

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/vol9-4.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/16TVN417.pdf>

Статья опубликована 10.07.2017

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Николаев А.Б., Ягудаев Г.Г., Сапего Ю.С., Еремин С.В., Кулаков А.В. Анализ алгоритмов управления инцидентами в интеллектуальных транспортных системах // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 9, №4 (2017) <http://naukovedenie.ru/PDF/16TVN417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

**УДК 004.896**

**Николаев Андрей Борисович<sup>1</sup>**

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», Россия, Москва<sup>2</sup>  
Заведующий кафедрой «Автоматизированные системы управления»  
Доктор технических наук, профессор  
E-mail: [nikolaev.madi@mail.ru](mailto:nikolaev.madi@mail.ru)  
РИНЦ: [https://elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=103125](https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=103125)  
Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/A-9019-2014>

**Ягудаев Геннадий Григорьевич**

ФГБОУ ВО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»  
Северо-Кавказский филиал в г. Лермонтов, Россия, Лермонтов  
Директор, заведующий кафедрой  
Доктор технических наук  
E-mail: [gena\\_yagudaev@mail.ru](mailto:gena_yagudaev@mail.ru)

**Сапего Юлия Сергеевна**

ООО «Заказные ИнформСистемы», Россия, Москва  
Инженер-аналитик  
E-mail: [yulia.sapego@yandex.ru](mailto:yulia.sapego@yandex.ru)

**Еремин Сергей Васильевич**

Министерство транспорта Красноярского края, Россия, Красноярск<sup>3</sup>  
Министр  
Кандидат технических наук  
E-mail: [140576@mail.ru](mailto:140576@mail.ru)

**Кулаков Александр Вячеславович**

ВГБОУ ВО «Высшая школа экономики – национальный исследовательский университет», Россия, Москва  
Институт экономики транспорта и транспортной политики  
Директор Центра транспортного моделирования  
E-mail: [avkulakov@hse.ru](mailto:avkulakov@hse.ru)

## **Анализ алгоритмов управления инцидентами в интеллектуальных транспортных системах**

<sup>1</sup> Идентификатор ученого в ИС Карта Российской Науки – 00020597

<sup>2</sup> 125319, Москва, Ленинградский проспект, 64

<sup>3</sup> 660049, Россия, г. Красноярск, ул. Сурикова, 47

**Аннотация.** Управление дорожными инцидентами является главной задачей в управлении движением, требующей постоянного внимания и значительных инвестиций, а также быстрого и точного решения в целях восстановления нормальных условий дорожного движения. Целью любой стратегии управления инцидентами является быстрое и эффективное их выявление. Такое управление представляет собой систематический процесс, включая обнаружение, реагирование, устранение и восстановление нормальных условий движения. Эффективность стратегии управления инцидентами оценивается по уменьшению временного интервала с момента возникновения инцидента до его полного устранения. Автоматические методы управления становятся важным фактором для сокращения заторов дорожного движения, вызванного возникшим инцидентом. В статье рассмотрены различные алгоритмы, необходимые для выявления и управления инцидентами. Авторами проведен подробный сравнительный анализ алгоритмов обнаружения инцидентов, их достоинств и недостатков. Авторами предложен оригинальный алгоритм на основе нечеткой логики для обнаружения инцидентов и определения их приоритетов. Представлены результаты исследования эффективности алгоритмов по различным критериям: количество обнаруженных инцидентов, количество ложных тревог, время обнаружения инцидента. В статье даны рекомендации по выбору того или иного алгоритма.

**Ключевые слова:** управление дорожным движением; автоматизированные системы управления; алгоритмы обнаружения инцидентов; дорожные инциденты; ложные тревоги; веса критериев; время обнаружения инцидентов; интеллектуальные транспортные системы

## Введение

Степень влияния дорожного инцидента зависит от двух характеристик: степень, на которую была снижена пропускная способность дороги, и общая продолжительность инцидента. Растущее количество дорожных инцидентов и необходимость быстрого их обнаружения для уменьшения негативных последствий привели к разработке автоматизированных систем управления дорожными инцидентами [1].

Целью любой стратегии управления инцидентами выявление возникших инцидентов быстро и эффективно. Такое управление включает в себя систематический процесс, включая обнаружение, реагирование, устранение и восстановление нормальных условий движения. Эффективность стратегии управления инцидентами оценивается по уменьшению временного интервала с момента возникновения инцидента до его полного устранения [2].

Продолжительность инцидента может быть разделена на следующие составляющие: время обнаружения, реагирования и устранения. Общая продолжительность инцидента зависит существенно от времени реагирования на его возникновение. Данный параметр связан с диспетчеризацией, доступностью системы экстренной помощи, доступ к месту происшествия, связью, управление движением и т.п. Данные условия требуются для решения инцидента в неопределенной ситуации. Неопределенность является основной характеристикой дорожно-транспортного происшествия [3].

Различные методы обнаружения инцидентов могут также сократить время воздействия инцидента на дорожное движение, путем сокращения времени его обнаружения. Например, возможно быстрое обнаружение дорожного инцидента с помощью мониторинга дорожного движения диспетчером, при условии, что инцидент возник в зоне наблюдения.

Система управления дорожными инцидентами представляет собой попытку контролировать события, возникающие на транспортном полотне: систематическое, спланированное и скоординированное использованное людских, механических и технических

ресурсов для уменьшения продолжительности происшествия и его воздействия на дорожное движение.

Обнаружение инцидентов является не новой концепцией в организации дорожного движения. Примерно с середины 1960-х и начала 1970-х годов управление дорожными инцидентами стала частью стандартной практики управления дорожным движением. В 1960 в Чикаго использовались индукционные петли для определения снижения пропускной способности дороги в качестве раннего предупреждения потенциальных дорожных происшествий [4]. Этап обнаружения инцидентов представляет собой процесс определения возникновения и местоположения дорожного инцидента и имеет два основных действия:

1. Определение наличие возникновения затруднения на дороге, используя данные, полученные от систем наблюдения;
2. Анализ данные для определения причины возникновения затруднения: возник действительно инцидент или нет.

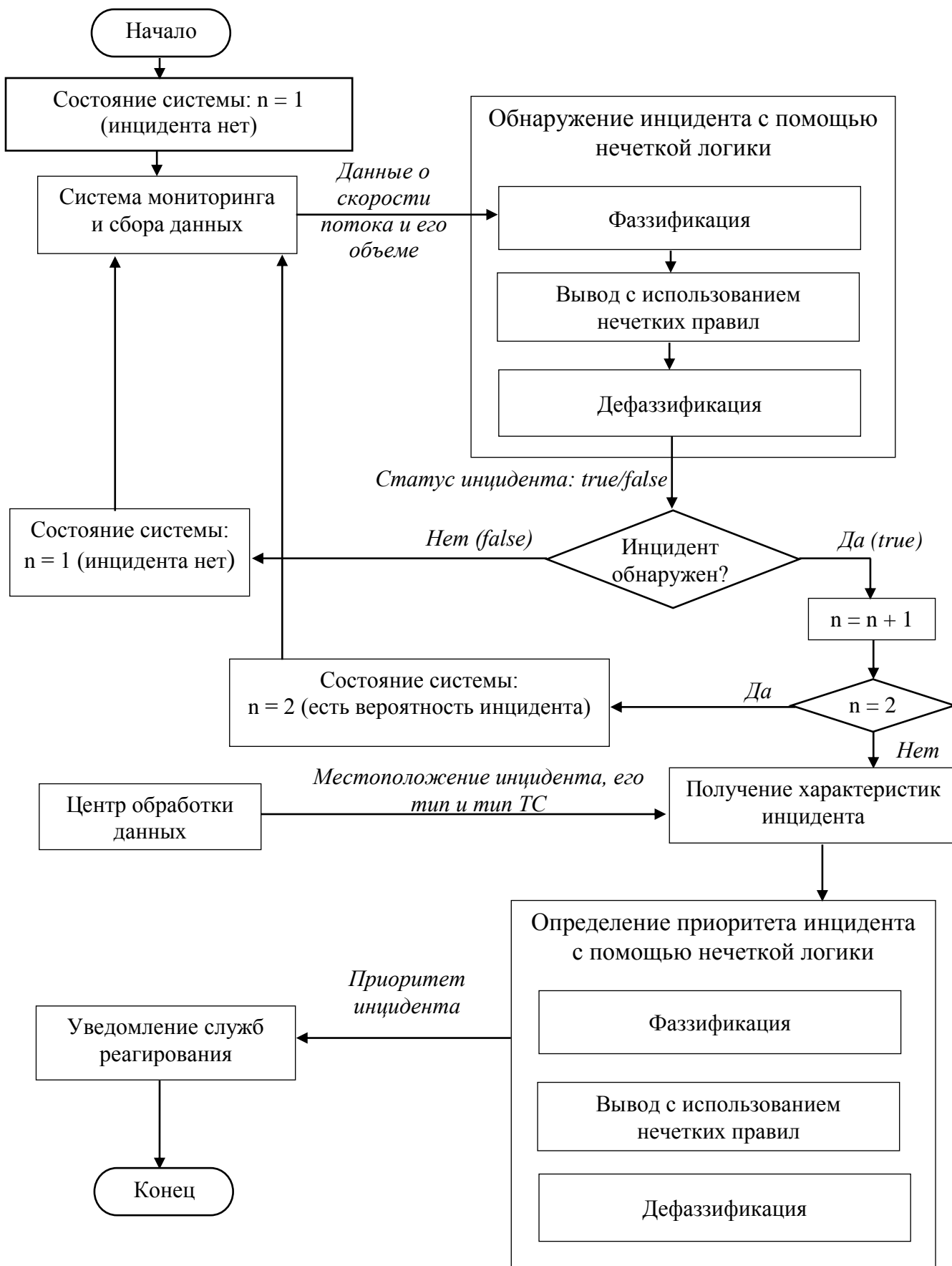
Обнаружение инцидентов является первым и важным этапом в процессе управления дорожными инцидентами, так как последующие этапы в управлении дорожными инцидентами запускаются после выявления дорожного события [5].

### **1. Разработка алгоритма обнаружения инцидентов и определения их приоритетов**

Многие из рассмотренных алгоритмов широко используются в различных системах по управлению дорожных инцидентов и в исследованиях транспортных сетей, а также для других специфических проектов [5-7, 10, 14]. Данные для остальных алгоритмов [6] получены на основе теории и практики с точки зрения их эффективности, требованиями в отношении данных, простоты внедрения, простоты калибровки и опыта работы. В соответствии с теоретическими и эмпирическими оценками следующие разделы отображают результаты оценки наилучшей производительности, требованиям к данным, а также сложность реализации.

Большинство алгоритмов автоматического обнаружения инцидентов принимают данные дорожного движения в качестве входных данных для дальнейшей обработки. На выходе такие алгоритмы выдают: возник инцидент или нет. Для реализации любого алгоритма обнаружения инцидентов необходимы входные данные, в зависимости от типа используемого алгоритма необходимы те или иные данные. В таблице 1 приведены необходимые данные для каждого из алгоритмов. Обязательные данные обозначены «+», необязательные «-». Все алгоритмы кроме предложенного на основе нечеткой логики для реализации требуют информацию о размещении инцидента. Объем дорожного движения необходим только для алгоритмов APID и на основе нечеткой логики.

Авторами был предложен алгоритм обнаружения инцидентов и определения их приоритетов на основе нечеткой логики (рис. 1). В течение определенного периода времени анализируется состояние дорожного движения на предмет возникновения инцидента. Если анализ показал, что движение не является нормальным, то считается, что вероятно произошел инцидент (ситуация 2), иначе – ситуация 1. Если на протяжении трех интервалов измеряемого времени движение не нормализовалось, то считается, что дорожный инцидент произошел, тогда на выходе будет ситуация 3. Если поток нормализовался, значит, инцидент был устранен, и на выходе будет снова 1. После того, как система показала, что возник инцидент, запускается этап классификации инцидента. Для работы алгоритма требуется информация о средней скорости потока и его объеме.



**Рисунок 1.** Алгоритм на основе нечеткой логики для обнаружения инцидентов и определения их приоритетов (разработано авторами)

**Таблица 1**

**Типы данных, используемых в алгоритмах (составлено авторами)**

Алгоритмы		Типы данных		
		Размещение	Объем трафика	Скорость движения
Алгоритмы на основе шаблонов	Алгоритм Калифорния TSC#7	+	-	-
	Алгоритм APID	+	+	-
	Алгоритм PATREG	+	-	-
Статические методы	Алгоритм SND	+	-	-
	Алгоритм Байеса	+	-	-
Теория катастроф	Алгоритм МакМастер	+	-	-
Искусственный интеллект	Разработанный алгоритм на основе нечеткой логики	-	+	+

Основные преимущества и недостатки основных алгоритмов приведены в таблице 2 [6].

**Таблица 2**

**Преимущества и недостатки алгоритмов (составлено авторами)**

Алгоритмы		Преимущества	Недостатки	Надежность
Алгоритмы на основе шаблонов	Алгоритм Калифорния TSC#7	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокая скорость обнаружения</li> <li>• Простой в реализации</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложен в калибровке</li> <li>• Низкий уровень обнаружения (<math>DR &lt; 50\%</math>)</li> <li>• Высокий уровень ложных тревог</li> <li>• Долгое время обнаружения</li> </ul>	• Относительно надежный
	Алгоритм APID	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Простой в реализации</li> <li>• Высокий уровень обнаружения (<math>DR &gt; 95\%</math>)</li> <li>• Маленькое время обнаружения (2-3 минуты)</li> </ul>	-	Довольно надежный
	Алгоритм PATREG	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Статические методы	Алгоритм SND	Нет данных	Нет данных	Нет данных
	Алгоритм Байеса	Нет данных	Нет данных	Нет данных
Теория катастроф	Алгоритм МакМастер	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Сложный в реализации</li> <li>• Дорогой</li> </ul>	нет

В рамках проводимого исследования для анализа эффективности алгоритмов предложена следующая формула:

$$F(x_1 \dots x_n, y_1 \dots y_n) = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n \quad (1)$$

где:  $x$  – вес каждого критерия, который будет определяться по результатам проведённых исследований;

$y$  – важность каждого критерия;

$n \in \mathbf{N}$  – обозначает количество критериев.

За основу взят метод аналитической иерархии из теории принятий решений, который состоит из четырех обязательных этапов [10]:

1 этап: Составления структуры «Цель – критерии – альтернативы»;

2 этап: Парного сравнения критериев;

3 этап: Вычисления весов критериев;

4 этап: Подсчитывания индикатора качества для каждой из альтернатив.

Применимость каждого этапа к проводимому исследованию представлена в таблице 3.

**Таблица 3**

**Структура «Цель – критерии – альтернативы» для данного исследования  
 (составлено авторами)**

Цель – выбор оптимального алгоритма обнаружения инцидентов	
Критерии: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Количество обнаруженных инцидентов</li> <li>• Количество ложных тревог</li> <li>• Время обнаружения инцидента</li> </ul>	Альтернативы: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Алгоритм Калифорния TSC#7</li> <li>• Алгоритм APID</li> <li>• Алгоритм PATREG</li> <li>• Алгоритм SND</li> <li>• Алгоритм Байеса</li> <li>• Алгоритм МакМастер</li> <li>• Разработанный алгоритм на основе нечеткой логики</li> </ul>

Этапы 2 и 3 будут адаптированы, так как в изначальном виде не подходят, и вследствие этого будут изменены, после каждого исследования каждому критерию соответственно будет присваиваться вес, который будет определяться следующим образом: при анализе остальных критериев вес будет выставляться следующим образом: алгоритму с лучшим результатом будет присвоен максимальный вес критерия (ниже представлена шкала весов критериев и их значения). Вес остальных критериев будет вычисляться относительно максимального результата и результата каждого алгоритма (таблица 4).

**Таблица 4**

**Шкала весов критериев и их значения (составлено авторами)**

Значение веса	5	4	3	2	1
Значение результата	Лучший	Хороший	Средний	Удовлетворительный	Худший

Для подсчёта индикатора качества будет использоваться следующая формула:

$$S_j = \sum_{i=1}^N w_i V_{ji} \quad (2)$$

где:  $S_j$  – показатель качества  $j$ -ой альтернативы, т.е. рассматриваемого алгоритма;

$N$  – общее количество критериев ( $N = 3$ );

$w_i$  – вес  $i$ -ого критерия, который рассчитывается в экспериментах;

$V_{ji}$  – важность  $i$ -ого критерия. Так как каждый из рассматриваемых критериев одинаково важен для оценки рассматриваемых алгоритмов, поэтому важность  $i$ -ого критерия будут все равны 1 ( $V_{ji} = 1$ ).

## 2. Результаты исследования алгоритмов обнаружения инцидентов

Эффективность системы управления дорожными инцидентами связана в первую очередь с выполнением этапа обнаружения инцидента. Выделены следующие параметры, характеризующие эффективность алгоритмов обнаружения инцидентов:

- *Время обнаружения инцидента (MTTD – Mean Time to Detection)* – определяется как время с момента, как происшествие произошло, до момента его обнаружения.

Важно заметить, что в данный параметр не включается время, требуемое для проверки инцидент (действительно ли произошел инцидент).

$$MTTD = \sum_{i=1}^N (t_a - t_{inc})/n \quad (3)$$

где:  $N$  – количество выявленных инцидентов;

$t_a$  – время, когда инцидент был обнаружен;

$t_{inc}$  – время, когда инцидент произошел.

Обнаружение инцидента можно рассматривать как важнейший компонент общего процесса управления инцидентами. Как только инцидент будет обнаружен и проверен, будут запущены другие действия по устранению возникшего происшествия. Чтобы гарантировать эффективностью любого процесса управления инцидентами важно, чтобы возникший инцидент был обнаружен, как только он возник. Своевременное и точное управление инцидентами становится более важным, когда рассматриваются негативное влияние на дорожное движение и на его безопасность. Задержка в выявлении инцидента может привести к длинному затору на дороге, которые, в свою очередь, может стать основной причиной возникновения вторичных аварий.

Существует прямая зависимость между временем, требуемого для обнаружения инцидента, и тяжестью последствий [7]. Например, крупный пожар в Монбланском туннеле, соединяющий Францию и Италию и по которому ежедневно проезжают десятки грузовиков и легковых автомобилей. Пожар произошел 24 марта в 1999 году (противопожарная сигнализация сработала сразу, датчики зафиксировали возгорание), потушить который не удалось на протяжении 56 часов, в результате погибло 39 человек. Тоннель отремонтировали и снова ввели в эксплуатацию в 2002-м году. Но после этого происшествия европейские стандарты безопасности, которые регламентируют используемое оборудование и оснащение туннелей в Евросоюзе, претерпели существенные изменения, помимо прочего стандарты стали предписывать обязательную установку систем обнаружения происшествий (IDS) в туннелях сверх определенной протяженности. Так в данном туннеле были установлены новейшие системы наблюдения и пожаротушения.

Ещё одним важным преимуществом быстрого обнаружения дорожного инцидента является возможное снижение вероятности возникновения несчастных случаев [8]. В данном

случае, смертность считается как смерть участника автомобильной аварии в течение 30 дней с момента аварии. Первые результаты испытаний показывают, что использование более эффективных методов обнаружения инцидентов может сократить влияние дорожного инцидента в среднем на 2-3 минуты, из расчета в среднем 5,2 минуты в 1990 году [9]. Основными факторами, влияющими на число погибших в ДТП, являются:

- Дорожный пробег (VMT – vehicle miles traveled),
- Средняя скорость автомобиля (MVS – mean vehicle speed),
- Потребление алкоголя на душу населения (ACC – alcohol consumption per capita),
- Возраст водителя (YAD – young/aged driver),
- Время уведомления об аварии (ANT – accident notification time),
- Личный доход на душу населения (IPC – personal income per capita).

Зависимость от вышеперечисленных переменных выглядит следующим образом:

$$\ln(NF_i) = a_0 + a_1(VMT_i) + a_2(MVS_i) + a_3(ACC_i) + a_4(YAD_i) + a_5(ANT_i) + a_6(IPC_i) \quad (4)$$

где:  $i$  – индекс, обозначающий штат в Соединенных Штатах;

$\ln()$  – натуральный логарифм;

$a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6$  – параметры модели, которые должны быть оценены с использованием фактических данных об инцидентах.

Следующее уравнение используется для определения влияния изменения времени уведомления (ANT) на изменение количества погибших (NF – number of fatalities) следующим образом:

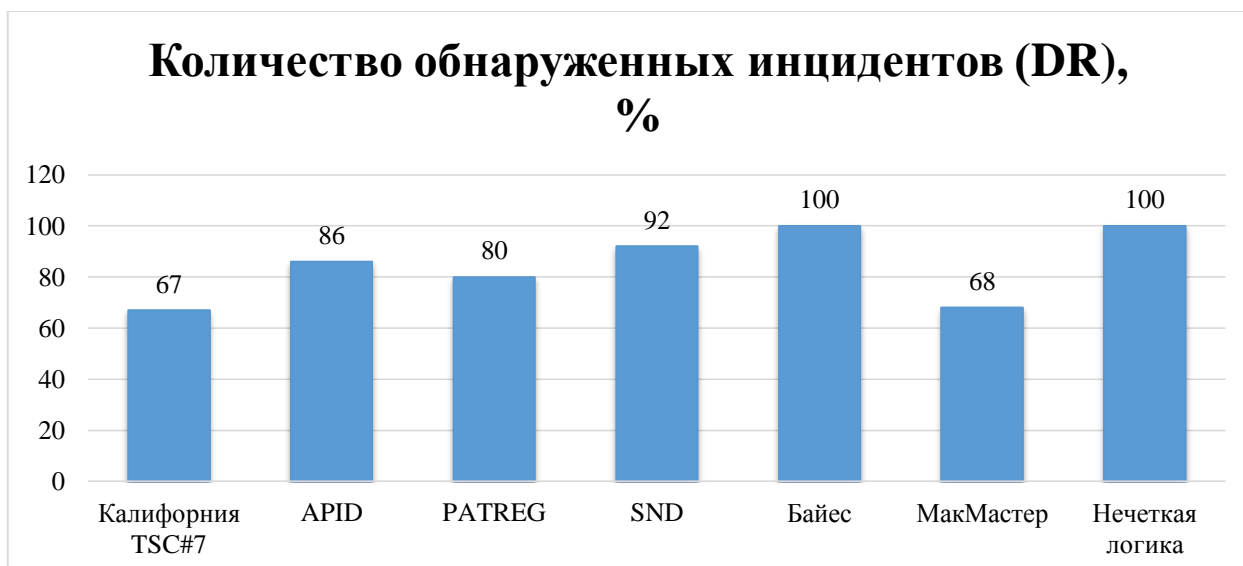
$$\frac{\Delta NF}{NF} = 0,27 \frac{\Delta ANT}{ANT} \quad (5)$$

Из данного уравнения следует, что если 5,2 минутное уведомление о возникновении аварии сократить до трех минут путем внедрения более эффективных методов обнаружения инцидентов, то возможно было сократить количество погибших на 11% в общем, то есть на 246 смертных случаев в год.

Результаты показывают важность быстрого обнаружения инцидента с точки зрения спасения жизней, а также снижение затрат, связанные с дорожно-транспортным происшествием. В ходе исследования определялись:

- *Количество обнаруженных инцидентов (DR – Detection Rate)* – отношение числа обнаружения инцидентов к общему количеству инцидентов, измеряется в % (рис. 2).





**Рисунок 2.** Результаты исследований уровня обнаружения инцидентов (разработано авторами)

Данный параметр зависит от определения инцидента, то есть зависит от того, что в системе будет считаться инцидентом, а что нет. Данный параметр вычисляется следующим образом:

$$DR = \left( \frac{N_{DI}}{N_{TI}} \right) * 100 \quad (6)$$

где:  $N_{DI}$  – количество обнаруженных инцидентов;

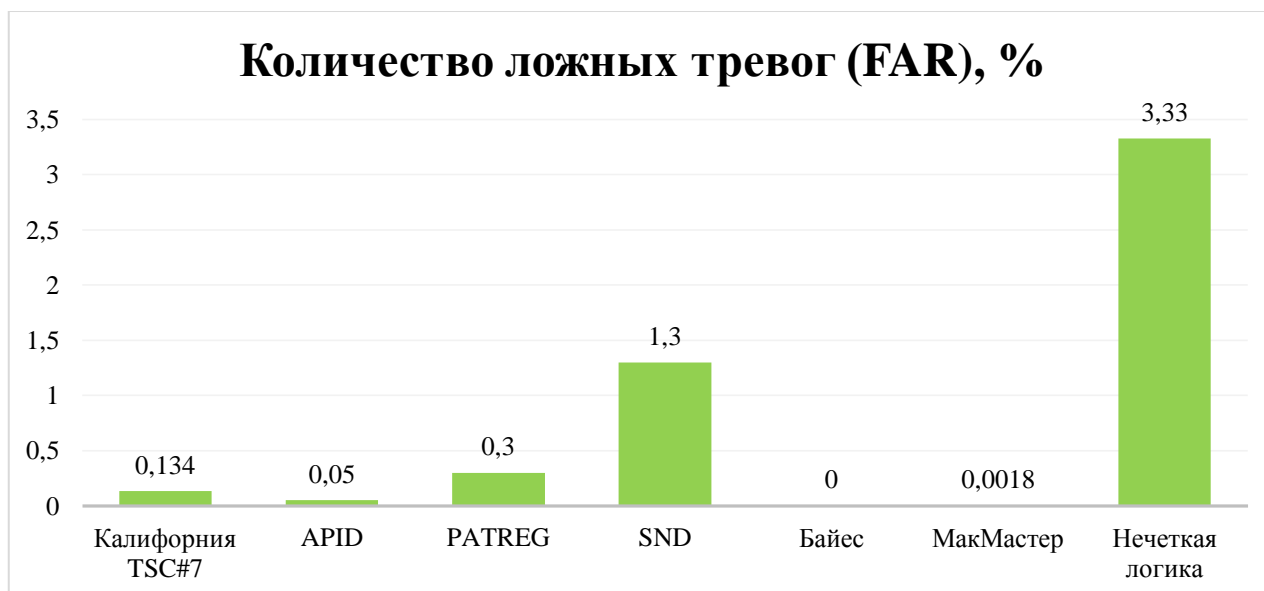
$N_{TI}$  – общее количество инцидентов.

• *Количество ложных тревог (FAR – False Alarm Rate)* – определяется как процент ошибочных сигналов обнаружения по отношению к общему количеству инцидентов (рис. 3).

$$FAR = \left( \frac{N_{FA}}{N_{TA}} \right) * 100 \quad (7)$$

где:  $N_{FA}$  – количество ложных тревог;

$N_{TA}$  – общее количество тревог.



**Рисунок 3.** Результат исследования количества ложных тревог (разработано авторами)

Максимальные значения наблюдаются у двух алгоритмов: алгоритм Байеса и разработанный алгоритмы на основе нечеткой логики – 100%. Также высокий показатель у алгоритма SND, выше 90%. Самые минимальные показатели у алгоритмов Калифорния и МакМакстер, ниже 70%. Самый минимальный показатель по количеству ложных тревог у алгоритма Байеса – 0%, что означает исключение появления ошибок в системе. Другие минимальные показатели принадлежат алгоритмам APID и МакМастера – 0,05% и 0,0018% соответственно.

Максимальный показатель (4,4%) у предложенного алгоритма на основе нечеткой логики. На 90 проведенных экспериментов пришлось 4 ложных тревоги.

- *Время обнаружения инцидента (MTTD)* (рис. 4).

Максимальное время обнаружения инцидентов у алгоритма Байеса – почти 4 минуты. Почти 3 – у алгоритма Калифорния. Самый минимальный результат у предложенного алгоритма на основе нечеткой логики – меньше минуты (41,02 сек.).

По предложенному методу оценки будут проведены оценки эффективности рассмотренных выше алгоритмов по обнаружению инцидентов. Согласно этапу 3 необходимо рассчитать веса для каждого критерия (таблица 5).

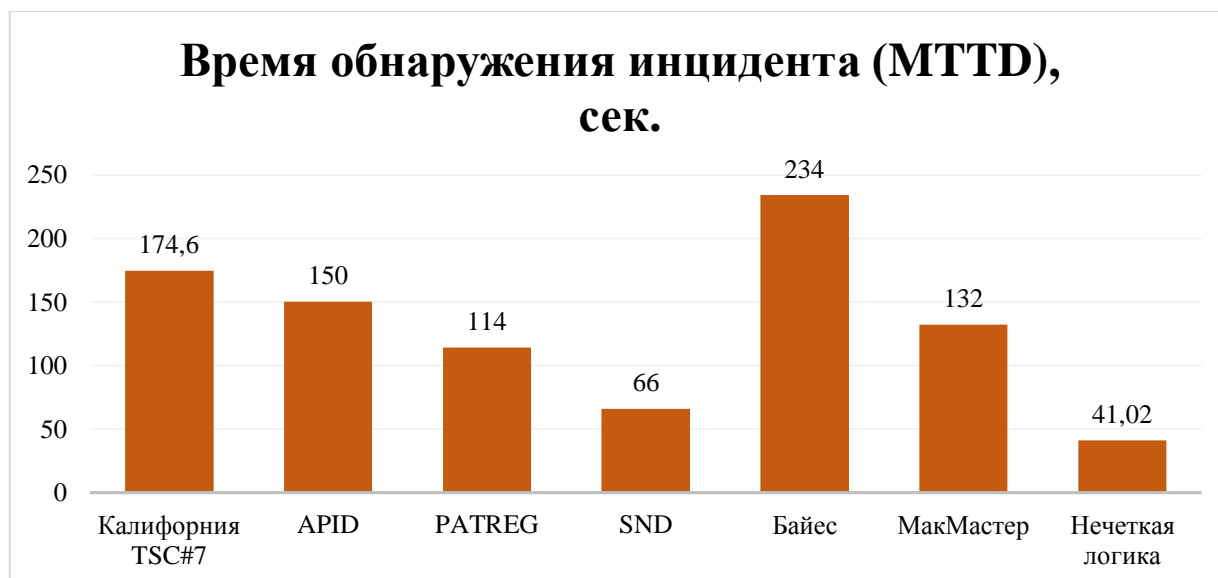


Рисунок 4. Результаты исследования времени обнаружения инцидентов (разработано авторами)

Таблица 5

Значения весов для каждого критерия в зависимости от алгоритма (составлено авторами)

Алгоритм	Критерии		
	Количество обнаружения инцидентов (DR)	Количество ложных тревог (FAR)	Время обнаружения инцидента (MTTD)
Алгоритм Калифорния TSC#7	6,7	9,6	3,07
Алгоритм APID	8,6	9,85	4,35
Алгоритм PATREG	8	9,1	6,22
Алгоритм SND	9,2	6,09	8,7
Алгоритм Байеса	10	10	1
Алгоритм МакМастер	6,8	10	5,29
Разработанный алгоритм на основе нечеткой логики	10	1	10

После необходимо рассчитать для каждого алгоритма индикатор качества  $S_j$ :

$$S_{TS\#7} = 6,7 + 9,6 + 3,07 = 19,37;$$

$$S_{APID} = 8,6 + 9,85 + 4,35 = 22,8;$$

$$S_{PATREG} = 8 + 9,1 + 6,22 = 23,32;$$

$$S_{SND} = 9,2 + 6,09 + 8,7 = 23,99;$$

$$S_{BAYES} = 10 + 10 + 1 = 21;$$

$$S_{McMaster} = 6,8 + 10 + 5,29 = 22,09;$$

$$S_{FL} = 10 + 1 + 10 = 21.$$

Самый лучший результат у алгоритма SND, самый худший – алгоритма Калифорния. У предложенного алгоритма среднее значение индикатора качества. Стоит отметить, что значения полученных индикаторов качества имеют разницу между собой незначительную, что обусловлено тем, что каждый из рассматриваемых алгоритмов в том или ином критерии показывают лучшие или худшие результаты, но нет ни одного, который показал бы лучшие результаты во всем.

Например, предложенный алгоритм на основе нечеткой логики имеет самое минимальное время обнаружения и обнаруживает все возникающие инциденты, но имеет наивысший уровень ложных тревог [11]. Или алгоритм Байеса – несмотря на то, что способен обнаруживать все инциденты и имеет нулевой показатель ложных тревог, но время определения инцидента самое максимальное из всех.

Алгоритм SND, который является лидером в сравнительном анализе, показывает один из лучших результатов в показателях количества обнаруженных инцидентов и времени обнаружения, но имеет один из худших показателей в количестве ложных тревог.

### 3. Обсуждение результатов

Типичные программы по управлению движением, как правило, состоят из обычных систем и автоматических систем обнаружения инцидентов. Обычные системы обнаружения состоят их патрульных служб или из систем по обработке входящих телефонных звонков, посредством которых сообщается о дорожном инциденте [12].

Для обеспечения надлежащего реагирования на дорожный инцидент необходимо получать точную информацию о местоположении, типе и масштабе инцидента. Использование датчиков для обнаружения дорожных инцидентов дает возможность получение более полной, точной и своевременной информации о дорожной ситуации.

Большинство систем автоматического обнаружения не могут обнаружить инцидент, пока ударная волна не дойдет по течению дорожного движения до ближайшего датчика, где система начнет измерять характер движения [13].

Поэтому для повышения эффективности работы систему обнаружения инцидентов необходимо обеспечить сбор данных с нескольких источников, например, с индукционных датчиков и видеокамер. Использование одновременно нескольких датчиков сможет снизить влияние недостатков каждого из датчиков, сократить время обнаружения инцидента, что в целом увеличит общую производительность системы обнаружения инцидентов. Например, сигнал о возникновении дорожного инцидента, информация о котором поступила с индукционных петель, может быть подтвержден визуально, путем наведения камеры на предполагаемый участок с возникшим дорожным инцидентом.

Рассматривая характеристики дорожного движения и полученные данные от систем, решение проблемы управления инцидентами не может быть осуществлено с помощью числовых алгоритмов. Поэтому требуется использование эксперта, используя его знания и опыт. Когда инцидент обнаруживается, оператором должны быть выполнены различные процедуры, чтобы среагировать на него [14]. Используя такой метод сложно улучшить процесс управления дорожными инцидентами, потому что сам процесс реагирования на инцидент не может быть точно и четко описан. Для решения данной проблемы необходимо сформулировать реальную процедуру алгоритма реагирования оператора на инцидент и разработать автоматическую систему принятия решения, которая должна занять место оператора.

Учет факторов неопределенности является одним из самых значимых характеристик в процессе принятия решений нечеткой логики. Следовательно, применение нечетких систем стало подходящим в качестве решения проблемы в управлении дорожными инцидентами. Была предложена нечеткая модель для обнаружения и реагирования на дорожный инцидент, которая при большом показателе FAR показала свою эффективность при описании нечеткого определения условий возникновения инцидента и фактических суждений, используемых при обработке данных об инциденте. Алгоритм на основе нечеткой логики показал высокие результаты по общему количеству определенных инцидентов (100%) и самое низкое время определения возникновения инцидента (41,02 сек.).

Предложенная модель является гибкой в том плане, что возможно создание любых нечетких правил под разные условия для определения дорожного инцидента, например, возможно введение для анализа таких показателей, как время суток (день/ночь), дорожные условия (ясно, снег, дождь, туман и т.д.)

Система обнаружения инцидентов на основе нечеткой логики ставит перед собой задачу автоматизации заданного процесса, что в дальнейшем может позволить устранить человеческий фактор в процессе управления инцидентами.

Реализация алгоритма по определению приоритета инцидента была выполнена в зависимости от трех входных параметров (тип ТС, тип инцидента и его расположение), а также службы реагирования для устранения возникшего инцидента.

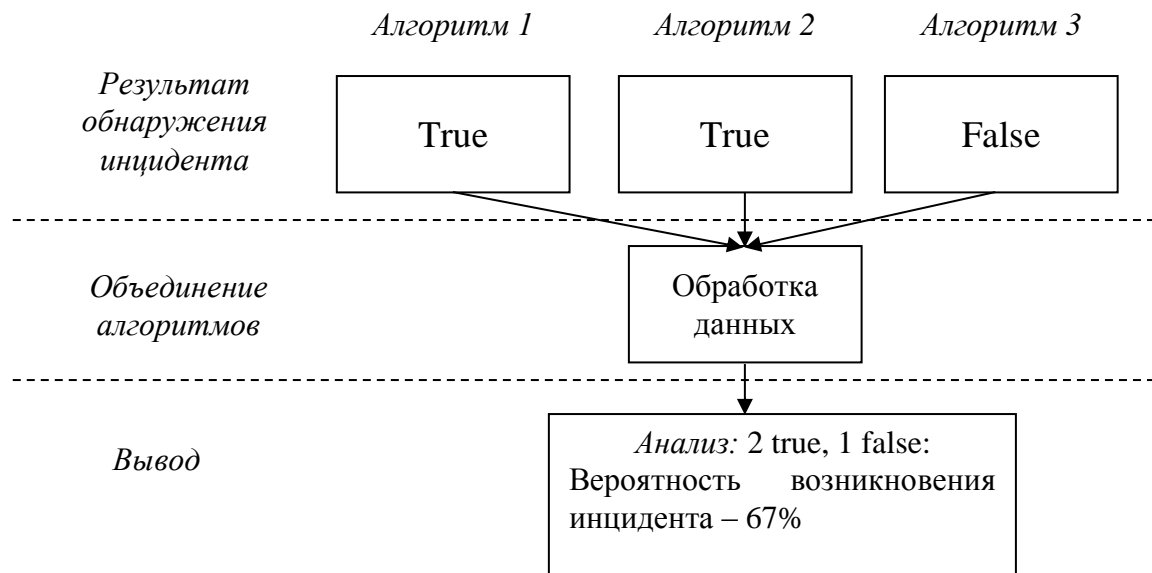
### **Заключение**

Был проведен сравнительный анализ предложенного алгоритма с другими существующими алгоритмами определения инцидента (по типу данных, по производительности). Алгоритм на основе нечеткой логики показал самые высокие результаты по количеству выявленных инцидентов (100%) и времени их выявления (среднее значение 41,02 сек.). Но алгоритм показал наихудший результат по количеству ложных тревог (3,33%). Данный результат обусловлен малым количеством проведенных экспериментов (в сумме 90).

Для реализации системы мониторинга дорожного движения и получения необходимых данных для алгоритмов были проанализированы существующие на данный момент технологии обнаружения ТС.

Следует отметить, что особенность каждого алгоритма определяет свою собственную среду применения. Поскольку производительность одного и того же алгоритма может существенно отличаться в различных условиях окружающей среды: экологические факторы, геометрические особенности проезжей части, типы используемых для сбора данных датчиков, их конфигурация и калибровка, период сбора данных, а также факторы, которые непосредственно влияют на дорожное движение.

В данном случае необходимо использовать весовой алгоритм для объединения нескольких алгоритмов и для определения инцидента или вероятности его возникновения (рис. 5).



**Рисунок 5.** Схема работы системы при использовании нескольких алгоритмов обнаружения (разработано авторами)

Объединение существующих алгоритмов позволит повысить эффективность обнаружения инцидентов, соединив преимущества и особенности каждого из алгоритмов. Так большинство алгоритмов лучше всего работают при низких и средних объемах движения, в то время как некоторые из них приспособлены специально для больших объемов.

При объединении таких алгоритмов инцидент будет обнаружен с большей вероятностью, чем при использовании их в отдельности, что, в конечном счете, повысит общую производительность системы обнаружения дорожных инцидентов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Николаев А.Б., Сапего Ю.С. Автоматизация процесса управления инцидентами при организации первоначального поиска в базе данных управления конфигурацией // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2. – С. 148-154. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-15.
2. Николаев А.Б., Сапего Ю.С. Методы автоматизации процесса управления инцидентами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 11. С. 38-41.
3. Николаев А.Б., Сапего Ю.С. Нечеткий ситуационный подход к управлению дорожными инцидентами // Единый всероссийский научный вестник # II, 2016, стр. 94-99.
4. Alkandari A. Accident Detection and Action System Using Fuzzy Logic Theory // Proceedings of 2013 International Conference on Fuzzy Theory and Its Application. National Taiwan University of Science and Technology, Taipei, Taiwan, Dec. 6-8, 2013. pp. 385-390.

5. Balke, K.N. An evaluation of existing incident detection algorithms. Research Report, FHWA/TX-93/1232-20, Texas Transportation Institute, the Texas A&M University System, College Station, TX, November 1993.
6. Binglei X., Zheng H., Hongwei M. Fuzzy-logic-based traffic incident detection algorithm for freeway // Proceedings of the Seventh International Conference on Machine Learning and Cybernetics. 2008. pp. 1254-1259.
7. Deniz O., Celikoglu H.B. Overview to some existing incident detection algorithms: a comparative evaluation // Procedia – Social and Behavioral Sciences. 2011.
8. Der-Horng Lee, Shin-Ting Jeng, Integrated Freeway Incident Management Using Data Mining and Expert Systems, Institute of Transportation Studies – University of California – Irvine – USA. 2004.
9. Kim H.J., Choi H.-K. A comparative analysis in incident service time on urban freeways // IATSS RESEARCH Vol.25 No.1, 2001. pp. 62-72.
10. Mitrovich S., Gaetano Valenti, Massimo Mancini. A decision support system (DSS) for traffic incident management in roadway tunnel infrastructure // RAIN Consortium – ENEA. Association for European Transport and contributors. 2006.
11. Hourdos J., Garg V., Michalopoulos P. Accident Prevention Based on Automatic Detection of Accident Prone Traffic Conditions: Phase I. 2008. – 152 p.
12. Hu M., Tang H. Development of the Real-time Evaluation and Decision Support System for Incident Management. IEEE. – 2003. – pp. 426-431.
13. Parkany E. A Complete Review of Incident Detection Algorithms & Their Deployment: What Works and What Doesn't // The New England Transportation Consortium. 2005. 1 – 112 p.
14. Peter Dr., Martin T. Incident Detection Algorithm Evaluation. Utah Department of Transportation. – 2001. – 46 c.

**Nikolaev Andrey Borisovich**

Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Russia, Moscow  
E-mail: [nikolaev.madi@mail.ru](mailto:nikolaev.madi@mail.ru)

**Yagudaev Gennady Grigorevich**

Moscow automobile and road construction state technical university (MADI), Россия, Москва  
E-mail: [gena\\_yagudaev@mail.ru](mailto:gena_yagudaev@mail.ru)

**Sapego Yuliya Sergeevna**

LLC «Customized InformSystem», Russia, Moscow  
E-mail: [yulia.sapego@yandex.ru](mailto:yulia.sapego@yandex.ru)

**Eremin Sergei Vasilievich**

Ministry of transport of the Krasnoyarsk Kray, Russia, Krasnoyarsk  
E-mail: [140576@mail.ru](mailto:140576@mail.ru)

**Kulakov Aleksandr Vyacheslavovich**

Higher school of Economics – national research University, Russia, Moscow  
E-mail: [avkulakov@hse.ru](mailto:avkulakov@hse.ru)

## **Analysis incident management algorithms in intelligent transport systems**

**Abstract.** Management of road incidents is a major challenge in motion control, requiring constant attention and considerable investment, as well as fast and accurate decisions in order to restore normal traffic conditions. The goal of any strategy incident management is the rapid and effective detection. Such management is a systematic process, including detection, response, elimination and restoration of normal traffic conditions. The effectiveness of the strategy management of incidents is estimated to reduce the time interval from the moment of the incident until it is resolved. Automatic control methods become an important factor to reduce traffic congestion caused by a incident. The article describes the various algorithms required to detect and manage incidents. Conducted a detailed comparative analysis of algorithms for incident detection, their advantages and disadvantages. The authors proposed an original algorithm based on fuzzy logic for detecting incidents and determining their priorities.

Presents the results of research of efficiency of algorithms according to various criteria: the number of detected incidents, the number of false alarms, and detection time of the incident. Recommendations on the choice of algorithm.

**Keywords:** traffic management; automated control systems; incident detection algorithms; road incidents; false alarms; weight criteria; incident detection time; intelligent transport systems