

УДК 608.2

М.С. Крутько, Т.Е. Григорьева  
**ПОСТРОЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА  
ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ ПРОЦЕССА УБОРКИ СНЕГА НА  
ПРИМЕРЕ ГОРОДА ТОМСКА**

*Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники (ТУСУР)*

*На примере города Томска проведена оптимизация маршрута уборки снега с целью минимизации холостого хода и возникновения помех в движении частного и общественного транспорта. В связи с этим описываются маршруты движения снегоуборочной техники г. Томска, анализ которых показал, что они не являются наилучшими. Для построения оптимального маршрута снегоуборочной спецтехники предлагается применить теорию графов, так как транспортная сеть по уборке снега представляет собой связный ориентированный граф. Конкретно осуществляется поиск наименьшей общей длины гамильтонова контура с помощью задачи коммивояжера методом ветвей и границ. При выборе оптимального маршрута учитывается утверждённый регламент уборки снега, согласно которому улицы I категории должны быть убраны за 4 часа, улицы II категории – за 8 часов, улицы III категории – за 12 часов. Исходя из расчётов, полученный оптимальный маршрут теоретически может улучшить процесс уборки снега в городе. Причём, построение графа не привязано к специфике расположения улиц города, соответственно такой процесс построения маршрутов можно считать универсальным. Он должен сократить не только время уборки снега, но и время построения самих маршрутов.*

**Ключевые слова:** уборка снега, маршруты, оптимизация, графы.

**Введение.**

Зимнее содержание дорог является важным фактором нормального функционирования дорожной системы любого города.

Основными задачами содержания дорог в зимний период являются организация работ по предупреждению образования скользкости на дорогах и своевременная её ликвидация, принятие необходимых мер по обеспечению безопасного и удобного проезда по дорогам и недопущению помех движения автомобильного и городского транспорта.

Несвоевременная уборка улиц приводит к загрязнению окружающей среды; ухудшению здоровья, как пешеходов, так и частично самих водителей; «пробкам»; авариям; а также невозможности добраться специализированным городским службам до места назначения в критических ситуациях, о чём свидетельствуют жалобы от населения, оповещения средств массовой информации и т.д. [1]. Кроме того, 16 января 2017г. была опубликована петиция с обращением к президенту страны с просьбой, обратить внимание, на ситуацию с уборкой снега в городе Томске [2].

Причинами несвоевременной уборки улиц являются нерациональная организация процесса уборки улиц, погодные условия и отсутствие достаточного количества уборочной спецтехники (далее снегоуборочной, т.к. речь идет об уборке в зимний период). Основным этапом организации процесса уборки улиц является построение оптимальных маршрутов движения снегоуборочной спецтехники.

Анализ литературных источников показывает, что исследование оптимизации маршрутов транспортных сетей проводится в разных областях, например, в сфере городского пассажирского транспорта [3], в сфере адресной доставки товара [4] и т.д. Так, например, в статье Гаваева А.С. «Оптимизация маршрутов движения снегоуборочной техники» [5] предлагается оптимизировать уборку мостов города Тюмени с помощью изменения количества проездов дорожной техники, тем самым сократив длину холостого хода. Однако, приведенные исследования, позволяющие решить проблему построения оптимальных маршрутов уборки снега, не затрагивают проблему глобально (в масштабах целого города).

В настоящей статье предлагается оптимизировать маршруты уборки снега с учётом регламента о нормах времени уборки улиц разных категорий.

В городе Томске содержанием улично-дорожной сети занимается унитарное муниципальное предприятие (УМП) «Спецавтохозяйство».

Проанализировав организацию работ УМП «Спецавтохозяйства» в зимний период, можно сделать вывод, что построение логистических маршрутов уборки снега не соответствует регламенту уборки улиц и не является наилучшим. В связи с этим предлагается оптимизировать маршруты уборки снега на основе теории графов и при наличии ограничений в виде установленных временных норм.

### **Материалы и методы.**

#### **Описание маршрутных карт снегоуборочной спецтехники.**

Механизированная уборка улиц – процесс сложный и трудоёмкий, требующий чёткой организации со стороны муниципального управления, его осуществляющего.

В зимний период времени организация уборки участка должна предусматривать чёткое выполнение работ по каждой технологической операции. Обслуживаемый участок (например, районы) делят на маршруты и за каждым закрепляют определенное число машин.

Ежегодно местной администрацией города утверждаются списки улиц, площадей и проездов, подлежащих уборке.

Улицы и дороги общего пользования делятся на следующие категории:

- скоростные дороги, магистральные улицы и дороги общегородского значения, грузового движения – I, II категории;
- магистральные улицы районного значения – II категория;
- улицы и дороги местного значения, дороги промышленных и складских районов - III категория;
- жилые улицы и проезды, поселковые улицы и дороги – IV, V категории [6].

В Томске улицы ранжируются внутри районов на I, II, III категории. У каждой улицы есть свои показатели в виде площади проезжей части, длины, площади тротуаров и т.п. Согласно Постановлению Администрации города Томска от 14 октября 2014 года № 1035 (с изменениями на 22 сентября 2017 года) «О Порядке организации и проведения ремонта и содержания автомобильных дорог местного значения муниципального образования “Город Томск”» [13] уборка проезжей части от снега должна быть завершена в следующие временные рамки: для улиц I категории – 4 часа, для улиц II категории – 8 часов, для улиц III категории – 12 часов [7].

Исходя из объёмов работ и производительности снегоуборочной спецтехники, разбивку на маршруты производят на карте-плане участка.

В соответствии с маршрутными картами, разрабатывают маршрутные графики, которые составляют таким образом, чтобы свести к минимуму холостые пробеги машин. При изменении местных условий, например, при изменении условий движения на участке, ремонте дорожных покрытий на одной из улиц и т.д., маршруты корректируют.

Необходимое количество снегоуборочной спецтехники и организация её работы на участке определяются согласно метеопрогнозам о снегопадах, их интенсивности и продолжительности за зимний период.

Снегоочистка городских улиц зависит от рациональной организации работ и точного выполнения технологических режимов [8].

Маршруты уборки снега в городе Томске составляются в виде таблицы на каждый отдельный вид снегоуборочной спецтехники. В таблицах указываются параметры убираемой улицы, количество выделенной снегоуборочной спецтехники и смены её работы. При этом в маршрутах строго указывается, в каком порядке идёт снегоуборочная спецтехника. Например, автогрейдеры работают после прохода плужно-щёточных снегоочистителей [9].

### **Применение теории графов для построения оптимальных маршрутов снегоуборочной спецтехники.**

Транспортная сеть представляет собой совокупность транспортных связей, по которым осуществляются пассажирские и грузовые перевозки.

Транспортную 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. Звенья графа представляются числами, которые могут быть расстоянием или временем движения.

Ориентированные по направлению звенья графа называются дугами. Всякое неориентированное звено графа 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, т.е. 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 [10].

В связи с тем, что транспортная сеть по уборке снега представляется в виде графа, предлагается оптимизировать маршрут сети на графах, реализация которой может быть представлена с помощью следующих задач:

1. Задача о кратчайшем пути, которая требует на графе найти 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 [11].

Построение транспортных маршрутов уборки снега приводит к составлению связного ориентированного графа с обязательным критерием наличия гамильтонова контура, так как каждую улицу необходимо пройти ровно один раз для минимизации холостого хода и возникновения помех в движении частного и общественного транспорта. Для вышеуказанного графа наилучший вариант задачи оптимизации – задача коммивояжера.

Математическая постановка задачи коммивояжера применительно к построению оптимального маршрута при уборке снега:

Исходными данными являются:  $I = \{1, \dots, n\}$  – множество убираемых улиц; матрица  $c_{ij}$  – попарные расстояния между убираемыми улицами; причем  $1 \leq i, j \leq n$ . Требуется найти маршрут минимальной длины, т.е. цикл, проходящий через каждую вершину ровно один раз и имеющий минимальный вес.

Переменными данной задачи являются:

$$x_{ij} = \begin{cases} \text{изменяется от 1 до 31 если снегоуборочная техника движется} \\ \text{от полосы } i \text{ к полосе } j \\ \text{Если снегоуборочная техника разворачивается на соседнюю,} \\ \text{но противоположную по направлению полосу (не проходя} \\ \text{холостого хода)} \end{cases}$$

Целевая функция будет иметь вид (1):

$$\min \sum_{i \in I} \sum_{j \in I} c_{ij} \cdot x_{ij} \quad (1)$$

При следующих ограничениях:

- неизвестные должны быть целые, т.е.  $x_{ij}$  - целое число;
- неизвестные должны быть все разные (критерий гамильтонова контура), т.е.  $x_{ij}$  – все разные;
- неизвестные должны быть меньше или равны 31 (так как это общее количество вершин, не считая 0-й), т.е.  $x_{ij} \leq 31$ ;
- неизвестные вершины должны быть больше или равны 1 (так как 0 – это точка начала и возврата), т.е.  $x_{ij} \geq 1$ .

Задача коммивояжера может быть решена следующими методами: жадные алгоритмы, метод ветвей и границ, динамическое программирование и др. В данной статье задача коммивояжера 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.

Далее представлен пример применения задачи оптимизации к маршрутам при уборке снега города Томска.

### **Результаты.**

При создании графа за вершины принимаются направленные полосы движения во избежание потери участков улиц, подлежащих уборке, и прерывания контура графа. За направленные дуги принимаются расстояния от конца одной полосы движения до начала другой полосы. Вес дуг определяется как длина этого расстояния в километрах.

Построение оптимального маршрута рассмотрим на примере составления маршрута уборки от снега улиц II категории Ленинского района города Томска, среди которых:

- 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 29-31).

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

Построение матрицы расстояний рекомендуется осуществить в Microsoft (MS) Excel для получения более точных результатов при дальнейших расчетах оптимального маршрута.

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 получился следующий маршрут: 0-12-11-14-13-17-19-20-18-15-16-21-23-24-22-25-27-28-29-30-31-26-9-10-5-7-8-6-3-1-2-4-0.

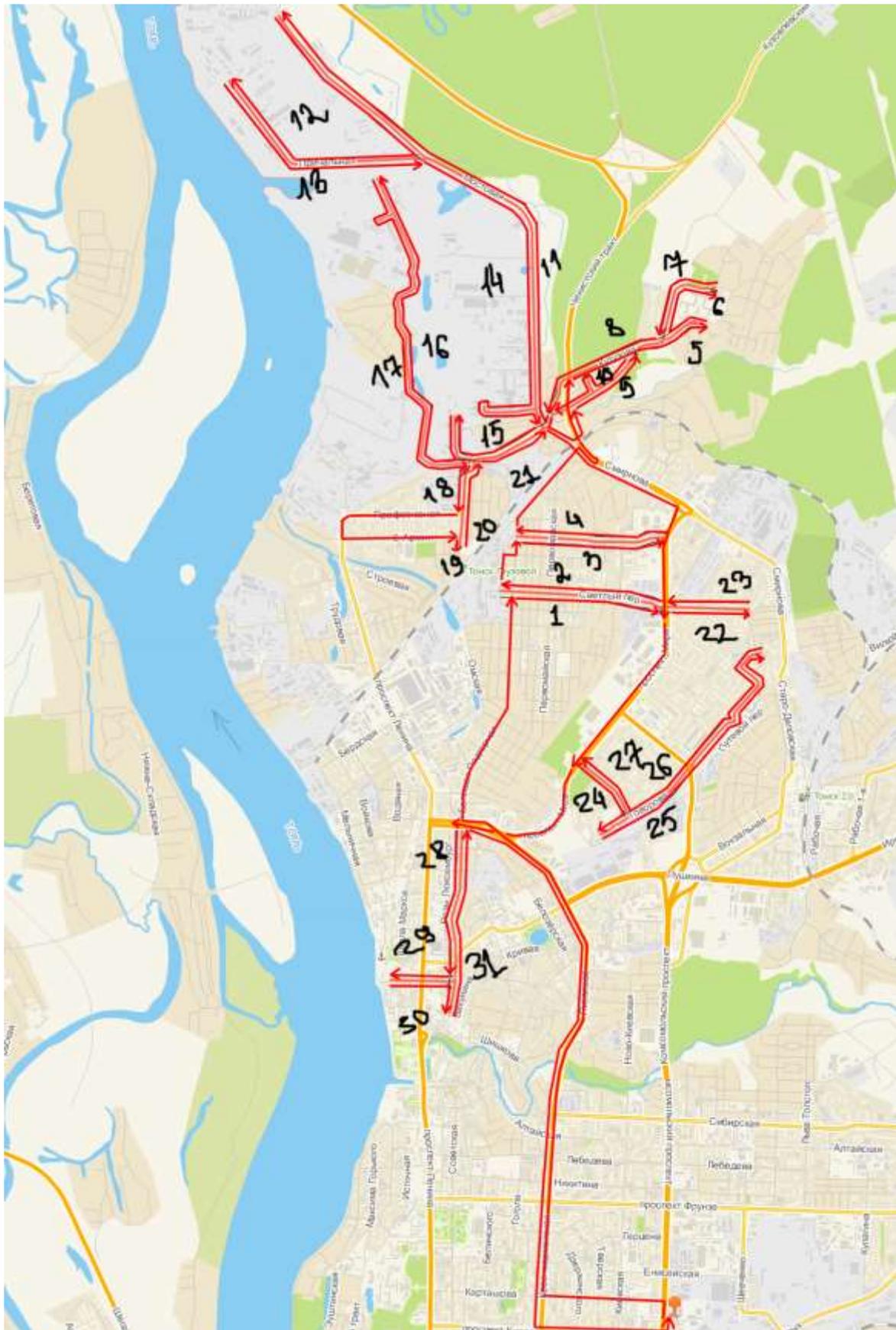


Рисунок 1 – Итоговый оптимальный маршрут

Полученная числовая последовательность с помощью обозначенных ранее номеров полос движения улиц собирается в маршрут: УМП «Спецавтохозяйство» (пр. Комсомольский, 66) – пер. Светлый (обе полосы) – пер. Урожайный (обе полосы) – ул. Кутузова (одна полоса) – ул. Асиновская (обе полосы) – ул. Кутузова (одна полоса) – ул. Амурская (обе полосы) – 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. Ижевская (обе полосы) – ул. Усть-Киргизка 2-я (одна полоса) – ул. Ференца Мюнниха (обе полосы) – ул. Карла Ильмера (одна полоса) – ул. Говорова (обе полосы) – ул. Карла Ильмера (одна полоса) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – пер. Совпартшкольный (обе полосы) – ул. Большая Подгорная (одна полоса) – УМП «Спецавтохозяйство» (пр. Комсомольский, 66).

Длина пути холостого хода составила  $L_x=22,78$  км.

Пример графического представления готового маршрута изображён на Рисунке 1.

Согласно технической документации УМП «Спецавтохозяйства», скорость уборки плужно-щёточной техники составляет  $V_p=40$  км/ч [9]; длина убираемых улиц Ленинского района II категории (представленных в списке нумерованных вершин) в сумме составляет  $L_y=18,518$  км [9]. При этом рабочее время удваивается на два, так как техника чистит две полосы движения.

Средняя скорость движения транспорта по городу не должна превышать 60 км/ч [12], поэтому в качестве нерабочей скорости, с которой техника движется в потоке машин в нерабочем режиме, была принята  $V_{нр}=50$  км/ч.

Исходя из вышеперечисленного, время уборки улиц II категории  $t_{II,п}$  предлагается вычислять по формуле (2):

$$t_{II,п} = \frac{L_y}{V_p} \cdot 2 + \frac{L_x}{V_{нр}} \quad (2)$$

где  $L_y$  – общая длина убираемых улиц II категории Ленинского района г. Томска;

$V_p$  – рабочая скорость плужно-щёточной техники;

$L_x$  – длина пути холостого хода;

$V_{нр}$  – нерабочая скорость.

Полученные затраты времени на прохождение построенного оптимального маршрута рассчитаны по формуле (3):

$$t_{II} = \frac{18,518}{40} \cdot 2 + \frac{22,78}{50} = 1,3815 \text{ (ч)} \quad (3)$$

Итого на уборку и передвижение между улицами II категории, подлежащими уборке в Ленинском районе, затрачивается около 1 часа 23 минут.

### Обсуждение.

По регламенту все улицы II категории требуется убрать за 8 часов [13]. Рассчитанное время  $t_{II}$  составляет 21% от общего времени на уборку  $t_{II}$ .

Город Томск административно разделён на 4 района: Кировский, Ленинский, Октябрьский и Советский. Соответственно, длина улиц II категории в Октябрьском районе  $L_{IIo}=33,716$  км, в Советском  $L_{IIc}=31,907$  км и в Кировском  $L_{IIк}=28,656$  км [9].

Приняв, что на холостой ход, согласно формуле 2, затрачивается примерно 50% времени рабочего хода, время уборки улиц II категории любого района города можно рассчитать по формуле (4):

$$t_{II \text{ район}} = \frac{L_y}{V_p} \cdot 2 + \frac{L_y}{V_p} \cdot 2 \cdot 0,5 = \frac{L_y}{V_p} \cdot 3 \quad (4)$$

где  $L_y$  – общая длина убираемых улиц II категории Ленинского района г. Томска;

$V_p$  – рабочая скорость плужно-щёточной техники.

Тогда общее время уборки улиц II категории определяется по формулам (5) и (6):

$$t_{II} = t_{IIl} + t_{IIo} + t_{IIc} + t_{IIк} \quad (5)$$

где  $t_{IIl}$  – время уборки улиц II категории Ленинского района г. Томска;

$t_{IIo}$  – время уборки улиц II категории Октябрьского района г. Томска;

$t_{IIc}$  – время уборки улиц II категории Советского района г. Томска;

$t_{IIк}$  – время уборки улиц II категории Кировского района г. Томска.

$$t_{II} = 1,3815 + \frac{L_{yo}}{V_p} \cdot 3 + \frac{L_{yc}}{V_p} \cdot 3 + \frac{L_{yk}}{V_p} \cdot 3 = 1,3815 + \frac{3}{V_p} \cdot (L_{yo} + L_{yc} + L_{yk}) \quad (6)$$

где  $L_{yo}$  – общая длина убираемых улиц II категории Октябрьского района г. Томска;

$L_{yc}$  – общая длина убираемых улиц II категории Советского района г. Томска;

$L_{yk}$  – общая длина убираемых улиц II категории Кировского района г. Томска;

$V_p$  – рабочая скорость плужно-щёточной техники.

Общее время уборки улиц II категории рассчитано в формуле (7):

$$t_{II} = 1,3815 + \frac{3}{40} \cdot (33,716 + 31,907 + 28,656) \approx 8,45 \text{ (ч)} \quad (7)$$

Исходя из соображений, что на маршрут будет выделено две плужно-щёточные машины (так как улицы II категории содержат две полосы [6]), идущие друг за другом [8], то на уборку всего города необходимо выделять как минимум 4 единицы техники. Например, 2 машины на Ленинский и Октябрьский районы и 2 машины на Кировский и Советский районы.

Для повышения эффективности уборки рекомендуется так же поступить и с улицами I категории: оптимизировать в каждом районе маршруты уборки и выделить на каждый район по 4 единицы спецтехники, так как по регламенту убирать улицы данной категории необходимо за 4 часа [13].

На данный момент в распоряжении УМП «Спецавтохозяйство» находится 13 плужно-щёточных машин, 4 из которых подлежат к списанию и 1 достигла максимума своего износа. Из чего следует, что работоспособной снегоуборочной спецтехники в собственности у УМП «Спецавтохозяйства» – 8 единиц. Исходя из этого, рекомендуется расширить автопарк спецтехники для повышения эффективности уборки улиц всего города Томска.

Вышеприведённые расчёты не учитывают погрешности во времени на заторы и аварийные ситуации на дороге, создаваемые частным и городским транспортом на путях прохождения снегоуборочной спецтехники.

Кроме того, стоит отметить, что такой процесс построения оптимальных маршрутов можно автоматизировать путём представления вершин в виде направленных полос, что позволит рассчитать не только наикратчайший, но и более рациональный путь. Например, исключаются варианты, когда построенный маршрут предлагает пройти две полосы движения, расположенные рядом, но противоположные по направлению потока движения.

### **Заключение.**

Критическая ситуация с механизированной уборкой снега в городе Томске приводит к необходимости исследования вопроса оптимизации маршрутов при уборке снега на основе графов с учётом установленных временных норм. Литературный обзор показывает, что такая проблема всё ещё является актуальной и нераскрытой.

Данная статья предлагает пример оптимизации маршрутов прохода снегоуборочной спецтехники по улицам II категории Ленинского района города Томска. Исходя из расчётов, построенный оптимальный маршрут теоретически может улучшить процесс уборки снега в городе. Причём, так как построение графа не привязано к специфике расположения улиц города, такой процесс построения маршрутов можно считать универсальным. Он должен сократить не только время уборки снега, но и время построения самих маршрутов.

При этом приведённый способ нахождения оптимальных маршрутов имеет перспективу развития в виде автоматизированного процесса при реализации в программном продукте.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Референдум. Сообщения СМИ. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
<http://www.referendum.tomsk.ru/topic.phtml?id=4988&view=news> (дата обращения: 15.06.18)
2. Петиция Президенту: «Сменить администрацию города Томска». [Электронный ресурс]. – Режим доступа:  
[https://www.change.org/p/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8E-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0-%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B0?recruiter=53041811&utm\\_source=share\\_petition&utm\\_medium=vk&utm\\_campaign=vk\\_share\\_responsive](https://www.change.org/p/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8E-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0-%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B0?recruiter=53041811&utm_source=share_petition&utm_medium=vk&utm_campaign=vk_share_responsive) (дата обращения: 15.06.18)
3. Мартынова Ю.А. Оптимизация маршрутов городского пассажирского транспорта [Текст] / Ю.А. Мартынова, Я.А. Мартынов, Е.А. Кочегурова // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. – Издательство: ООО "Консалтинговая компания Юком". – Тамбов, 2013. – с. 81-82
4. Гиндуллин Р.В. Оптимизация маршрута доставки однородного груза от множества производителей множеству потребителей: 05.13.01 - Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям). – Уфимский государственный авиационный технический университет. – Уфа, 2014. –147 с.

5. Гаваев А.С. Оптимизация маршрутов движения снегоуборочной техники // Новые технологии - нефтегазовому региону: материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Издательство: Тюменский индустриальный университет. – Тюмень, 2014. – с. 273-275
6. Классификация и основные параметры категорий городских дорог и улиц. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.pppa.ru/additional/09autoroads/highways\\_408.php](http://www.pppa.ru/additional/09autoroads/highways_408.php) (дата обращения: 22.06.18)
7. Официальный портал муниципального образования «Город Томск»: Улично-дорожная сеть. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/82w> (дата обращения: 25.06.18)
8. Инструкция по организации и технологии механизированной уборки населённых мест. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gov.spb.ru/Files/file/instruktsiya.doc> (дата обращения: 25.06.18)
9. УМП «Спецавтохозяйство» г. Томска. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://sahtomsk.ru> (дата обращения: 14.06.18)
10. Горев А.Э. Основы теории транспортных систем. Учебное пособие / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
11. Балюкевич Э.Л. ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИКА: Учебное пособие, руководство по изучению дисциплины / Э.Л. Балюкевич, Л.Ф. Ковалева, А.Н. Романников. – Москва: Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2007. – 125 с.
12. Скорость движения. Пункт 10 ПДД. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pdd-new.ru/skorost-dvizhenija> (дата обращения: 27.06.18)
13. Порядок организации и проведения ремонта и содержания автомобильных дорог местного значения муниципального образования «Город Томск» [Текст]: Постановление Администрации города Томска. – Томск, от 14 октября 2014 года № 1035 (с изменениями на 22 сентября 2017 года). – 14 с.

M.S. Krutko, T.E. Grigorieva  
**THE OPTIMIZATION OF TRANSPORT NETWORK'S ROUTES  
FOR SNOW CLEANING PROCESS ON THE EXAMPLE OF TOMSK  
CITY**

*Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (TUSUR)*

*The optimization of snow cleaning routes was conducted using the example of Tomsk city in order to minimize idling and disturbing of vehicle traffic. In that regard routes of the Tomsk snow-removing vehicles are described, the analysis of which showed that they are not the best. The graph theory is proposed to be applied in order to construct an optimal route of snow removal vehicles, because transport network is a connected oriented graph. Specifically, the lowest total length of the Hamiltonian contour is searched using the traveling salesman problem with branch and bound algorithm. The approved snow removal regulations are considered, when selecting the optimal route. According to these regulations the first category streets should be cleaned in 4 hours, the streets of category II – in 8 hours, the streets of category III – in 12 hours. Based on calculations, the obtained optimal route theoretically can improve the process of snow removal in the city. Moreover, construction of route's graph is not tied to specifics of the city streets location, so this optimization can be considered universal. It should not only reduce the time of harvesting snow in general, but also reduce the time of building routes themselves.*

**Keywords:** snow cleaning, routes, optimization, graphs.

**REFERENCES**

1. Referendum. Media reports. Available at: <http://www.referendum.tomsk.ru/topic.phtml?id=4988&view=news> (accessed: 15.06.18)
2. Petition to the President of the Russian Federation to change the administration of Tomsk city. Available at: [https://www.change.org/p/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8E-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0-%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B0?recruiter=53041811&utm\\_source=share\\_petition&utm\\_medium=vk&utm\\_campaign=vk\\_share\\_responsive](https://www.change.org/p/%D0%BF%D1%80%D0%B5%D0%B7%D0%B8%D0%B4%D0%B5%D0%BD%D1%82-%D0%B0%D0%B4%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%81%D1%82%D1%80%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8E-%D0%B3%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B4%D0%B0-%D1%82%D0%BE%D0%BC%D1%81%D0%BA%D0%B0?recruiter=53041811&utm_source=share_petition&utm_medium=vk&utm_campaign=vk_share_responsive) (accessed: 15.06.18)
3. Martynova Y.A. Optimization of urban passenger transport routes [Text] / Y.A. Martynova, Y.A. Martynov, E.A. Kochegurova // Science and education in the XXI century: a collection of scientific works based on materials of the International Scientific and Practical Conference. - Publisher: OOO "Konsaltingovaya kompaniya Yukom". - Tambov, 2013. - p. 81-82

4. Gindullin R.V. Dissertation «Optimization of routes of uniform cargo shipments from multiple manufacturers to multiple customers»: 05.13.01 system analysis, control and data processing (by industry) – Ufa State Aviation Technical University. – Ufa, 2014. – 147 p.
5. Gavaev A.S. Article «Optimization of routes for snow removal vehicles» // New technologies to oil and gas region: materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, graduate students and young scientists with international participation. – Publisher: Tyumen Industrial University. – Tyumen, 2014. – p. 273-275
6. Classification and main parameters of urban roads and streets categories. Available at: [http://www.pppa.ru/additional/09autoroads/highways\\_408.php](http://www.pppa.ru/additional/09autoroads/highways_408.php) (accessed: 22.06.18)
7. The official site of the municipal formation "City of Tomsk": Street-road network. Available at: <http://www.admin.tomsk.ru/pgs/82w> (accessed: 25.06.18)
8. Instruction for organization and technology of mechanized harvesting of populated areas. Available at: <http://www.gov.spb.ru/Files/file/instruktsiya.doc> (accessed: 25.06.18)
9. Unitary Enterprise "Spetsavtohozyaistvo" of Tomsk. Available at: <https://sahtomsk.ru> (accessed: 14.06.18)
10. Gorev A.E. Fundamentals of the theory of transport systems. Training manual / A.E. Gorev. – St. Petersburg.: SPSUACE, 2010. – 214 p.
11. Balyukevich E.L. DISCRETE MATHEMATICS: Training manual, discipline guide / E.L. Balyukevich, L.F. Kovaleva, A.N. Romannikov. – Moscow: Moscow State University of Economics, Statistics and Informatics, 2007. – 125 p.
12. Traveling speed, par. 10 of Traffic Laws. Available at: <http://pdd-new.ru/skorost-dvizhenija> (accessed: 27.06.18)
13. The order of organization and carrying out of repair and maintenance of local value highways of municipal formation "City of Tomsk" [Text]: Resolution of the City Administration of Tomsk. – Tomsk, 10.04.2014 № 1035 (with changes from 10.22.2017). – 14 p.