

## УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

УДК 656.021:022

**А. А. Абрамова**, Управление Минприроды УР, Ижевск  
**М. Ю. Дягелев**, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова  
**В. Г. Исаков**, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

### СОСТАВЛЕНИЕ МАРШРУТА ОБВАЛОВКИ И ВЫВОЗА СВЕЖЕВЫПАВШЕГО СНЕГА С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА КЛАРКА – РАЙТА

*Рассмотрена возможность применения логистических методов при зимнем содержании улично-дорожной сети на примере территории г. Ижевска. С помощью метода Кларка – Райта проведено планирование маршрута обваловки и вывоза снежных масс с заданной территории.*

**Ключевые слова:** зимнее содержание улично-дорожной сети, обваловка, метод Кларка – Райта, задача коммивояжера, связанный граф.

Согласно СП 42.13330.2011 [1] к магистральным улицам районного значения относятся улицы, основное назначение которых – связь посредством общественного транспорта в пределах района. Таким образом, очистка от снега и льда магистральных улиц в зимний период является первоочередной задачей в обеспечении бесперебойного движения общественного транспорта и безопасного движения пассажирского транспорта, что было более подробно рассмотрено нами в предыдущих исследованиях [2].

Значимую роль при этом занимает эффективность использования ресурсов процесса уборки и вывоза выпавшего снега: планирование маршрута обработки дорожного полотна песчано-солевой смесью и маршрута обваловки снега. Подобная задача очень близка по своему смыслу к задаче коммивояжера. Но в отличие от задачи коммивояжера в данном случае необходимо посетить все дуги связанного графа, а не все вершины, как в классической задаче. Меняется также сама формулировка задачи, заключающаяся в отыскании наиболее выгодного маршрута, проходящего через дуги назначения хотя бы раз в каждом направлении, что указано в «Методических рекомендациях...» [3]. Уборка снега с улиц проходит в несколько этапов. После прекращения снегопада или разрыхления наката (вследствие частичного плавления от воздействия противогололедных реагентов и воздействия автотранспорта) рыхлую водоснежную массу убирают с проезжей части к обочине последовательными проходами плужно-щеточных снегоочистителей (обваловка). В дальнейшем обвалованный снег вывозят на места складирования и/или утилизации снега. Следовательно, задачу коммивояжера можно переформулировать следующим образом: составить маршрут с минимальным пробегом тяжелой снегоуборочной техники за минимальное количество повторений по всем улицам на заданной территории, то есть составить кольцевой

маршрут движения снегоуборочной техники. При составлении маршрута необходимо учесть приоритетные участки уборки и участки с односторонним движением.

Для оценки эффективности составления маршрутов обваловки и уборки снежных масс была рассмотрена часть г. Ижевска с условным пунктом складирования снега (рис. 1).

Для определения маршрутов следования и оптимального планирования процесса уборки снега контур, обозначенный на рис. 1, был представлен в виде связанного графа с весами ребер (рис. 2). Веса ребер (длины улиц) были замерены с помощью приложения Яндекс-Карты, погрешность измерения  $\pm 1$  м.

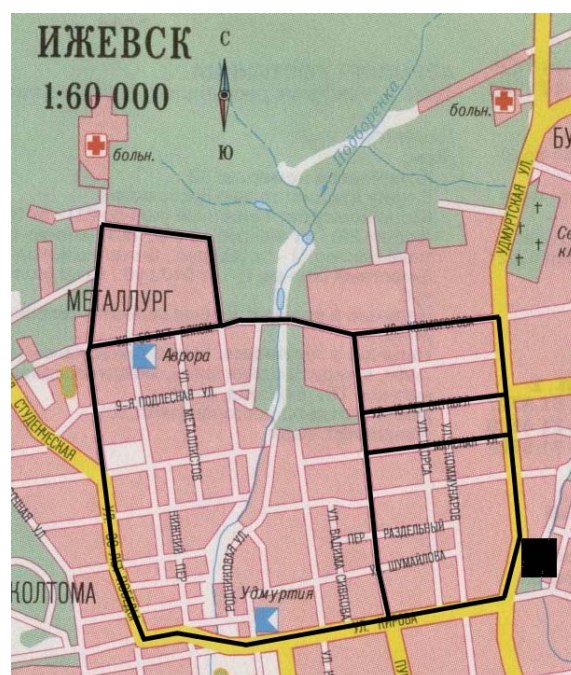


Рис. 1. Часть г. Ижевска с обозначением магистральных улиц

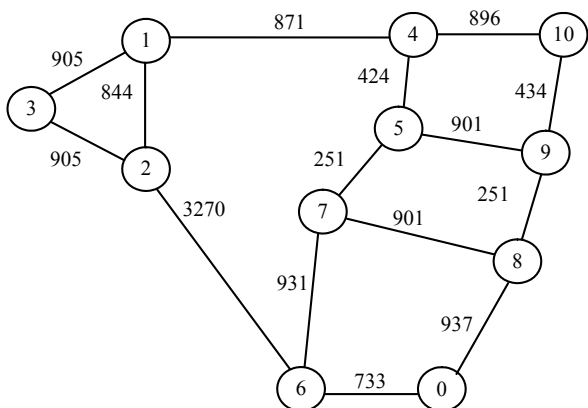


Рис. 2. Связанный граф маршрутов уборки снега с весами ребер, м

Таким образом, из связанного графа необходимо получить ориентированный граф, то есть из имеющегося контура проложить путь следования снегоуборочной техники без прохождения через одно ребро графа дважды в одном направлении. Из условий организации дорожного движения заданной территории следует учитывать, что по контуру 2-4-10-2 движение в рассматриваемом случае возможно только в одном направлении, а именно по пути

2-10-4-2, а в остальных контурах движение разрешено в обоих направлениях. По имеющемуся контуру была составлена матрица весов ребер контура (табл. 1), где 1-10 – перекрестки и узлы улично-дорожной сети (УДС).

Для решения задачи коммивояжера существует несколько методов, которые подробно рассмотрены в [4, 5], в рассматриваемом случае нами был использован метод Кларка – Райта, который относится к числу приближенных итерационных методов с погрешностью решения не более 5–10 %.

Для решения задачи составляем табл. 2 выигрышей в прохождении маршрута и длин улиц.

Таблица 1. Веса ребер контура, м

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	–	356	515	–	–	–	–	–	–	–
2	356	–	–	844	–	–	–	–	–	905
3	515	–	–	–	424	–	–	–	–	1330
4	–	844	–	–	–	3270	–	–	–	905
5	–	–	424	–	–	–	251	–	901	–
6	–	–	–	3270	–	–	931	1670	–	–
7	–	–	–	–	251	931	–	901	–	–
8	–	–	–	–	–	1670	901	–	251	–
9	–	–	1330	–	901	–	–	251	–	–
10	–	905	–	905	–	–	–	–	–	–

Таблица 2. Матрица расстояний и метровых выигрышей при обваловке снега на заданном участке

	Матрица расстояний между пунктами (dij), м										
Матрица метровых выигрышей (Sij), м	0	5013	4003	4908	2339	1915	733	1664	937	1188	1622
	0	1	844	905	871	1295	4280	1546	2447	2196	1767
	0	8172	2	905	1715	2139	3270	4201	4940	3040	2611
	0	9016	8006	3	2620	3044	4175	5106	5845	3945	3516
	0	6481	4627	4627	4	424	1606	675	1576	1330	896
	0	5633	3779	3779	3830	5	1182	251	2089	901	1335
	0	1466	1466	1466	1466	1466	6	931	1670	1921	2355
	0	5131	1466	1466	3328	3328	1466	7	901	1152	1586
	0	3503	0	0	1700	763	0	1700	8	251	685
	0	4005	2151	2151	2197	2202	0	1700	1874	9	434
	0	4868	3014	3014	3065	2202	0	1700	1874	2376	10

На матрице выигрышей определяются ячейки (i\*, j\*) с максимальным выигрышем Smax:

$$S_{max} = \max_{i,j} s(i, j) = s(i^*, j^*).$$

При этом должны соблюдаться три условия:

- 1) пункты i\* и j\* не входят в состав одного и того же маршрута;
- 2) пункты i\* и j\* являются начальным и/или конечным пунктом тех маршрутов, в состав которых они входят;
- 3) ячейка (i\*, j\*) не заблокирована (то есть рассматривалась на предыдущих шагах алгоритма).

На основе полученных метровых выигрышей и с учетом трех названных условий было проведено объединение радиальных маршрутов в кольцевые (табл. 3).

Комментарии к таблице 3

Графа 1 – номер итерации.

Графы 2, 3 – номера пунктов i\* и j\*, которые обозначают ячейку с максимальным метровым выигры-

шем Smax = s(i\*, j\*), найденную в результате просмотра матрицы метровых выигрышей (табл. 2).

Графа 4 – значение максимального метрового выигрыша Smax.

Графы 5, 6 и 7 – результаты проверки условий 1, 2 и 3; «+» – положительный результат; «-» – отрицательный результат.

Графа 8 – структура кольцевого маршрута, образовавшегося на данной итерации.

На основе полученных метровых выигрышей и с учетом трех названных условий радиальные маршруты были объединены в кольцевые.

Суммарный выигрыш за 31 итерацию составляет:

$$S_{max} = 9016 + 8172 + 4627 + 3830 + 3328 + 3014 + 2376 + 1874 + 1466 = 37703 \text{ м,}$$

а общий пробег транспорта, соответственно,

$$L_1 = L_0 - S = 10941 \text{ м,}$$

где  $L_0$  – общий пробег снегоуборочной техники, при радиальной схеме обваловки, то есть сумма девяти радиальных маршрутов (от условного места складирования снега – пункт «0» на рис. 2 – до пересечения улиц – узлов/вершин графа):

$$L_0 = 2d_{0-1} + 2d_{0-2} + \dots + 2d_{0-10} = 48644 \text{ м.}$$

Таблица 3. Решение задачи очистки улиц от снега методом Кларка – Райта

№ п/п	$i^*$	$j^*$	$S_{\max}$	Условия			Маршрут
				1	2	3	
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	3	9016	+	+	+	0-1-3-0
2	2	1	8172	+	+	+	0-2-1-3-0
3	2	3	8006	-	-	+	
4	1	4	6481	+	-	+	
5	1	5	5633	+	-	+	
6	1	7	5131	+	-	+	
7	1	10	4868	+	-	+	
8	2	4	4627	+	+	+	0-4-2-1-3-0
9	3	4	4627	+	-	+	
10	9	1	4005	-	-	+	
11	5	4	3830	+	+	+	0-5-4-2-1-3-0
12	3	5	3779	+	-	+	
13	8	1	3503	-	-	+	
14	7	5	3328	+	+	+	0-7-5-4-2-1-3-0
15	4	7	3328	-	-	+	
16	4	10	3065	-	-	+	
17	3	10	3014	+	+	+	0-7-5-4-2-1-3-10-0
18	10	2	3014	-	-	+	
19	10	9	2376	+	+	+	0-7-5-4-2-1-3-10-9-0
20	10	5	2202	-	-	+	
21	5	9	2202	-	-	+	
22	4	9	2197	-	-	+	
23	2	9	2151	-	-	+	
24	9	3	2151	-	-	+	
25	8	9	1874	+	+	+	0-7-5-4-2-1-3-10-9-8-0
26	10	8	1874	-	-	+	
27	8	7	1700	-	-	+	
28	7	9	1700	-	-	+	
29	10	7	1700	-	-	+	
30	4	7	1700	-	-	+	
31	6	7	1466	+	+	+	0-6-7-5-4-2-1-3-10-9-8-0

Протяженность полученного маршрута 0-6-7-5-4-2-1-3-10-9-8-0 (расстояния между вершинами представлены в табл. 2) составляет  $L_1 = 10941$  м, что короче на 77 % по сравнению с радиальной схемой. Следует заметить, что данный маршрут не является оптимальным по следующим причинам.

1. Двойное прохождение кольцевой развязки с односторонним движением 2-1-3, поэтому необходимо убрать пункт 3 из кольцевого маршрута.

2. Выпали из схемы очистки три маршрута: 0-9-5-0, 0-8-7-0 и 0-2-0 (рис. 3).

С учетом всего вышесказанного получают следующие кольцевые маршруты: 0-6-7-5-4-2-1-10-9-8-0, 0-8-9-10-4-5-7-6-0, 0-9-5-7-0, 0-7-5-9-0 и 0-2-0. Результаты расчетов новых маршрутов сведены в табл. 4.

Следует заметить, что итоговый маршрут получился почти на 40 % короче радиальной схемы уборки и вывоза снежных масс. Таким образом, предложенный подход составления маршрутов при зимнем

содержании УДС позволяет сократить время уборки, количество расходуемых противогололедных реагентов и горюче-смазочных материалов.

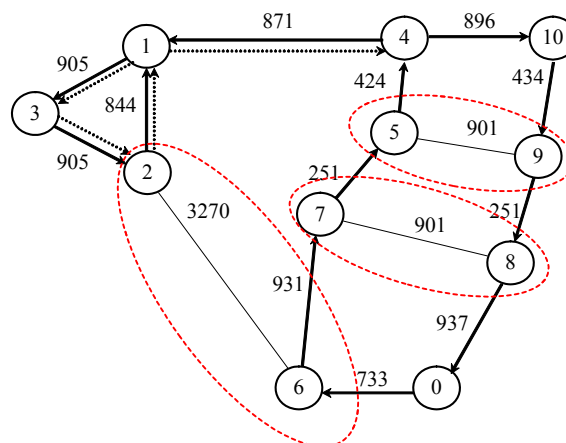


Рис. 3. Сетевой граф обваловки снега на заданной территории

Таблица 4. Результат решения задачи обваловки проезжей части дорог заданного участка

№ п/п	Маршрут	Пробег, м
1	0-6-7-5-4-2-1-10-9-8-0	8453
3	0-8-9-10-4-5-7-6-0	4857
4	0-9-5-7-0	4178
5	0-7-5-9-0	4178
6	0-2-0	8006
<b>Итого</b>		<b>29672</b>

**Выводы**

1. Для повышения эффективности зимнего содержания УДС необходимо планирование и/или составление маршрутов обваловки и вывоза снежных масс с минимальным пробегом тяжелой снегоуборочной техники за минимальное количество повторений по всем улицам на заданной территории с учетом приоритетных участков и особенностей организации дорожного движения.

2. Для решения поставленной задачи на территории г. Ижевска был использован метод Кларка – Райта, с помощью которого был составлен кольцевой маршрут обваловки и вывоза снежных масс, полученный маршрут короче на 77 % по сравнению с радиальной схемой.

3. Метод Кларка – Райта не позволяет охватить все улицы (дуги) заданной территории, так как решает в первую очередь классическую задачу коммивояжера, поэтому требуется модернизация данного метода для решения задач зимнего содержания УДС.

**Библиографические ссылки**

1. СП 42.13330.2011. Градостроительство. Планировка и застройка городских и сельских поселений. – М., 2011. – 110 с.  
 2. Абрамова А. А., Дягелев М. Ю., Исаков В. Г. Сравнительный анализ причин дорожно-транспортных происшествий по сопутствующим дорожным условиям на примере г. Ижевска // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 4. – С. 119–122.

3. Методические рекомендации по ремонту и содержанию автомобильных дорог общего пользования [Приняты и введены в действие письмом Росавтодора от 17.03.2004 № ОС-28/1270-ис]. – М., 2004. – 229 с. – URL: <http://base.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc;base=STR;n=9829> (дата обращения: 25.03.2013).

4. Загороднев Д. И., Санакулова Л. А., Салахеева А. И. Исследование методов решения транспортных задач при управлении материальными потоками предприятия // Социально-экономические и технические системы : Исследование, проектирование, оптимизация. – 2010. – № 53. – С. 10–38.

5. Черкесов А. Г. Экономика: практические задачи и решения : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2002. – 50 с.

A. A. Abramova, Resources Conservation Administration of Udmurt Republic, Izhevsk  
M. Yu. Dyagelev, Post-graduate, Kalashnikov Izhevsk State Technical University  
V. G. Isakov, DSc in Engineering, Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University

### Route Planning Fresh Snow Bunding and Removal by Clarke-Wright Method

*The possibility of using logistic methods for winter maintenance of the road network in the case study of Izhevsk is considered. With the help of the Clarke-Wright method the route planning of snow mass bunding and removal from a given territory is carried out.*

**Key words:** winter maintenance of the road network, bunding, Clarke-Wright, traveling salesman problem, connected graph.

УДК: 519.711.3

Д. А. Мокроусов, аспирант, Пензенская государственная технологическая академия

Э. В. Карпунин, кандидат технических наук, Пензенская государственная технологическая академия

В. С. Дятков, Пензенская государственная технологическая академия

С. Б. Демин, доктор технических наук, Пензенская государственная технологическая академия

## ПРИМЕНЕНИЕ ЧИСЛЕННЫХ МЕТОДОВ ДЛЯ РАСЧЕТА МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ В МАГНИТОСТРИКЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРАХ

*Рассмотрен способ получения системы конечно-разностных уравнений для расчета магнитных полей магнитоотрицательных преобразователей уровня (МПУ) накладного типа. Приведен оптимальный численный метод их решения.*

**Ключевые слова:** МПУ накладного типа, численные методы.

Современные условия развития промышленности привели к наличию большого разнообразия приборов для измерения и контроля уровня. Требования, предъявляемые к ним, весьма различны и зависят от области применения. Однако главными из них остаются высокая точность и разрешающая способность, возможность работы в агрессивных средах, низкая стоимость и относительная простота конструкции. Всем этим требованиям удовлетворяют МПУ, в частности, новый подкласс устройств – МПУ накладного типа на крутильных волнах.

Отличительной особенностью накладных МПУ является применение бесконтактного метода измерения уровня. Передача информации в них происходит посредством взаимодействия через немагнитную стенку резервуара магнитного поля постоянного магнита напряженностью  $H_{0,н}$  с магнитным полем магнитоотрицательного звукопровода с током. В результате этого взаимодействия в среде последнего формируется ультразвуковая волна кручения, которая далее считывается сигнальным электроакустическим преобразователем [1].

Выбор ширины  $H$  немагнитной стенки резервуара, где устанавливается МПУ, влияет на эффектив-

ность его работы, что является важной задачей, решение которой позволяет добиться улучшения характеристик МПУ накладного типа.

С целью улучшения технических и эксплуатационных характеристик МПУ накладного типа возникает задача поиска оптимальной ширины  $H$  немагнитной стенки резервуара при их использовании, при которой напряженность  $H_{0,н}$  его магнитного поля подмагничивания будет достаточной для формирования ультразвуковой волны кручения в среде его звукопровода. С целью выявления такой зависимости был проведен расчет магнитного поля МПУ накладного типа с применением численных методов и реализованных в виде программы для ЭВМ [1, 2].

Ранее было показано, что конечно-разностные уравнения, описывающие поведение магнитного поля МПУ накладного типа, имеют вид [1, 2]

$$\begin{aligned} & A_1 \frac{v_4 + v_1}{2} + A_2 \frac{v_1 + v_2}{2} + A_3 \frac{v_2 + v_3}{2} + \\ & + A_4 \frac{v_3 + v_4}{2} - A_0 \frac{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}{2} = \\ & = A_1 k_1 + A_2 k_2 + A_3 k_3 + A_4 k_4 - \\ & - A_0 (k_1 + k_2 + k_3 + k_4) = -i, \end{aligned} \quad (1)$$