

УПРАВЛЕНИЕ, ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И ИНФОРМАТИКА

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

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГРАФОВ В ОЦЕНКЕ БЕЗОПАСНОСТИ ГОРОДСКОЙ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ *

На основе методов системного анализа – метода графов – смоделирована вероятность возникновения дорожно-транспортного происшествия на основе имеющейся статистики аварий на улицах города Ижевска. В качестве граф-модели было использовано дерево происшествий с логическими связями ветвей, которое позволяет качественно и количественно оценить безопасность улично-дорожной сети.

Ключевые слова: метод графов, дерево происшествий, дорожно-транспортное происшествие, улично-дорожная сеть.

Проведенная ранее оценка факторов [1], влияющих на пропускную способность улично-дорожной сети (УДС) в зимнее время, показала, что основные причины возникновения транспортных заторов можно разделить на четыре группы:

- 1) характеристика проезжей части;
- 2) транспортный фактор;
- 3) утилизация снежных масс;
- 4) общественный транспорт.

Оценка этих групп показала, что наименьшим приоритетом обладает группа «характеристика проезжей части». С другой стороны, 25 % всех дорожно-транспортных происшествий (ДТП), которые чаще всего являются причинами больших транспортных заторов, происходит из-за неудовлетворительного состояния дорожного покрытия или характеристики проезжей части [2].

Для более детального изучения причин возникновения ДТП в данной статье с помощью метода графов оценена вероятность возникновения ДТП. В качестве граф-модели использовано дерево происшеств-

вий с логическими связями ветвей, которое позволяет наглядно и довольно простым методом качественно и количественно оценить безопасность УДС как результат работы системы зимнего содержания УДС.

Для построения модели дерева происшествий использовались статистические данные о количестве и причинах возникновения ДТП в городе Ижевске в течение 2008–2011 гг. (рис. 1) [2, 3]. Сопутствующие дорожные условия, при которых были совершены ДТП, разделены на несколько групп (табл. 1).

Соответственно, дерево происшествий будет иметь пять ветвей, соединенных логическими связями (рис. 2).

Для расчета вероятности возникновения ДТП полученная статистика аварий была соотнесена с общим количеством транспортных средств (ТС), зарегистрированных в городе Ижевске, – более 140 тыс. ед. [2, 3]. В результате была получена вероятность совершения ДТП одним ТС в течение года на УДС города Ижевска (табл. 2).

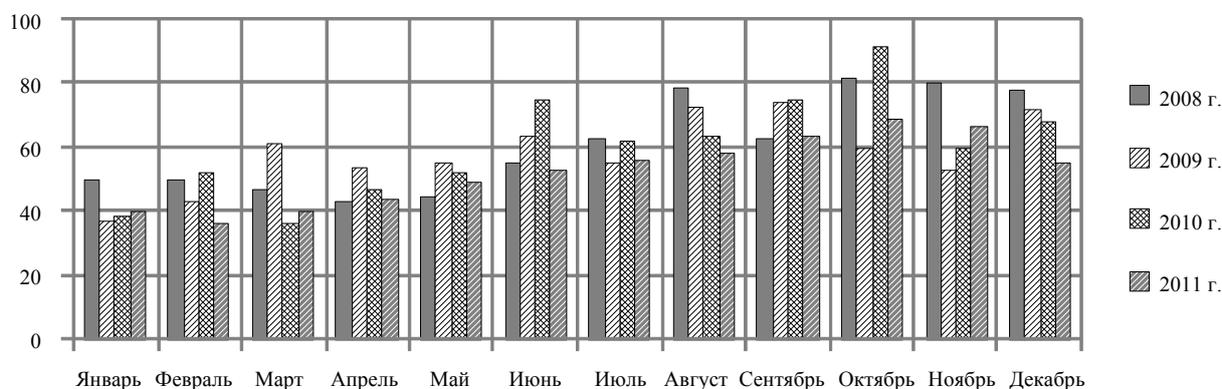


Рис. 1. Количество ДТП в городе Ижевск за 2008–2011 гг.

© Абрамова А. А., Дягелев М. Ю., Исаков В. Г., 2013

Получено 28.03.13

* Исследования проводились в рамках государственного заказа № ГЗ/ИВГ–2012 Министерства образования и науки Российской Федерации.

Таблица 1. Статистика ДТП по условиям возникновения

№ п/п	Всего ДТП в Ижевске	2008	2009	2010	№ п/п	Всего ДТП в Ижевске	2008	2009	2010
		735	684	722			735	684	722
<i>Количество ДТП по дням недели</i>					<i>По освещению</i>				
1	Понедельник	105	101	104	20	Светлое время суток	404	410	435
2	Вторник	109	94	94	21	В темное время, освещение ВКЛ	153	123	145
3	Среда	125	90	112	22	В темное время, освещение НЕ ВКЛ	32	30	25
4	Четверг	101	99	109	23	Освещение отсутствует	146	121	117
5	Пятница	120	132	124	20	Светлое время суток	404	410	435
6	Суббота	94	97	106	21	В темное время, освещение ВКЛ	153	123	145
7	Воскресенье	81	71	73	<i>По состоянию погоды</i>				
<i>По времени суток, данные за год</i>					24	Ясно	405	428	490
8	Утро (с 7.00 до 11.00)	101	103	136	25	Пасмурно	247	173	155
9	День (с 11.00 до 18.00)	185	202	184	26	Туман	3	5	5
10	Вечер (с 18.00 до 22.00)	220	210	205	27	Дождь	48	32	36
11	Ночь (с 22.00 до 7.00)	229	169	197	28	Снегопад	32	46	36
<i>По состоянию проезжей части</i>					<i>Неудовлетворительное состояние дорожных условий</i>				
12	Сухое	455	437	461	29	Низкие сцепные качества покрытия	45	61	43
13	Мокрое	165	115	112	30	Отсутствие горизонтальной разметки	35	20	17
14	Загрязненное	5	1	2	31	Недостаточность освещения	17	23	8
15	Свежеуложенная поверхность, обработанная	2	1	1	32	Неровность покрытия	4	8	2
16	Заснеженное	40	61	42	33	Дефекты покрытия	10	20	12
17	Гололедица	20	19	11	34	Отсутствие ограждений в необходимых местах	21	15	37
18	Обработано противогололедными материалами	33	34	55	35	Прочие	26	29	20
19	Со снежным накатом	15	16	38					

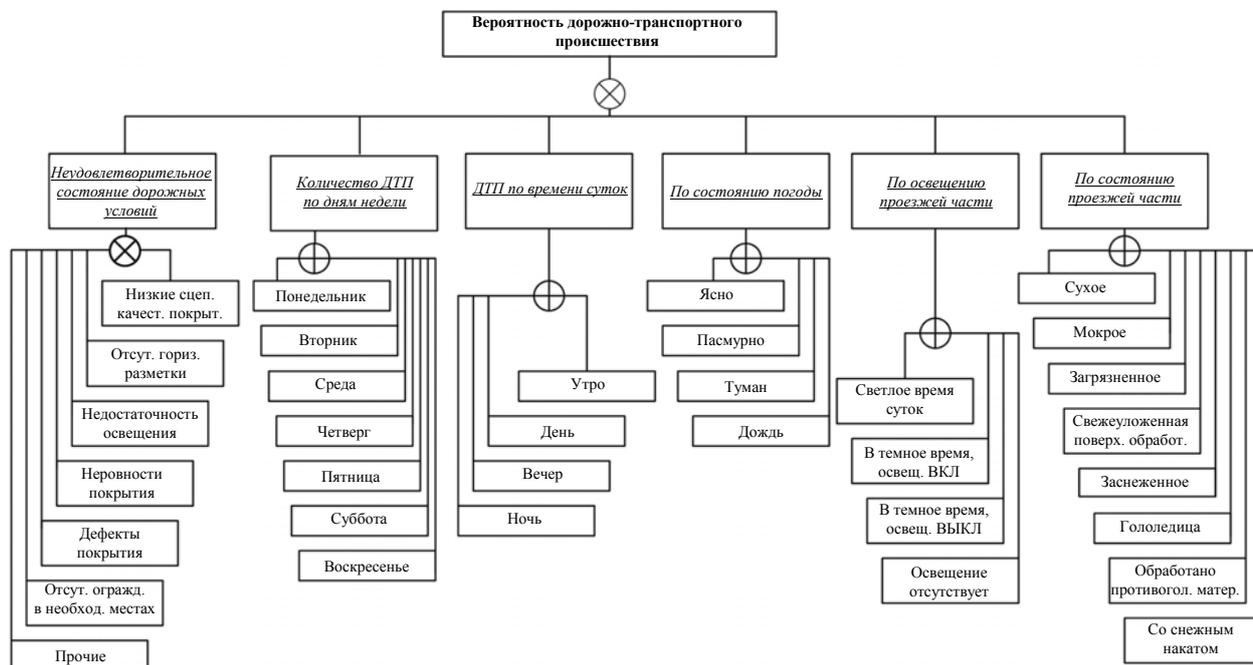


Рис. 2. Логико-вероятностная модель дерева происшествий для количественного анализа вероятности ДТП

Таблица 2. Вероятность совершения ДТП одним ТС в течение года на УДС города Ижевска

x_i	Семантическое значение переменной	Вероятность, P_i	x_i	Семантическое значение переменной	Вероятность, P_i
1	Вероятность ДТП в понедельник	0,00152	19	Вероятность ДТП на проезжей части со снежным накатом	0,00055
2	Вероятность ДТП во вторник	0,00137	20	Вероятность ДТП в светлое время суток	0,00634
3	Вероятность ДТП в среда	0,00163	21	Вероятность ДТП в темное время суток, если освещение ВКЛ	0,00211
4	Вероятность ДТП в четверг	0,00159	22	Вероятность ДТП в темное время суток, если освещение НЕ ВКЛ	0,00036
5	Вероятность ДТП в пятница	0,00181	23	Вероятность ДТП в темное время суток, если освещение отсутствует	0,00170
6	Вероятность ДТП в суббота	0,00154	24	Вероятность ДТП в ясную погоду	0,00714
7	Вероятность ДТП в воскресенье	0,00106	25	Вероятность ДТП в пасмурную погоду	0,00226
8	Вероятность ДТП утром (с 7.00 до 11.00)	0,00198	26	Вероятность ДТП во время тумана	0,00007
9	Вероятность ДТП днем (с 11.00 до 18.00)	0,00268	27	Вероятность ДТП во время дождя	0,00052
10	Вероятность ДТП вечером (с 18.00 до 22.00)	0,00299	28	Вероятность ДТП во время снегопада	0,00052
11	Вероятность ДТП ночью (с 22.00 до 7.00)	0,00287	29	Вероятность ДТП из-за низких сцепных качеств покрытия	0,00063
12	Вероятность ДТП на сухой проезжей части	0,00672	30	Вероятность ДТП из-за отсутствия горизонтальной разметки	0,00025
13	Вероятность ДТП на мокрой проезжей части	0,00163	31	Вероятность ДТП из-за недостаточности освещения	0,00012
14	Вероятность ДТП на загрязненной проезжей части	$2,91 \cdot 10^{-5}$	32	Вероятность ДТП из-за неровности покрытия	0,00003
15	Вероятность ДТП на свежееуложенной, обработанной проезжей части	$1,46 \cdot 10^{-5}$	33	Вероятность ДТП из-за дефектов покрытия	0,00017
16	Вероятность ДТП на заснеженной проезжей части	0,00061	34	Вероятность ДТП из-за отсутствия ограждений в необходимых местах	0,00054
17	Вероятность ДТП во время гололеда на дороге	0,00016	35	Вероятность ДТП из-за прочих причин неудовлетворительного состояния проезжей части	0,00029
18	Вероятность ДТП на дороге, обработанной противогололедными материалами	0,00080			

На основе полученных вероятностей ДТП по 35 критериям в течение года на УДС города Ижевска был рассчитан логический критерий вероятности $Y_{\text{ДТП}} = y_{35}$ попадания и/или совершения ДТП одним из зарегистрированных ТС за аналогичный период времени [4]:

$$Y_{\text{ДТП}} = y_{35} = x_1 \cdot x_8 + x_2 \cdot x_8 + x_3 \cdot x_8 + x_4 \cdot x_8 + x_5 \cdot x_8 + x_6 \cdot x_8 + x_7 \cdot x_8 + x_1 \cdot x_9 + x_2 \cdot x_9 + x_3 \cdot x_9 + x_4 \cdot x_9 + x_5 \cdot x_9 + x_6 \cdot x_9 + x_7 \cdot x_9 + \dots + x_1 \cdot x_{28} + x_2 \cdot x_{28} + x_3 \cdot x_{28} + x_4 \cdot x_{28} + x_5 \cdot x_{28} + x_6 \cdot x_{28} + x_7 \cdot x_{28} + x_8 \cdot x_{28} + x_9 \cdot x_{28} + x_{10} \cdot x_{28} + x_{11} \cdot x_{28} + x_{12} \cdot x_{28} + x_{13} \cdot x_{28} + x_{14} \cdot x_{28} + x_{15} \cdot x_{28} + x_{16} \cdot x_{28} + x_{17} \cdot x_{28} + x_{18} \cdot x_{28} + x_{19} \cdot x_{28} + x_{20} \cdot x_{28} + x_{21} \cdot x_{28} + x_{22} \cdot x_{28} + x_{23} \cdot x_{28} + x_1 \cdot x_{29} \cdot x_{30} \cdot x_{31} \cdot x_{32} \cdot x_{33} \cdot x_{34} \cdot x_{35} + x_{28} \cdot x_{29} \cdot x_{30} \cdot x_{31} \cdot x_{32} \cdot x_{33} \cdot x_{34} \cdot x_{35} + x_{29} + x_{30} + x_{31} + x_{32} + x_{33} + x_{34} + x_{35};$$

$$Y_{\text{ДТП}} = y_{35} = 0,00523.$$

Для сравнения, вероятность пролива горючего (неисполнение емкости) по причине излишней продолжительности работы насосов из-за их неотключения во время в течение года на заправочной станции составляет $P_i = 0,000029$ [4], вероятность железнодорожного крушения с неисправной колеей – $P_i = 0,001$ [5].

Полученное значение вероятности ДТП позволяет оценить и спрогнозировать безопасность движения

на улицах города Ижевска. Зная интенсивность движения на одной из улиц, например, ул. Удмуртской [1], – 2800 шт. авт./ч, вероятность ДТП составляет 0,963 в течение суток. Спрогнозировав увеличение интенсивности транспортного потока до 4500 авт./ч, при прочих равных условиях на данной улице вероятность ДТП в течение часа будет составлять 0,0645 (примерно три аварии в течение двух суток). Однако полученные величины представляют собой средние значения для определенного временного периода – одного года – и являются усредненными значениями, которые не могут дать четкой картины ситуации, поэтому более удобной логикой расчета вероятности возникновения ДТП будет вычисление по отдельно взятым условиям [5, 6]:

$$Q = \sum_{i=1}^a P_{ij \leq 1},$$

где a – количество путей прохождения сигнала от истока графа до его обобщенного стока; P_{ij} – вероятность реализации j -х дуг графа в i -м пути.

Например, вероятность попадания и/или совершения транспортным средством ДТП на УДС города Ижевска днем в среду во время снегопада будет со-

ставлять 0,01178. Данное значение получилось путем сложения вероятностей ДТП по заданным условиям согласно логико-вероятностной теории [4, 6] и полученной модели «дерева происшествия»:

$$P_i = x_3 + x_9 + x_{16} + x_{20} + x_{28}.$$

Если добавить условие «низкие сцепные качества покрытия», то алгоритм расчета вероятности будет другой, как и значение искомой вероятности – 0,01242.

$$P_i = x_3 + x_9 + x_{16} + x_{20} + \\ + x_{28} + x_3 \cdot x_{29} + \dots + x_{28} \cdot x_{29} + x_{29}.$$

Следует заметить, что рассмотренные примеры дают вероятность попадания и/или совершения ДТП по заданным условиям одним ТС в течение всего года, но число дней в году, когда шел снегопад или были «низкие сцепные качества покрытия», не так велико. Разграничение значений вероятности возникновения ДТП по временам года или даже месяцам даст более ясное представление о безопасности УДС при возникновении рассматриваемых условий.

Выводы

1. С помощью метода графов (модели «дерево происшествий») на основе имеющейся статистики аварий можно провести количественную оценку безопасности движения, как на всей УДС города, так и на отдельно взятых улицах в любой день недели, времени суток, дорожных и погодных условиях.

2. Работоспособность модели была проверена на примере ул. Удмуртской города Ижевска, получена вероятность ДТП 0,963 в течение суток при существующей интенсивности движения 2800 шт. авт./ч. Спрогнозировав увеличение интенсивности до

4500 авт./ч при прочих равных условиях, на данной улице вероятность ДТП в течение часа будет составлять 0,0645.

3. Представленный подход позволяет наглядно показать основные причины возникновения ДТП и дает возможность прогнозировать и рассчитывать вероятности возникновения ДТП при разных условиях, что, в свою очередь, позволяет определить пути снижения количества ДТП.

Библиографические ссылки

1. Исаков В. Г., Дягелев М. Ю. Применение метода анализа иерархий в оценке пропускной способности проезжей части городских дорог в зимнее время // Вестник ИжГТУ. – 2011. – № 2(50). – С. 170–172.
2. Абрамова А. А., Дягелев М. Ю., Исаков В. Г. Сравнительный анализ причин дорожно-транспортных происшествий по сопутствующим условиям на примере города Ижевска // Вестник ИжГТУ. – 2012. – № 4(56). – С. 119–122.
3. Статистика дорожно-транспортных происшествий в Удмуртии. – URL: <http://www.gai.udm.ru/dtp/index.php?meid=31> (дата обращения: 12.01.2012).
4. Можяев А. С., Нозик А. А. Методические основы автоматизированного моделирования и расчета надежности и безопасности автоматизированных систем управления технологическими процессами // Тр. Второй междунар. науч. шк. «Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах». – URL: http://safety.fromru.com/soft/PK_ASM/article/mozhaev.htm (дата обращения: 01.11.2011).
5. Белов П. Г. Системный анализ и моделирование опасных процессов в техносфере : учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений. – М. : Академия, 2003. – 512 с.
6. Антонов Г. Н., Можяев А. С. О новых подходах к построению логико-вероятностных моделей безопасности структурно-сложных систем // Проблемы безопасности при чрезвычайных ситуациях. – 1999. – № 9. – С. 14–27.

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

Application of Graphs in Safety Assessment of the Urban Road Network

According to system analysis methods (method of graphs), the probability of an accident is simulated on the basis of the accident statistics for Izhevsk streets. The accident tree with logical links of branches was applied as the graph model, allowing to evaluate the road network safety qualitatively and quantitatively.

Key words: graph method, accident tree, accident, road network.