

УДК 004.031

DOI: 10.46960/1816-210X_2021_1_14

М.Е. Елисеев, Е.Д. Галкина, Л.Н. Мазунова

КРИТЕРИЙ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ МЕСТ КОНЦЕНТРАЦИИ АВАРИЙ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СИСТЕМЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева
Нижний Новгород, Россия

При разработке интеллектуальной информационной системы повышения безопасности дорожного движения важно определение минимального (критического) значения, начиная с которого, выделяются места концентрации аварий. Рассматривается критерий для его выявления по всем категориям аварий, позволяющий определить места их концентрации для участка улично-дорожной сети или всей транспортной сети города. Приведены примеры применения данного метода для анализа аварийности пешеходов. Критерий апробирован в 2019 г. для анализа аварийности при разработке комплексных схем организации дорожного движения трех городов на территории РФ. Его применение не ограничивается аварийностью пешеходов, распространяясь на все категории аварий. Предложенный критерий используется в интеллектуальной информационной системе повышения безопасности дорожного движения.

Ключевые слова: интерактивная информационная система, интеллектуальная транспортная система, статистический анализ, место концентрации ДТП, очаг ДТП, ДТП, ГИС, географическая информационная система.

Введение

В настоящей статье представлен этап разработки интеллектуальной информационной системы повышения безопасности дорожного движения (ИИТС), одной из основных составляющих которой является подсистема информирования водителя [1,2]. Системы анализа аварийности и информирования участников дорожного процесса разрабатываются рядом авторов [3-5]. На начальном этапе анализа аварийности выявляются очаги аварийности или места концентрации ДТП (*hot-point road accidents*). Для каждой категории аварий, например, «аварии с участием пешеходов», «аварии с сопутствующим фактором «гололедица» или «снежный накат», существуют свои места концентрации. Главный вопрос, стоящий перед исследователем: «Начиная с какого количества аварий данного типа, следует выделять очаг аварийности?»

Целью работы является определение минимального порогового значения числа аварий, начиная с которого, выявляется очаг ДТП. Представленная методика применима для любой категории аварий. Она проверяется на примере аварий с участием пешеходов, поскольку информация о таких ДТП, как правило, достаточно полно отражена в имеющихся базах данных. С другой стороны, анализ именно этой категории аварийности особенно важен, поскольку аварии с участием пешеходов часто имеют серьезные последствия.

Материалы и методы

В качестве исходных данных использовались базы данных ГИБДД [6] и ГИС-карты *OSM (Open Street Map)*. Необходимо отметить, что база аварийности РФ содержит информацию не обо всех авариях, а лишь о ДТП с пострадавшими. В данную базу попадают практически все ДТП с участием пешеходов, и ее можно считать полной. Последний факт проверен по базе 2009-2010 гг. для Нижнего Новгорода, содержащей информацию обо всех авариях. При исследовании аварий с участием пешеходов используются следующие подходы и методы. Известно, что чем больше скорость транспортного средства, тем, как правило, тяжелее

последствия аварии. Тем не менее, данный вопрос продолжает изучаться [7,8]. В ряде работ рассматриваются вопросы обучения пешеходов [9]. В качестве причины аварийности, которой не было ранее (в первой половине XX в.), выделяется отвлечение внимания как водителя, так и пешехода сотовым телефоном [10,11]. Безусловно, на аварийность с участием пешеходов влияет наличие регулируемого или нерегулируемого пешеходного перехода. Наибольший интерес представляют работы [12,13], в которых рассматриваются вопросы прогнозирования и предотвращения аварий данного типа. Можно выделить метод конфликтов (конфликтных точек), при котором выделяются места (точки) конфликтов транспортных и пешеходных потоков, и, в зависимости от их количества, а также от величин транспортных и пешеходных потоков дается прогноз аварийности на данном участке дорожной инфраструктуры. Данный метод известен с прошлого века, но ввиду личностных особенностей водителей и пешеходов в различных странах, а также особенностей дорог, он требует дальнейшей проработки [14]. В последнее время исследователи все чаще используют моделирование различных аварийных ситуаций с участием пешеходов [15,16]. Важным является подход, при котором выделяются категории пешеходов, особенно значима категория «Дети» [17-19]. Вопросы выявления мест концентрации ДТП рассматриваются в очень интересном исследовании [20], сравнивающем методы оценки плотности ядра и кригинга. Описание и применение данных методов можно найти в статьях [21-25]. В работе [20] для сравнения эффективности данных методов используется индекс точности прогнозирования [23]. Данное исследование имеет ту же цель, что и [20] – определение очагов аварийности, но в качестве метода выявления очага предлагается теоретико-вероятностный подход, который будет разобран далее.

Одним из основных методов анализа аварийности с участием пешеходов в России является топографический анализ. В настоящий момент действует методика, в соответствии с которой «местом концентрации ДТП в населенном пункте является пересечение, примыкание или участок улицы, протяженность которого не превышает 400 м, на котором в течение года произошло 3 и более ДТП (суммарно с пострадавшими и с материальным ущербом)». Такой подход не совсем правилен как с математической, так и с эмпирической точек зрения [20-25]. В качестве исходных данных используется база аварийности пешеходов в г. Нижнем Новгороде за три года: 2015, 2016, 2017. Аварии с участием пешеходов составляют часть от общего числа ДТП, таким образом, очаг должен выделяться при трех и более авариях. Стандартной практикой в научных экспериментах является их повторяемость. Следовательно, при наличии места концентрации ДТП за некоторый год, в случае сохранения исходной ситуации, на данном участке улично-дорожной сети (УДС) в последующие или предыдущие периоды (годы) также должны были происходить ДТП того же типа, но, возможно, в меньшем количестве.

Данные топографического анализа за 2015, 2016, 2017 гг. в Нижнем Новгороде по авариям с участием пешеходов приведены в табл. 1-3.

Таблица 1.

Места концентрации ДТП по авариям с участием пешеходов в Нижнем Новгороде в 2015 г.

улица	дом	число аварий
ул. Бетанкура	1	5
ул. Ковалихинская	49	3
ул. Большая Печерская	93	3
ул. Родионова	187	3
ул. Коминтерна	172	3
ул. Медицинская	26	3
ш. Московское	9	3
ул. Львовская	10	3
ул. Плотникова	5	3

Продолжение табл. 1.

ул. Дьяконова	25	3
ш. Сормовское	21	3
пр-т Ленина	27	3

Таблица 2.

Места концентрации ДТП по авариям с участием пешеходов в Нижнем Новгороде в 2016 г.

улица	дом	число аварий
Ул. имени Маршала Рокоссовского К.К.	10	3
Пл. Комсомольская	1	3
Ул. Ковалихинская	30	3
Ул. Краснодонцев	4	3
Ш. Южное	41	3
Ш. Сормовское	21	3
Ул. Ванеева	211	3

Таблица 3.

Места концентрации ДТП по авариям с участием пешеходов в Нижнем Новгороде в 2017 г.

улица	дом	число аварий
Пр-т Ленина	30	4
Ул. Полтавская	30	4
Пл. Свободы	1	4
Ул. Родионова	165	3
Пр-т Кирова	6	3
Пр-т Ленина	57	3
Ул. Родионова	17	3
Пр-т Ленина	27	3
Пр-т Ленина	45	3
Ул. Коминтерна	115	3
Пр-т Ленина	38	3
Ул. Коминтерна	172	3
Ул. Красных Зорь	17	3
Ул. Родионова	187	3
Ш. Комсомольское	2А	3
Ул. Героя Рябцева	1	3
Ул. Мончегорская	1	3
Ул. Чаадаева	19	3
Ул. Советская	12	3
Ул. Бетанкура	1	3
Ул. Ванеева	1	3

Сравнительный анализ показывает, что одинаковых очагов за 2015 и 2016 гг. – 1, за 2015 и 2017 гг. – 4, за 2016 и 2017 гг. – 0. Более того, только в 65 % очагов произошло хотя бы одно ДТП за два других года. Таким образом, повторяемость очевидно нарушена и корректно были выделены только некоторые очаги. Из-за чего же могли появиться остальные?

Теоретические расчеты

Решим задачу о выделении очагов статистически. Пусть в городе имеется дорожная сеть (может рассматриваться и отдельно взятая улица), состоящая из k идентичных (схожих) участков, и за рассматриваемый временной период произошло n ДТП. Тогда задача, очевидно, может быть сведена к «урновой схеме» – простейшей теоретико-вероятностной модели, при которой n шаров распределяются по k урнам. Вероятность попадания шара на i -ый участок УДС: $p = \frac{1}{k}$, и для каждого участка имеет место схема испытаний Бернулли. Пусть m – количество ДТП на i -ом участке УДС. Чтобы этот участок «стал» очагом аварийности, в соответствии с указанной выше методикой, необходимо, чтобы m было больше или равно 3.

Формула Бернулли $P_n(m) = C_n^m p^m q^{n-m}$ для данной задачи примет вид (1):

$$P_n(m) = C_n^m \left(\frac{1}{k}\right)^m \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{n-m} \quad (1)$$

где n – общее количество ДТП, m – число ДТП на рассматриваемом участке, $P_n(m)$ – вероятность образования очага аварийности на нем. Тогда математическое ожидание количества образовавшихся очагов можно вычислить по формуле $M(x = m) = k \cdot P_n(m)$, которая примет вид (2):

$$M(x = m) = k C_n^m \left(\frac{1}{k}\right)^m \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{n-m} \quad (2)$$

Для иллюстрации применения формул рассмотрим несколько простых примеров.

Пример 1. Пусть исследуется аварийность на улице, состоящей из 20 идентичных участков и на ней в течении года (конечно можно рассмотреть любой временной период) произошло 20 ДТП данного типа. Сколько, вероятнее всего, образуется очагов из 3 ДТП?

По формуле (2): $M(x = 3) = 20 C_{20}^3 \left(\frac{1}{20}\right)^3 \left(1 - \frac{1}{20}\right)^{20-3} = 20 \cdot 1140 \cdot (0,05)^3 \cdot (0,95)^{17} \approx 1,19$.

Таким образом, наиболее вероятно, образуется 1 очаг из 3 ДТП.

Могут ли, и насколько вероятно, образовываться очаги с большим количеством аварий? Для ответа на данный вопрос и для проверки формулы, на языке программирования JavaScript, была разработана компьютерная модель, реализующая урновую схему. В результате модельного эксперимента из 100 000 прогонов модели были получены следующие данные:

- количество очагов по 3 ДТП = 114682;
- количество очагов по 4 ДТП = 25638;
- количество очагов по 5 ДТП = 4214;
- количество очагов по 6 ДТП = 602;
- количество очагов по 7 ДТП = 60;
- количество очагов по 8 ДТП = 3.

По данным модельного эксперимента, в среднем образуется примерно по 1,15 очага по 3 ДТП, 0,26 очага по 4 ДТП, 0,04 очага по 5 ДТП, среднее количество очагов с большим числом ДТП мало, но даже для 8 ДТП в очаге не равно 0! Таким образом, если в городе, хотя бы 4 такие улицы, как в разобранный примере, то наиболее вероятно, что случайным образом образуются 4 очага по 3 ДТП в каждом и 1 очаг с 4 ДТП.

Пример 2. Пусть рассматривается небольшой город, вся улично-дородная сеть которого содержит 100 участков и в течение трех лет произошло 10 ДТП с участием пешеходов. По формуле (2) получаем, что математическое ожидание количества очагов по 3 ДТП – примерно 0,001, по 2 ДТП 0,04. Таким образом, вероятность случайного образования очагов по 3 ДТП пренебрежимо мала и даже 2 ДТП на одном участке, скорее всего, говорят о наличии аварийноопасного фактора в данном месте дорожной инфраструктуры. Данные модельного эксперимента (для 100 000 прогонов) следующие результаты:

- количество очагов по 3 ДТП = 1074;

- количество очагов по 4 ДТП = 18;
- количество очагов по 5 ДТП = 0;
- количество очагов по 6 ДТП = 0;
- количество очагов по 7 ДТП = 0;
- количество очагов по 8 ДТП = 0.

Приведем пример с реальными данными.

Пример 3. На пр. Ленина г. Нижнего Новгорода за три года (2015-2017) произошло 107 ДТП с участием пешеходов, т.е., примерно 36 аварий в год. Для улиц Нижнего Новгорода это наибольшее количество. Оно связано, прежде всего, с тем, что пр. Ленина имеет большую протяженность и большие величины транспортных и пешеходных потоков. Общая длина – примерно 8,4 км. Если разбить пр. Ленина на участки по 400 м, то получаем 21 участок. Вычисляя математическое ожидание количества очагов с 3 и более ДТП, аналогично рассмотренному примеру, получаем $M(x = 3) \approx 5,55$, то есть вероятнее всего 5 или 6 очагов по 3 ДТП образуется случайным образом. Для очагов с 4 ДТП: $M(x = 4) \approx 2,29$. Следовательно, в данном случае нельзя выделять очаги даже при наличии 4 ДТП.

Данные модельного эксперимента (100 000 прогонов) следующие:

- количество очагов по 3 ДТП = 312091;
- количество очагов по 4 ДТП = 127701;
- количество очагов по 5 ДТП = 40576;
- количество очагов по 6 ДТП = 10775;
- количество очагов по 7 ДТП = 2300;
- количество очагов по 8 ДТП = 442.

Таким образом, выделение очагов по 3 ДТП (одного типа) может оказаться не совсем корректным и носить случайный характер. С другой стороны, если количество аварий мало, по сравнению с количеством участков УДС, то авторы полагают допустимым выделение очага по 2 ДТП рассматриваемого типа.

Предлагается следующий критерий для определения минимального количества ДТП (одного типа), по которым выделяется очаг:

1) если длина участка изначально не зафиксирована, то коэффициент k в формуле (2) определяется так (3):

$$k = \text{round}\left(\frac{l}{L}\right), \quad (3)$$

где l – протяженность участка дороги (дорожной сети), L – общая протяженность дороги (дорожной сети).

2) задается величина β , которую далее будем называть уровнем надежности, предлагается по умолчанию (стандартно) брать $\beta = 0,05$, как обычно принято в математической статистике;

3) последовательно вычисляются математические ожидания числа образовавшихся очагов (для данных $m = 2, 3, 4 \dots$);

4) если $M(x = m) < \beta$, то наименьшее такое m полагаем критическим значением, по которому возможно выделение очага.

Получаем следующий вид критерия (4):

$$M(x = m) = k C_n^m \left(\frac{1}{k}\right)^m \left(1 - \frac{1}{k}\right)^{n-m} < \beta \quad (4)$$

Критерий (4) применялся в 2019 году для определения очагов аварийности с участием пешеходов для ряда городов на территории РФ: Бородино, Полярные Зори, Зеленогорск.

Приведем пример одного из расчетов – анализ аварийности пешеходов для г. Зеленогорска (Красноярский край). На рис. 1 представлены аварии с участием пешеходов за 2017-2019 гг., каждый круг соответствует одному ДТП. Количество ДТП данного типа относительно невелико, ввиду чего методы оценки плотности ядра и кригинга в данном случае неэффективны. Напротив, нахождение порогового значения количества ДТП в очаге имеет

большое значение. Ключевым для анализа является вопрос, можно ли полагать все внутригородские дороги идентичными? На рис. 2 представлена схема дорог г. Зеленогорска, с цветовым выделением полосности дороги. Зеленым цветом выделены 4-полосные дороги, синим – 2-полосные (рис. 2).



Рис. 1. Аварии с участием пешеходов в г. Зеленогорске

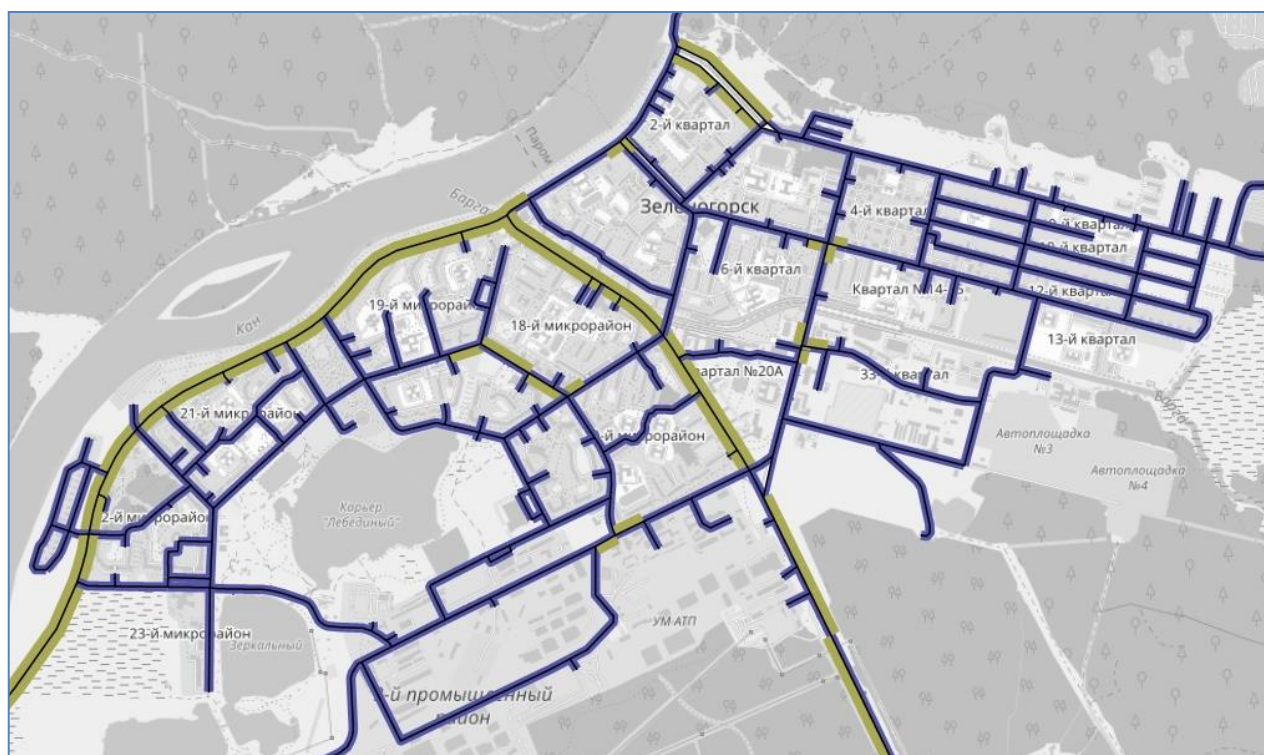


Рис. 2. Полосность дорог г. Зеленогорска

На первый взгляд, представляется необходимым отдельно рассматривать два вида дорог (4-полосные дороги и 2-полосные). В действительности, интенсивности движения, в дан-

ном случае, мало зависят от числа полос (рис. 3), поэтому было принято решение все внутригородские дороги рассматривать как схожие.

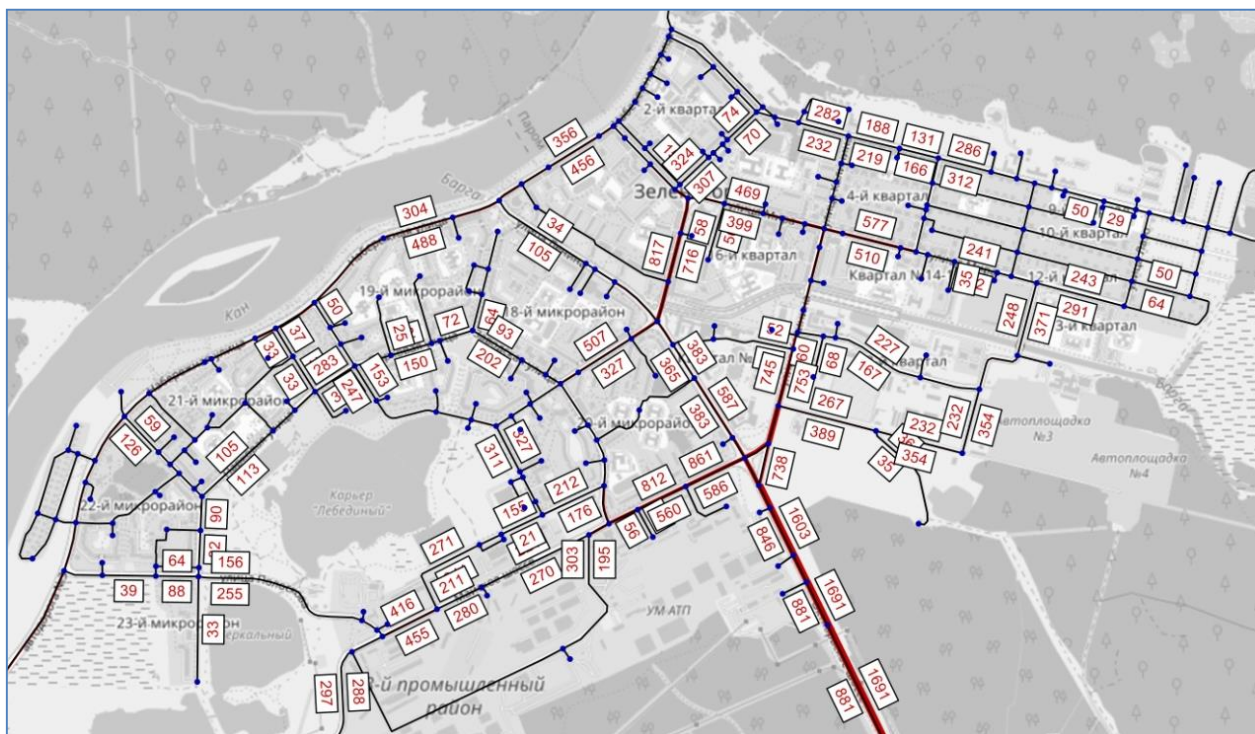


Рис. 3. Интенсивности транспортных потоков г. Зеленогорска (вечерний час пик, машин/час)

Суммарная протяженность сети внутригородских дорог 95,9 км. Расстояния между соседними перекрестками составляют, как правило, не более 200 м, поэтому было принято решение длину участка выбрать равной 200 м. Таким образом, по формуле (3), получаем 480 участков дорог (деля 95,9 км на 0,2 км и округляя до целого), на которых произошло 28 ДТП рассматриваемого типа.

В соответствии с критерием (4): $M(x=2) = 480 \cdot C_{28}^2 \cdot \left(\frac{1}{480}\right)^2 \cdot \left(1 - \frac{1}{480}\right)^{26} \approx 0,0435 < 0,05$, получаем, что места концентрации аварий можно выделять, начиная с 2 ДТП в очаге.

В результате был составлен следующий список очагов ДТП:

- ул. Бортникова, д. 11 (3 ДТП за 3 года);
- ул. Набережная, д. 38, ул. Набережная д. 40 (3 ДТП за 3 года);
- ул. Ленина, д. 5 (2 ДТП за 3 года);
- ул. Парковая, д. 2 (2 ДТП за 3 года).

Детальный анализ аварий подтвердил правильность выделения очагов, поскольку аварии в них имели схожий механизм. Исследование аварийности проводилось в рамках разработки комплексной схемы организации дорожного движения (КСОДД), поэтому авторы имели возможность включить в программу адресные мероприятия, направленные на повышение безопасности дорожного движения на данных участках дорожной инфраструктуры.

Результаты

Предлагается критерий (4), позволяющий определить пороговое значение для выделения очага аварийности для данной категории аварий. Для проверки вычислительных формул разработана компьютерная модель. Результаты модельного эксперимента показывают хорошую точность вычисленного значения. Приведены примеры расчетов по данному критерию

для аварий с участием пешеходов для г. Нижний Новгород и г. Зеленогорск. Полученные данные применены для разработки мероприятий, направленных на повышение безопасности дорожного движения в этих городах.

Обсуждение

Расчеты показывают, что используемый в настоящий момент в РФ критерий дает большую погрешность. В результате некорректного выявления очагов аварийности меры, направленные на их устранение, могут оказаться напрасно растроченными ресурсами. Использование предложенного в работе подхода позволит избежать выявления случайных очагов и сконцентрировать усилия на устранении реально существующих мест концентрации ДТП. Заметим, что для различных типов аварий, даже в одном населенном пункте, пороговые значения m могут отличаться, если различно количество аварий данных типов. Значение m не является статичным, т.е., если характер аварийности в рассматриваемой области будет меняться, то и пороговое значение может стать другим.

Данная работа является необходимым этапом создания интеллектуальной информационной транспортной системы (ИИТС), разрабатываемой авторами. Она выступает не обособленным исследованием, но работой, направленной на создание аналогичных систем помощи водителю и другим участникам дорожного движения, например, пешеходам. При применении формул большое значение имеет правильное определение размера очага. Уровень надежности β определяется, исходя из задачи исследования: чем меньше его значение, тем больше очагов будет удовлетворять критерию. По умолчанию предлагается брать $\beta = 0,05$. Представленный критерий требует дополнительной практической проверки. Он особенно значим, если количество ДТП рассматриваемой категории относительно невелико, как в примере для г. Зеленогорск. Безусловно, получаемый с помощью критерия список очагов не является окончательным, и каждое выделенное место концентрации ДТП требует детального анализа.

Выводы

Представленный критерий для определения порогового значения выделения очага аварийности (для данной категории аварий, для участка УДС или всей транспортной сети населенного пункта) позволяет корректно определить места концентрации аварий каждого из типов. Полученные формулы теоретически позволяют определить пороговое (критическое) значение для любой категории аварий. Данный критерий апробирован для анализа аварийности пешеходов, важной категории ДТП в городских условиях. Он применяется на начальных этапах анализа базы данных ДТП в ИИТС, а именно – на этапе выделения очагов аварийности по всем рассматриваемым категориям аварий.

Библиографический список

1. **Eliseev, M.E.** Virtual reality and navigation subsystems of the interactive sistem for road safety improving / M.E. Eliseev, T.N. Tomchinskaya, E.D. Galkina, Yu. N.Dudakov, R.A. Musarsky // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018. – С. 012027.
2. **Eliseev, M.** Using 3D-modeling Technologies to Increase Road Safety. Transportation Research Procedia, Volume 20, Pages 1-756 (2017) / M. Eliseev, T. Tomchinskaya, A. Lipenkov, A. Blinov //12th International Conference «Organization and Traffic Safety Management in large cities», SPbOTSIC-2016, 28-30 September 2016, St. Petersburg, Russia.
3. **Daito, Kodama** Real Time Accident Risk Information Provision on a Urban Expressway Network: Prediction Model Analysis and Development of a Provision System / Kodama Daito, Ozawa // Proceedings of the 51st Spring Conference of the Committee of Infrastructure Planning and Management, 2015.

4. **DeLucia, B.H.** E-Crash: The Model Electronic Crash Data Collection System / B.H. DeLucia, R.A.Scopatz // Report DOT HS 811 326, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, DC, 2010.
5. **Khan, G.** Application and Integration of Lattice Data Analysis, Network K-Functions, and Geographic Information System Software to Study Ice-Related Crashes / G. Khan, K. R.Santiago-Chaparro, X. Qin, D.A. Noyce // Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2136, 2009. – P. 67-76.
6. Официальный сайт ГИБДД РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://гибдд.рф> (дата обращения 04.02.2021 г.).
7. **Brenac, T.** Influence of Travelling Speed on the Risk of Injury Accident: a Matched Case-Control Study / T. Brenac, C. Perrin, B. Canu, J. Magnin, A. Canu // Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2015, 43(3):129-137.
8. **Cuerden, R.** Pedestrians and Their Survivability at Different Impact Speeds / R. Cuerden, D. Richards, J. Hill // Proceedings of the 20th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (Paper No. 07-0440). Lyon, France, June 18-21, 2007.
9. **Dommes, A.** Age-related differences in street-crossing safety before and after training of older pedestrians / A. Dommes, V. Cavallo, F. Vienne, I. Aillerie // Accident Analysis & Prevention, 2012, 44(1): 42-47.
10. **Nasar, J.L.** Pedestrian injuries due to mobile phone use in public places / J.L. Nasar, D. Troyer // Accident Analysis Prevention, 2013, 57: 91-95.
11. **Starvinos, D.** Effect of cell phone distraction on pediatric pedestrian injury risk / D. Starvinos, K.W. Byington, D.C. Schwebel // Pediatrics, 2009. 123: 179-185.
12. **Haleem, K.** Analyzing Pedestrian Crash Injury Severity at Signalized and Non-Signalized Locations / K. Haleem, P. Alluri, A. Gan // Accident Analysis & Prevention 81, 2015: 14–23.
13. **Zhang, Y.** Safety effects of exclusive and concurrent signal phasing for pedestrian crossing / Y. Zhang, S.A. Mamun, J.N. Ivan, N. Ravishanker, K. Haque // Accident Analysis and Prevention, 2015, 83: 26–36.
14. **Islam, M.S.** Explaining Pedestrian Safety Experience at Urban and Suburban Street Crossings Considering Observed Conflicts and Pedestrian Counts / M.S. Islam, V. Serhiyenko, J.N. Ivan, N. Ravishanker, P.E. Garder // Journal of Transportation Safety & Security, 2014, 6(4): 335-355.
15. **Kadali, B.R.** Modelling pedestrian road crossing behaviour under mixed traffic condition / B.R. Kadali, P. Vedagiri // European Transport, 2013, 55(3): 1-17.
16. **Zheng, J.** Prediction of Road Traffic Accidents Using a Combined Model Based on IOWGA Operator / J. Zheng, X. Wu // Periodica Polytechnica Transportation Engineering, 2015, 43(3): 146-153.
17. **Gitelman, V.** Changes in road-user behaviors following the installation of raised pedestrian crosswalks combined with preceding speed humps, on urban arterials. Transportation / V. Gitelman, R. Carmel, F. Peshahov S. Chen // Research Part F, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2016.07.007>.
18. **Leden, L.** Safe pedestrian crossings for children and elderly / L. Leden, P. Garder, & C. Johansson // Accident Analysis and Prevention, 2006. 38: 289-294.
19. **Morrongiello, B.A.** Child pedestrian safety: Parental supervision, modeling behaviors, and beliefs about child pedestrian competence / B.A. Morrongiello, B.K. Barton // Accident Analysis and Prevention, 2009. 41:1040-1046.
20. **Thakali, L.** Identification of crash hotspots using kernel density estimation and kriging methods: a comparison / L. Thakali, T.J. Kwon, L. Fu // J. Mod. Transport. 23, 93/106 (2015).
21. **Anderson, T.K.** Kernel density estimation and K-means clustering to profile road accident hotspots / T.K. Anderson // Accident Analysis and Prevention, 2009, 41(3):359-364.
22. **Blazquez, C.A.** A spatial and temporal analysis of child pedestrian crashes in Santiago / C.A. Blazquez // Chile. Accident Analysis and Prevention, 2013, 50: 304-311.
23. **Chainey, S.** The utility of hotspot mapping for predicting spatial patterns of crime / S. Chainey, L. Tompson // Secur J, 2008, 21(1):4-28.
24. **Erdogan, S.** Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: city of Afyonkarahisar / S. Erdogan, I. Yilmaz, T. Baybura, M. Gullu // Accident Analysis and Prevention, 2008, 40(1):174-181.
25. **Oliver, M.A.** Kriging: a method of interpolation for geographical information systems / M.A. Oliver, R. Webster // Int J Geogr Inf Syst, 1990, 3:313-332.

*Дата поступления
в редакцию: 14.01.2021*

M.E. Eliseev, E.D. Galkina, L.N. Mazunova

**CRITERION FOR IDENTIFYING CRASH HOTSPOTS OF ROAD ACCIDENTS
IN THE DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT INFORMATION
TRANSPORT SYSTEM**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev

Purpose: construction of the criterion that allows you to identify the crash hotspots of road accidents for various categories of accidents

Design/methodology/approach: the article uses methods of the theory of probability, in particular, a geometric probabilistic model, as well as mathematical statistics and topographic analysis. Computer modeling was used to assess the correctness of the criterion.

Findings: the criterion has been obtained that allows calculating the minimum number of road accidents necessary for the presence of the crash hotspot of road accidents on the selected section of the road network. The criterion allows you to determine the location of the crash hotspots for the transport network section or the entire transport network of the city.

Research limitations/implications: the criterion was tested in 2019 for the analysis of accidents in the development of integrated traffic management schemes for three cities in the Russian Federation. Of course, its application is not limited to pedestrian accidents, it can be used for any category of accidents. The criterion for identifying crash hotspots is a necessary element when creating an intelligent information system for driver assistance, developed by the authors.

Originality/value: the structural results are new.

Key words: interactive information system, intelligent transport system, statistical analysis, collision-prone locations, crash hotspots, road accident, traffic collision, GIS, geographic information system