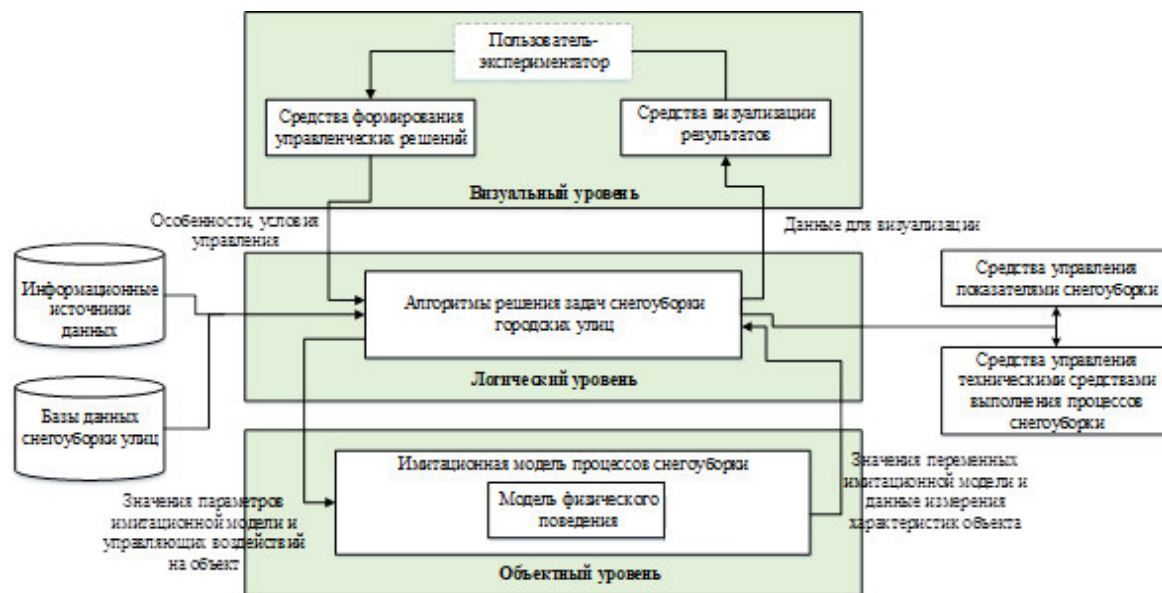


Рис. 2. Многоуровневая компьютерная модель снегоуборки.

В рамках моделирования такого организационного процесса управления как организация процесса уборки и вывозки снега она позволит изучить принцип действия уборки погрузчиком и самосвалом, их взаимодействия, необходимое время, затрачиваемое на процесс уборки и вывозки снега, выявить недостатки в существующей системе и сформулировать рекомендации по ее улучшению.

Каждый из перечисленных объектов снегоуборки предлагается представить в виде активного компонента (рис. 3).

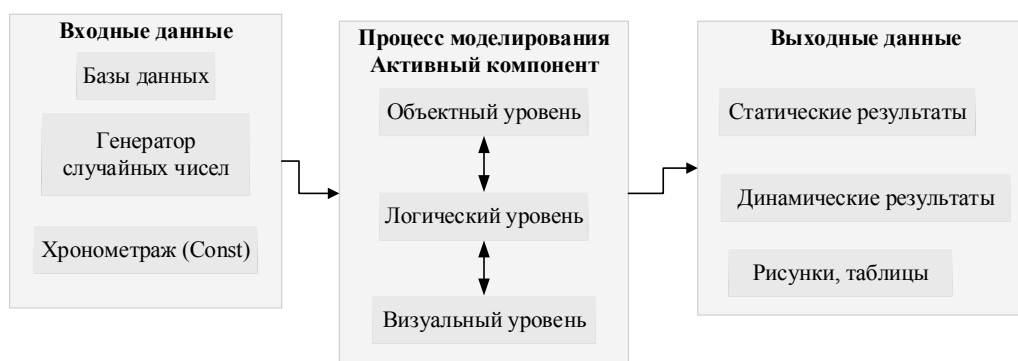


Рис. 3. Схема моделирования с активными компонентами.

Входные данные модели могут быть представлены в виде базы данных, – например, база данных, составленная согласно погодным условиям (прогнозируемым осадкам), база данных об убираемых территориях (закрепленных за УМП «Спецавтохозяйство») и т.д.

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

Для анализа процессов, протекающих в работе УМП «Спецавтохозяйство», предложена структура имитационных многоуровневых компьютерных моделей, включающая:

объектный уровень, на котором формируется модель, отражающая физическое поведение исследуемого объекта с подключенными к нему моделями исполнительных и измерительных устройств;

логический уровень, где формируется функциональная модель объекта исследования с выработкой управляющих воздействий на нее и с учетом заданных входных данных, сформированных пользователем;

визуальный уровень, содержащий средства визуализации результатов анализа компьютерной модели объекта исследования и формирования задающих воздействий и других реакций от модели.

Компьютерная многоуровневая модель, созданная на основе предложенной структуры, формируется в графической форме из компонентов, объединяемых связями на объектном и логическом уровнях. Связи объектного уровня отражают обмен мультифизическими энергетическими и многокомпонентными вещественными потоками между компонентами, составляющими модель объекта исследования с подключенных к ней моделями исполнительных и измерительных устройств. На логическом уровне компоненты соединены между собой связями, по которым осуществляется обмен сообщениями с данными различных типов между компонентами-источниками и компонентами-приемниками сообщений.

Понятие активного компонента применительно к процессам снегоуборки

Активный компонент (АК) представляет собой некоторую неделимую часть модели объекта исследования. Применительно к процессам снегоуборки городских улиц под активным компонентом понимается какая-либо одна снегоуборочная техника, со всеми процессами, происходящими с ней, – например, учитывающая процесс движения, погрузки, разгрузки и т.д. Модель объекта исследования содержит в себе: функциональную часть объекта; взаимосвязь измерительных и исполнительных устройств; устройство управления, осуществляющее генерацию внутренних событий компонента и производящее реакцию компонента на произошедшее внешнее событие; средства визуализации протекающих в АК процессов, а также средства интерактивного формирования задающих воздействий, локальных для этого активного компонента.

Модель активного компонента отображается на трех взаимосвязанных уровнях компьютерной многоуровневой модели.

Объектный уровень представляет собой физическую модель АК, которая с помощью системы алгебро-дифференциальных уравнений отображает динамику движения (погрузки).

Физическая модель АК представляет собой процессы движения, погрузки, разгрузки снегоуборочной техники и т.д.

Рассмотрим формирование модели на объектном уровне на примере движения и погрузки самосвала (рис.4).

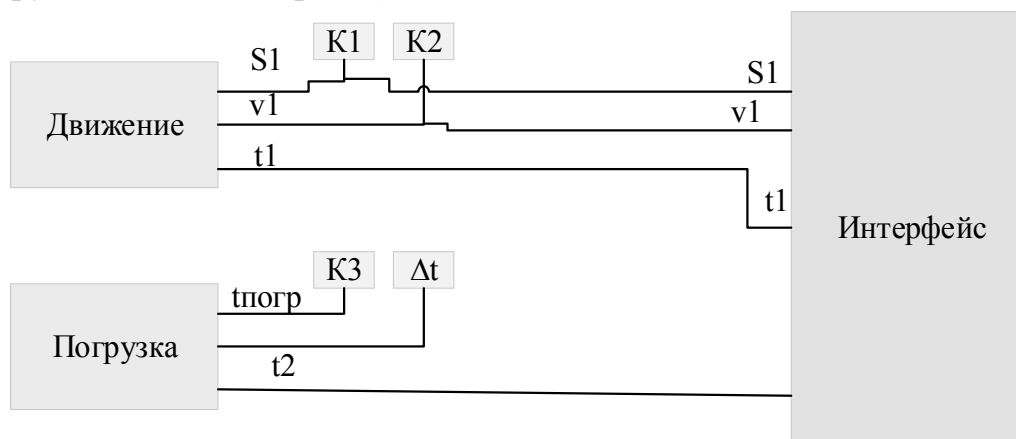


Рис. 4. Процессы движения и погрузки самосвала на объектном уровне.

Процесс движения описывается формулой:

$$\frac{dS1}{dt1} = v1,$$

где $S1$ – расстояние от автопарка до места уборки ($K1$); $v1$ – скорость движения снегоуборочной техники ($K2$); $t1$ – время, затрачиваемое на движение спецтехники от автопарка до места уборки.

Процесс погрузки описывается следующей формулой:

$$t2 = t_{\text{погр}} + \Delta t,$$

где $t2$ – время, затрачиваемое на погрузку снега в самосвал, с учетом помех, возникающих на дороге; $t_{\text{погр}}$ – время, затрачиваемое на погрузку снега в самосвал ($K3$); Δt – помехи, возникающие на дороге во время погрузки снега (например, парковка машин, мешающих процессу уборки).

Расстояние от автопарка до места уборки и скорость движения снегоуборочной техники могут быть получены с помощью онлайн-карты, – например, с помощью приложения "Яндекс пробки". При построении маршрута на основе онлайн-карты учитывается загруженность транспортной сети. На основе полученных данных формируется база данных, согласно которой параметризуется компьютерная модель объекта исследования. Скорость движения, помимо параметризации с карты, может быть задана в виде константы, как средняя скорость техники, либо с помощью генератора случайных чисел в определенном диапазоне. Время, затрачиваемое на погрузку снега, устанавливают путем хронометража на

характерных участках или на основании нормативных данных в зависимости от типа спецтехники, состава бригады и других факторов. Помехи, возникающие на дороге во время погрузки снега, могут быть заданы либо в виде const, либо в виде генератора случайных чисел в зависимости от ситуации на дорогах.

Логический уровень АК представляет собой дискретно-событийную модель, описывающую процессы спецтехники на уровне происходящих событий.

Для моделирования дискретно-событийных процессов предлагается использовать сети Петри, которые состоят из вершин двух типов — позиций и переходов, соединенных между собой дугами.

Перед моделированием определяются, какие действия происходят в системе, состояния, предшествовавшие этим действиям, а также те состояния, которые примет система после выполнения действия.

Выполнение событийной модели в сетях Петри описывает поведение системы. Анализ результатов выполнения показывает, в каких состояниях пребывала или не пребывала система, какие состояния в принципе не достижимы [12].

Классификация сетей Петри обширная, но для моделирования процессов 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 задержки являются случайными величинами, сеть называют стохастической сетью Петри. В стохастических сетях возможно введение вероятностей срабатывания возбужденных 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 имеем функциональную сеть Петри. Функциональная СП характеризуется тем, что отражает 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), т.е. 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, – например, определение временного интервала задержки. Функциональные сети Петри могут быть использованы в любой модели, содержащей задержки.

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 разгрузке самосвалов, когда одновременно на полигон их приходит несколько.

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, если объем снега не будет равен 0. На рис. 5 представлена модель логического уровня на примере движения и погрузки самосвала.

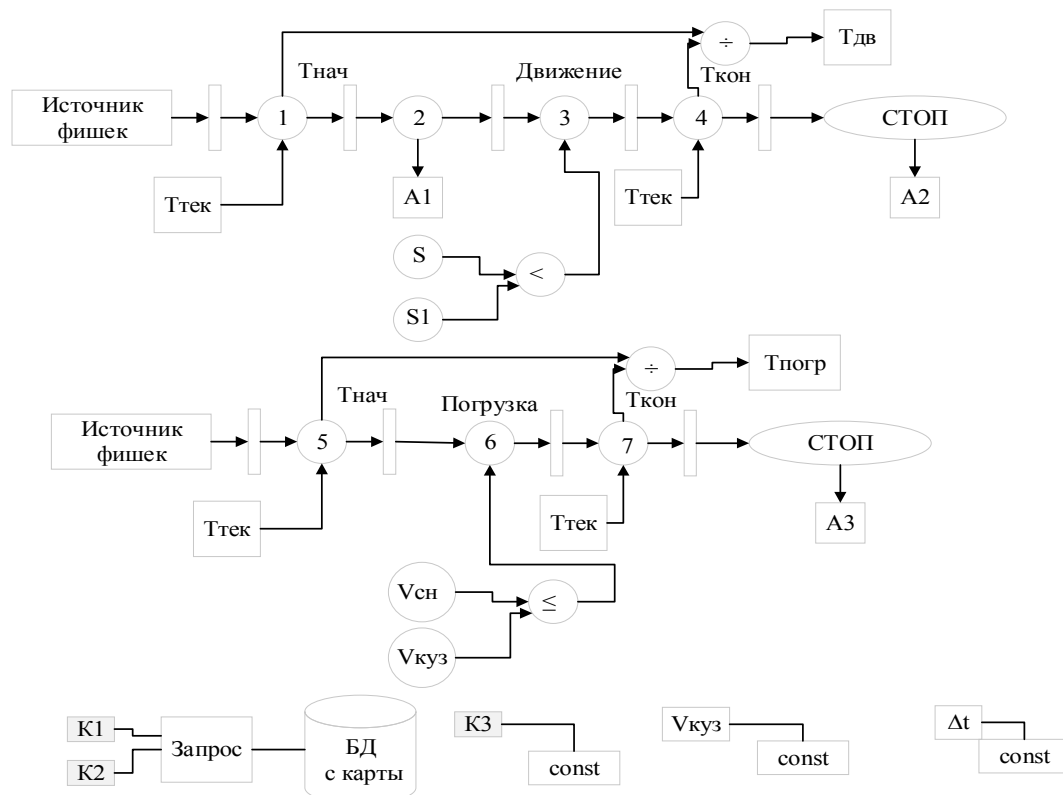


Рис. 5. Процессы движения и погрузки самосвала на логическом уровне.

Событиями этого уровня являются: движение самосвала от автопарка до убираемой территории (3), погрузка снега самосвалами (6).

Опишем движение самосвала от автопарка до убираемой территории.

Под компонентом «Источник фишек» понимают количество снегоуборочной техники, осуществляющей движение и погрузку.

Компонент «Позиция» 1 и «Позиция» 5 фиксирует начальное время моделирования с помощью Ттек.

Ттек – это время, фиксируемое средой моделирования при запуске модели с помощью атрибутов.

Компонент «Позиция» 2 задает скорость самосвала. Значение скорости необходимо на объектном и логическом уровнях, поэтому этот параметр имеет межуровневые связи, фиксируемые с помощью атрибутов.

Компонент «Позиция» 3 – это движение самосвала от автопарка до убираемой территории, причем событие будет считаться завершенным, когда самосвал проедет расстояние, равное заданному (которое должен был проехать).

Компонент «Позиция» 4 фиксирует конечное время моделирования, затем по формуле определяется время, затрачиваемое на движение самосвала:

$$T_{\text{дв}} = t_{\text{нач}} - t_{\text{кон}}.$$

Остановка эксперимента происходит, когда скорость самосвала равна 0.

Опишем погрузку снега самосвалами. Компонент «Позиция» 6 подразумевает погрузку снега самосвалами. Это событие выполняется до полного наполнения снегом объема кузова либо до отсутствия погружаемого в самосвал снега. В случае, когда объем загруженного снега равен объему кузова, эксперимент завершается.

На логическом уровне, помимо моделирования происходящих в модели событий, имеется связь с базой данных, из которой извлекаются параметры: расстояние от автопарка до убираемой территории и скорость движения самосвала. Также на этом уровне задаются следующие параметры: объем кузова самосвала, время помех (время задержки снегоуборочной техники на дорогах, возникающее, например, в результате парковки машин, мешающих процессу уборки) и время погрузки.

Визуальный уровень АК предназначен для визуализации протекающих в модели событий.

На рис. 6 представлена модель визуального уровня на примере движения и погрузки самосвала.

При визуализации результатов отображаются фиксируемые входные параметры, результаты проведенных расчетов, начало и конец происходящих событий.

Таким образом, расположенная на трех уровнях компьютерная многоуровневая модель активного компонента инкапсулирует описание всех трех видов его поведения: физического, логического и визуального, что соответствует несколь-

ким видам моделирования – физическому, математическому, дискретно-событийному, динамическому.



Рис. 6. Процессы движения и погрузки самосвалом на визуальном уровне.

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. Соответственно использование нескольких активных компонентов и добавление связей между ними формирует модуль исследуемого объекта.

Под влиянием различных факторов существующая организация процесса уборки снега характеризуется наличием очередей на этапах погрузки снега. Наличие очередей приводит к увеличению продолжительности всего процесса, что неминуемо приводит к ухудшению показателей работы организации. Этот фактор может быть учтен при взаимодействии нескольких активных компонентов.

Заключение

Реалии современного города таковы, что транспортные нагрузки на дорогах зимой требуют постоянного ухода за дорожным полотном. С учетом специфики климата в Сибири зимняя уборка улиц рассматривается, скорее, как ликвидация последствий стихийного бедствия.

В данной статье процессы уборки снега моделируются с помощью компьютерных моделей из активных компонентов, причем основным преимуществом моделирования как метода изучения и анализа различных процессов является то, что оно позволяет без существенных затрат спрогнозировать влияние внедряемых изменений, выбрать оптимальный план и правильно определить необходимые ресурсы для проведения снегоуборки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дорожно-транспортная аварийность в Российской Федерации за три месяца 2018 г. Информационно-аналитический обзор. – М.: ФКУ НЦ БДД МВД России, 2018.
2. Гидрометцентр России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://meteoinfo.ru/> (дата обращения 01.08.18).
3. Официальный портал МО «Город Томск» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/8cy> (дата обращения 05.08.18).
4. Телушкина Е.К. Организационно-экономические методы повышения эффективности функционирования транспортно-технологического комплекса уборки и утилизации снега: Дис. ... канд. экон. наук. – М.: МАДИ, 2013.
5. Райгородская В.С. Экономические предпосылки оптимизации зимнего содержания автомобильных дорог в крупных городах: Дис. ... канд. экон. наук. – М.: МАДИ, 1999.
6. Бакланов Ю.В. Совершенствование организации зимнего содержания автомобильных дорог на основе расчета цикличности работ: Дис. ... канд. техн. наук. – Воронеж, ВГАСУ, 2014.
7. Тюпаков С.В. Разработка метода проектирования организации зимнего содержания городских дорог. – Киев: КАДИ, 1987.
8. Инструкция по организации и технологии механизированной уборки населенных мест. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gov.spb.ru/Files/file/instruktsiya.doc> (дата обращения: 13.08.18)
9. УМП «Спецавтохозяйство» г. Томска. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sahtomsk.ru> (дата обращения: 10.08.18).
10. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В. Среда многоуровневого компьютерного моделирования химико-технологических систем. – Национальный исследовательский Томский гос. ун-т (Томск), 2017.
11. Дмитриев В.М., Ганджа Т.В., Коротина Т.Ю. Система визуализации и управления вычислительным экспериментом в среде многоуровневого моделирования МАРС // Доклады ТУСУРа. – 2010. – №1-2(21). – С. 149-155.
12. Котов В.Е. Сети Петри. – М.: Наука, 1984.

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Шелупановым.

E-mail:

Григорьева Татьяна Евгеньевна – tanya_grig_1991@mail.ru;

Дмитриев Вячеслав Михайлович – dmitriewvm@gmail.com;

Ганджа Тарас Викторович – gandgatv@gmail.com.