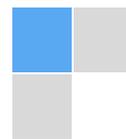

ISSN 2306-1561

Automation and Control in Technical Systems (ACTS)

2015, No 3, pp. 57-69.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-3-5



Analysis of the Existing Algorithms for Automatic Detection of Road Accidents

Yuliya Sergeevna Sapego

Russian Federation, Postgraduate Student, Department of «Automated Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

kafedra@asu.madi.ru

Andrey Borisovich Nikolaev

Russian Federation, Honoris Causa, Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty «Control Systems».

State Technical University – MADI, 125319, Russian Federation, Moscow, Leningradsky prospekt, 64. Tel.: +7 (499) 151-64-12. <http://www.madi.ru>

nikolaev.madi@mail.ru

Abstract. Development of an effective management process of road accidents is an important part of the transport system. The purpose of any strategy is the elimination of the emerged accident for the shortest possible time. Such management should include incident detection, response to the incident event, and restoration of normal traffic conditions. Phase detection of incidents should include tools for collect and process data. The effectiveness of phase detection of incidents determined by the ability to track and identify incidents using algorithms and as soon as possible. This article describes the main types of algorithms for automatic detection of road incidents and defines performance measures. We analyzed these algorithms and identified their main advantages and disadvantages.

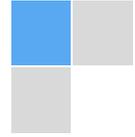
Keywords: traffic accidents management system, Incident detection, incident detection algorithm.

ISSN 2306-1561

Автоматизация и управление в технических системах (АУТС)

2015. – № 3. – С. 57-69.

DOI: 10.12731/2306-1561-2015-3-5



УДК 004.8

Анализ существующих алгоритмов автоматического обнаружения дорожных инцидентов

Сапего Юлия Сергеевна

Российская Федерация, аспирант кафедры «Автоматизированные системы управления».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

kafedra@asu.madi.ru

Николаев Андрей Борисович

Российская Федерация, Лауреат премии правительства РФ, Заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор, декан факультета «Управление».

ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)», 125319, Российская Федерация, г. Москва, Ленинградский проспект, д.64, Тел.: +7 (499) 151-64-12, <http://www.madi.ru>

nikolaev.madi@mail.ru

Аннотация. Разработка эффективного процесса управления дорожными инцидентами является важной частью транспортной системы. Целью любой стратегии управления инцидентами является устранение возникшего происшествия за возможно короткое время. Такое управление должно включать в себя обнаружение инцидента, реагирование на случившееся событие, восстановление нормальных условий дорожного движения. Этап обнаружения инцидентов должен включать в себя инструменты для сбора и обработки данных. Эффективность этапа обнаружения инцидентов определяется способностью отслеживать и выявлять инциденты с помощью алгоритмов и в максимально короткие сроки оповещать о необходимости принятия соответствующих мер. В данной статье рассмотрены основные типы алгоритмов для автоматического обнаружения дорожных инцидентов и определены меры их эффективности. Проведен анализ данных алгоритмов и выявлены основные преимущества и недостатки.

Ключевые слова: система управления дорожными инцидентами, обнаружение дорожных инцидентов, алгоритмы обнаружения инцидентов.

1. Введение

Системы автоматического обнаружения инцидентов возникли благодаря американской разработке схемы управления шоссе в 1970-х годах. В дальнейшем было разработано множество различных типов алгоритмов, позволяющие на основе полученных данных и без участия человека, обнаруживать возникновения дорожного инцидента [1 ... 20].

Первые разработанные алгоритмы автоматического обнаружения дорожных инцидентов, как правило, использовали метод распознавания шаблонов, которые заключались в сравнении текущего состояния дороги с predetermined пороговыми значениями дорожного движения.

В 1980-х годах были предложены десятки алгоритмов обнаружения инцидентов на основе прогнозирования. Суть таких алгоритмов заключалась в следующем: на основе исторических данных делался прогноз будущего состояния дорожного движения или прогнозировалась вероятность возникновения инцидента путем сравнения параметров текущего состояния движения и прогнозируемыми значениями.

В последние года благодаря развитию технологий искусственного интеллекта разработаны новые алгоритмы на основе нейронных сетей или генетического алгоритма.

Разработанные алгоритмы можно разделить на следующие виды:

- алгоритмы на основе шаблонов;
- статические методы;
- теория катастроф;
- искусственный интеллект.

2. Алгоритмы на основе шаблонов

Данный алгоритм является наиболее распространенным. Вывод результата осуществляется на основе информации о размещении ТС, объеме дорожного движения и информации о движении потока (например, средняя скорость). Принцип обнаружения: такие алгоритмы сравнивают текущие условия движения, такие как плотность движения, размещение ТС и другое с установленными пороговыми значениями для дальнейшего определения имеет ли место инцидент на дороге.

2.1. Алгоритм Калифорния

Алгоритм разработан в конце 1960-х для управления и обнаружения инцидентов в Лос-Анджелесе. Алгоритм основан на сравнении условий движения между двумя датчиками. Позднее на основе алгоритма Калифорния были разработаны и проверены 10 модифицированных (Пейн и Тигнор). Среди них два алгоритма TSC #7 и TSC #8 показали лучшие результаты. Рассмотрим подробнее алгоритм TSC#7.

Алгоритм TSC#7 использует предустановленные пороги классификации текущего состояния дороги (Левин и Краузе, 1978). Данные для анализа должны поступать от двух соседних датчиков. Алгоритм вычисляет «пространственные различия в занятости» (OCCDF) и «относительную разницу заселенности» (OCCRDF). В дополнение к этим двум параметрам алгоритм использует значение «наполняемости» (DOCC), полученных от последующих детекторов. Вычисляются параметры OCCDF и OCCRDF следующим образом:

$$OCCDF(i, t) = OCC(i, t) - OCC(i + 1, t) \quad (1)$$

$$OCCRDF(i, t) = (OCC(i, t) - OCC(i + 1, t)) / OCC(i, t), \quad (2)$$

где

i – детекторы;

t – период времени;

$OCC(i + 1, t)$ – значение размещения, которое было получено от датчика ($i + 1$) за период времени t .

Значение $OCC(i + 1, t)$ может быть использовано в качестве DOCC.

Алгоритм TSC#7 в основном рассчитывает значения OCCDF и OCCRDF от датчиков и сравнивает полученные результаты с предустановленными ранее пороговыми значениями, например, T1, T2 и T3:

T1 – максимальное значение OCCDF при нормальных условиях

T2 – максимальное значение временной разницы для нижнего размещения (DOCSTD) при нормальных условиях

T3 – максимальное значение OCCRDF при нормальных условиях.

DOCSTD может быть рассчитано следующим образом:

$$DOCSTD = OCC(i + 1, t) - OCC(i + 1, t + 1) \quad (3)$$

После сравнения порогов и входных данных алгоритм решает, в каком состоянии находится дорога в настоящее время. Выделено четыре состояния дорожного движения:

0 – нет никаких инцидентов

1 – есть вероятность возникновения инцидента, но инцидент на текущий момент не был обнаружен

2 – инцидент обнаружен

3 – инцидент продолжает воздействовать на дорожное движение.

За счет изменения использования относительных временных различий путем изменения размещения трафика на обратном следовании потока было сокращено появление ложных тревог и улучшена производительность на 20%.

2.2. Алгоритм APID

Алгоритм APID (All Purpose Incident Detection) был разработан Филиппом Х. Мастерсом (Philip H. Masters) в качестве компонента программного обеспечения COMPASS для использования его в ATMS в Торонто (Чанг и Лин, 1993).

Алгоритм включает в себя общий алгоритм обнаружения инцидента для тяжелых дорожных условий, алгоритм среднего объема, подпрограмму завершения инцидента,

тест устойчивости и т.д. Данный алгоритм представляет собой объединение основных элементов алгоритма Калифорния в единую структуру. В дополнение к входным параметрам OCCDF, OCCRDF, DOCCD, DOCC алгоритму APID требуется параметр «относительная временная разницы скорости» (SPDTRDF). Рассчитать данный параметр можно следующим образом:

$$SPDTRDF(i, t) = (SPD(i, t - 2) - SPD(i, t)) / SPD(i, t - 2), \quad (4)$$

где $SPD(i, t)$ - данные получение от скорости восходящего датчика на период времени t . Алгоритм APID может быть выполнен в том случае, если получены все данные ранее.

Алгоритм APID использует 4 различных состояния классификации дорожных условий, которые используются для алгоритма TSC#7, также содержит 11 пороговых параметра и 6 параметров управления. Алгоритм использует APID три основные процедуры обнаружения инцидента проверки:

- процедура регистрации инцидент (INC_DETECT_CHECK);
- процедура проверки обнаружения инцидента низкий объем (LO_VOL_INC_DETECT_CHECK);
- процедура проверки обнаружения инцидента среднего объема (MED_VOL_INC_DETECT_CHECK).

2.3. Алгоритм PATREG (Pattern Recognition Algorithm)

Алгоритм был разработан в 1979 году в дорожной научно-исследовательской лаборатории (TRRL). Он использовался в сочетании с алгоритмом НЮСС для обнаружения нарушений на высокоскоростных объектах Англии.

Алгоритм оценивает время прохождения между двумя датчиками, преобразует полученные данные в скорость, а затем сравнивает результат с предустановленным пороговым значением. Если скорость падает ниже порогового значения для определенного периода времени, то это означает, что произошел инцидент. Время прохождения вычисляется сложной техникой кросс-корреляции.

3. Статические методы обнаружения инцидентов

Такие алгоритмы используют стандартные статические методы для определения разницы между данными о дорожном движении в реальном времени, полученные от датчиков, и прогнозируемыми (оценочными) значениями. Алгоритмы используют временные ряды данных и создают прогнозируемый диапазон значений. Любое отклонение от прогнозируемого потока трафика считается инцидентом. Преимущество такого метода состоит в том, что для реализации алгоритма не требуется использование больших объемов данных.

3.1. Алгоритм SND(StandardNormalDeviate)

Алгоритм был разработан техасским институтом транспорта (Texas Transportation Institute (TTI)) в начале 1970-х годов для использования в центре наблюдения и управления, установленном в Хьюстоне.

Принцип алгоритма следующий: из текущей контрольной переменной вычитается среднее отклонение, и все делится на стандартное отклонение. Среднее и стандартное отклонение берется из собранных ранее данных. Если текущее значение SND выходит за пределы предустановленных порогов, то произошел инцидент.

В результате было выявлено 92% инцидентов, время обнаружения 1,1 минуты и 1,3% ложных тревог. Самый важный аспект данного алгоритма – это определение пороговых значений.

3.2. Алгоритм Байеса

Алгоритм использует статистические методы Байеса, чтобы вычислить вероятность возникновения инцидента с использованием исторических данных о частоте мощности снижения событий вдоль всего участка дороги (Левин и Краузе 1979). Используются относительные различия заполняемости между датчиками, как в алгоритме Калифорния, но при этом вычисляет вероятность, то есть главное отличие от других алгоритмов состоит в том, что результатом работы является вероятность появления инцидента, а не однозначное «да» или «нет».

Для реализации алгоритма необходимо три типа данных: размещение ТС, плотность при условии возникновения инцидента и плотности движения, когда аварии нет, и данные о типе, месте и последствий инцидентов.

4. Теория катастроф

Теория катастроф берет свое название от внезапных дискретных изменений, которые происходят в одной переменной, в то время как другие связанные переменные непрерывно изменяются (Persaud и Hall, 1989). Такими переменными являются скорость, плотность потока и размещение. Считается, что произошел инцидент, если скорость потока падает без соответствующего увеличения плотности потока и размещения. Возникновение пробок приводит к плавному изменению скорости потока, в то время как инцидент приводит к резкому изменению. Следовательно, такие алгоритмы могут различать регулярные пробки и возникающие инциденты.

Главное отличие теории катастроф от алгоритмов сравнения заключается в том, что в первом случае полученные данные сравниваются с предыдущими ситуациями на дороге, где возникают пробки, во втором – с предустановленными пороговыми значениями.

4.1. Алгоритм МакМастер (McMaster Algorithm)

Для реализации алгоритма требуются данные получаемые от одного датчика: скорость, плотность потока и размещение. Принцип алгоритма основан на резком изменении одного параметра, когда остальные изменяются плавно и непрерывно.

Алгоритм состоит из четырех областей, каждая из которых соответствует определенному профилю движения. Логический алгоритм выполняется для сравнения шаблонных данных и фактических. Первый тест определяет перегруженность

движения. Если перегрузка обнаружена, то алгоритм пытается определить источник. Алгоритм требует нетривиального управления и калибровки данных.

5. Определение мер эффективности алгоритмов

Выделены нижеследующие параметры, характеризующие эффективность алгоритмов обнаружения инцидентов.

Количество обнаружения инцидентов (DR) – отношение числа обнаружения инцидентов к общему количеству инцидентов, измеряется в %.

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:

$$DR = \left(\frac{N_{DI}}{N_{TI}} \right) * 100, \quad (5)$$

где N_{DI} - количество обнаруженных инцидентов, N_{TI} - общее количество инцидентов.

Количество ложных тревог (FAR)– определяется как процент ошибочных сигналов обнаружения по отношению к общему количеству инцидентов

$$FAR = \left(\frac{N_{FA}}{N_{TA}} \right) * 100, \quad (6)$$

где N_{FA} – количество ложных тревог, N_{TA} – общее количество тревог

Время обнаружения инцидента (MTTD) – 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).

$$MTTD = \sum_{i=1}^N (t_a - t_{inc})/n, \quad (7)$$

где N – количество выявленных инцидентов, t_a – время, когда инцидент был обнаружен, t_{inc} – время, когда инцидент произошел.

Выше изложенные параметры не имеют прямой зависимости, но, тем не менее, взаимосвязаны, то есть, как правило, увеличение количества обнаруженных инцидентов ведет к увеличению показателя ложных тревог. Таким же образом, если снижается количество ложных тревог, то снижается «чувствительность» обнаружения инцидентов в целом. В общем, чем больше алгоритмы предоставляют данных для анализа, тем лучше результаты будут на выходе.

Оценка сложности реализации и степень интеграции - основана на оценках, связанных со сложностью конструкции и структуры алгоритма, объема обработки, требуемого для каждого алгоритма.

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

$$F(x_1 \cdot x_n, y_1 \cdot y_n) = x_1 y_1 + x_2 y_2 + \dots + x_n y_n, \quad (8)$$

где

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

у – важность критерия.

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

- 1 этап: Составления структуры «Цель – критерии – альтернативы»;
- 2 этап: Попарного сравнения критериев;
- 3 этап: Вычисления весов критериев;
- 4 этап: Подсчитывания индикатора качества для каждой из альтернатив.

Далее подробно рассмотрим применимость каждого этапа к проводимому исследованию. Структура будет следующей (таблица 1).

Таблица 1 – Структура «Цель – критерии – альтернативы» для данного исследования

Цель – выбор оптимального алгоритма обнаружения инцидентов	
Критерии:	Альтернативы:
– Количество обнаружения инцидентов	– Алгоритм Калифорния TSC#7
– Количество ложных тревог	– Алгоритм APID
– Время обнаружения инцидента	– Алгоритм PATREG
– Оценка сложности реализации	– Алгоритм SND
– Степень интеграции алгоритма	– Алгоритм Байеса
	– Алгоритм МакМастер

Рсчёты, проводимые на этапах 2 и 3, в изначальном виде не подходят.

Поэтому эти два этапа будут адаптированы и вследствие чего изменены: после каждого исследования каждому критерию соответственно будет присваиваться вес, который будет определяться следующим образом:

При анализе оценки сложности реализации и степени интеграции вес будет выставляться субъективный, так как математически вычислить вес не представляет возможности. Будут выделены следующие критерии и соответствующие веса: низкая/легкая (3), средняя (2), высокая/сложная (1).

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 будет вычисляться относительно максимального результата и результата каждого алгоритма.

Таблица 2 – Шкала весов критериев и их значения

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

Для подсчёта индикатора качества будет использоваться следующая формула:

$$S_j = \sum_{i=1}^N w_i V_{ji}, \quad (9)$$

где

S_j - показатель качества j-ой альтернативы, т.е. рассматриваемого алгоритма;

N – общее количество критерий, в данном исследовании $N = 5$;

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

V_{ji} – важность i-ого критерия.

В данном исследовании важность каждого критерия будет максимальной, т.е. $V_{ji} = 5$, кроме оценки сложности реализации и степени интеграции, так как самое важное в алгоритмах, это как максимально качество и быстро алгоритмы могут определить, что произошел инцидент ($V_{ji} = 1$). Максимальное значение S_j покажет лучший (оптимальный) алгоритм для обнаружения дорожных инцидентов.

6. Сравнение и анализ алгоритмов обнаружения инцидентов

Для реализации любого алгоритма обнаружения инцидентов необходимы входные данные, в зависимости от типа используемого алгоритма необходимы те или иные данные. В таблице приведены некоторые алгоритмы и соответствующие данные:

Таблица 3 – Типы данных, используемые в алгоритмах

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	+	-	-

В таблице приведены необходимые данные. Обязательные данные обозначены «+», необязательные «-».

Была проведена оценка сложности, с которой алгоритм может быть реализован. Оценка основана на оценках, связанных со сложностью конструкции и структуры алгоритма, объема обработки, требуемого для каждого алгоритма (таблица 4).

Таблица 4 – Оценка сложности и интеграции алгоритмов

Алгоритм		Оценка сложности	Степень интеграции
Алгоритмы на основе шаблонов	Алгоритм Калифорния TSC#7	Средняя	Легкая
	Алгоритм APID	Средняя	Легкая
	Алгоритм PATREG	Низкая	Сложная
Статические методы	Алгоритм SND	Низкая	Легкая
	Алгоритм Байеса	Высокая	Высокая
Теория катастроф	Алгоритм МакМастер	Средняя	Средняя

Следует отметить, что структура и конструкция каждого алгоритма определяет свою собственную среду приложений, поэтому производительность может также отличаться в различных средах. Также на производительность влияет тип используемых датчиков, их конфигурация, период агрегации данных и т.д. При реализации алгоритмов были использованы индуктивные петли.

Было проведено исследование на анализ производительности алгоритмов обнаружения инцидентов (Balke). Все рассмотренные алгоритмы тестировались в разных условиях, с разными наборами данных. Данные собирались в разных городах, таких как, Торонто, Бостон, Калифорния, Чикаго, Техас, Миннесота, либо в лаборатории путем моделирования дорожных ситуаций. Ниже приведены результаты такого исследования (таблица 5).

Таблица 5 – Анализ эффективности алгоритмов по трем основным мерам

Алгоритм		DR, %	FAR, %	MTTD
Алгоритмы на основе шаблонов	Калифорния TSC#7	82	1,73	0,85
	Алгоритм APID	86	0,05	2,5
	Алгоритм PATREG	80	0,3	1,9
Статические методы	Алгоритм SND	92	1,3	1,1
	Алгоритм Байеса	100	0	3,9
Теория катастроф	Алгоритм МакМастер	68	0,0018	2,2

Алгоритмы тестировались при следующих условиях:

- загрузка трассы: плотный, средний и свободный потоки движения, дороги со светофорами и без;
- климатические условия: снег, гололедица, туман, дождь, солнечная погода;
- тяжести инцидентов;
- расстояние между датчиками;
- место инцидента в зависимости от расположения датчиков.

Определим для каждого алгоритма индикатор качества S_j :

$$S_{(TSC\#7)}=2*1+3*1+2,46*5+1*5+3*5=37,3$$

$$S_{APID}=2*1+3*1+2,58*5+2,9*5+1,7*5=40,9$$

$$S_{PATREG}=3*1+1*1+2,4*5+2,5*5+1,8*5=37,5$$

$$S_{SND}=3*1+3*1+2,76*5+1,5*5+2,4*5=39,3$$

$$S_{BAYES}=1*1+1*1+3*5+3*5+1*5=37$$

$$S_{McMaster}=2*1+2*1+2,04*5+2,9*5+1,9*5=28,2$$

По итогам самый лучший результат по показателям ложных тревог продемонстрировал алгоритм APID. Однако процент обнаруженных этим алгоритмом инцидентов меньше 90%, что не является хорошим показателем.

Из таблицы 3 видно, что общей для всех используемой мерой контроля для обнаружения инцидента является такой параметр как «размещение», только алгоритм APID требуется для анализа информация об объеме трафика. Самым простым по сложности и легким по реализации (см. результаты таблицы 2) является алгоритм SND. Также данный алгоритм показал один из лучших результатов по отношению обнаруженных инцидентов относительно к общему количеству выявленных происшествий, но в то же время у данного алгоритма один из худших результатов по ложным тревогам.

Стоит отметить, что независимо от того насколько сложно или просто реализовать алгоритм, они никогда не смогут полностью оценить динамический характер транспортного потока. Существует две проблемы реализации автоматизированной процедуры обнаружения дорожных инцидентов: соотношение ложных тревог возникновения инцидентов и время, которое требуется для обнаружения возникшего инцидента. Самый сложный по реализации и интеграции является алгоритм Байеса, но у него самый лучший результат по количеству обнаруженный инцидентов (100%) и количеству ложный тревог (0%). Но при этом данному алгоритму требуется наибольшее время для анализа поступающих данных.

Цель алгоритма APID состояла в том, чтобы обеспечить превосходную работу при любых условиях. Но как показало тестирование, алгоритм хорошо работает при интенсивном и плотном потоке движения, но показывает плохие результаты в условиях низкой интенсивности. Это было успешно подтверждено на нескольких проектах, включая центральную улицу Бостона, тоннеля Ted Williams, тоннеля Hawaii's H-3 Trans-Koolau и тоннеля Colorado's I-70 Hanging Lake. В настоящее время алгоритм развернут в интеллектуальной транспортной системе George Washington Bridge и в системе управления Columbus Metro Freeway.

Алгоритм PATREG показывает хорошие результаты при низком и среднем движении. Связано это с тем, что при более высоком движении, движение становится нерегулярным, чтобы адекватно собирать данные. Данный алгоритм требует расстояние между датчиками минимум 1/3 мили (около 536 метров) и является достаточно устаревшим, так как никаких новых исследований не проводилось с начала 1980-х годов.

Самый худший результат – у алгоритма МакМастера, процент определения инцидентов ниже 70%, но показатель ложных тревог почти сведен к 0%. Одним из существенных недостатков является сложность реализации и стоимость внедрения.

7. Заключение

Проведенный анализ показал, что на данный момент не разработан алгоритм, который бы показывал наилучший результат по всем указанным выше параметрам. Проблема, главным образом, состоит в следующем: состояние дорожного движения можно разделить на два состояния: нормальное состояние и статус «произошел инцидент». Два этих состояния не имеют четкой границы, поэтому возникает множество проблем в определении пороговых границ для традиционных методов обнаружения инцидентов. Поэтому в дальнейших исследованиях для решения недетерминированных задач будет предложен метод обнаружения инцидентов на основе нечеткой логики.

Список информационных источников

- [1] Dr. Emily Parkany. A Complete Review of Incident Detection Algorithms & Their Deployment: What Works and What Does not. The New England Transportation Consortium – 2005 – 112 с.
- [2] Dr. Peter T. Martin Incident Detection Algorithm Evaluation. Utah Department of Transportation. - 2001 – 46 с.
- [3] Hyung Jin KIM, Ph.D., Hoi-Kyun CHOI, Ph.D. IATSS RESEARCH/A comparative analysis of incident service time on urban freeways. Australasian Transport Research Forum – 2011 – 15с
- [4] Kaan Ozbay, Pushkin Kachroo. Incident Management in Intelligent Transportation Systems/Incident Detection – 267 с. – ISBN: 978-0-89006-774-1
- [5] ITS Decision - http://fresno.ts.odu.edu/newitsd/ITS_Serv_Tech/incident_manag/detection_algorithms_report.html
- [6] Onur Deniza, Hilmi Berk Celikoglu Procedia - Social and Behavioral Sciences /Overview to some existing incident detection algorithms: a comparative evaluation. – 2011 – 13 с.
- [7] Николаев А.Б., Сапего Ю.С. РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДОРОЖНЫМИ ИНЦИДЕНТАМИ // Автоматизация и управление в технических системах. – 2015. – № 1. – С. 45-50. DOI: 10.12731/2306-1561-2015-1-6.
- [8] 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.
- [9] Сапего Ю.С. МЕТОДЫ ПОИСКА ПО ДРЕВОВИДНЫМ СТРУКТУРАМ ДАННЫХ // Автоматизация и управление в технических системах. – 2014. – № 2. – С. 60-67. DOI: 10.12731/2306-1561-2014-2-6.

- [10] Куфтинова Н.Г. Разработка информационно-логической модели транспортной сети мегаполиса / Н.Г. Куфтинова, А.В. Остроух // Бюллетень транспортной информации. – 2013. – №1 (211). – С. 23-26.
- [11] Польшун М.Б. Автоматизация процессов диспетчерского управления городским пассажирским транспортом / М.Б. Польшун, А.В. Остроух, А.Б. Николаев, Д.Б. Ефименко // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2013. – №5. – С. 10-16.
- [12] Кузнецов И.А. Особенности реализации автоматизированной информационно-аналитической системы центра планирования перевозок строительных грузов / И.А. Кузнецов, А.В. Остроух // Вестник МАДИ(ГТУ). – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – Вып. 1(12). – С. 92-96.
- [13] Куфтинова Н.Г. Процессно-ориентированный подход к автоматизации планирования и управления транспортировкой продукции предприятий промышленности / Н.Г. Куфтинова, А.В. Остроух // Вестник МАДИ – 2010. – Вып. 4(23). – С. 62-66.
- [14] Остроух А.В., Куфтинова Н.Г. Имитационное моделирование управления транспортными потоками в мегаполисе // Автотранспортное предприятие. – 2010. – №12. – С. 41-42.
- [15] Остроух А.В., Алтунина А.В. Система автоматизации и контроля за продажами и производством автомобилей // Автотранспортное предприятие. – 2011. – №3. – С. 41-43.
- [16] Польшун М.Б. Анализ моделей оперативного диспетчерского управления городским пассажирским транспортом / М.Б. Польшун, А.В. Воробьева, А.В. Остроух // Молодой ученый. – 2011. – №4. Т.3. – С. 9-13.
- [17] Kufstinova N.G., Ostroukh A.V., Vorobieva A.V. Automated Control System For Survey Passenger Traffics // International Journal of Applied Engineering Research. 2015. Vol. 10. No 7. pp. 16419-16427.
- [18] Гусеница Д.О., Юрчик П.Ф., Остроух А.В. Применение облачного хранения данных в автоматизированной системе диспетчерского управления транспортом // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2015. – №5. – С. 59-66.
- [19] Gusenitsa D.O., Yurchik P.F., Ostroukh A.V. Cloud Computing Application on Transport Dispatching Informational Support Systems // International Journal of Advanced Studies (iJAS). 2015. Vol. 5. No 1. pp. 22-27. DOI: 10.12731/2227-930X-2015-1-6.
- [20] Ostroukh A.V., Surkova N.E., Polgun M.B., Vorobieva A.V. AUTOMATED SUPERVISORY CONTROL SYSTEM OF URBAN PASSENGER TRANSPORT // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2015. Vol. 10. No 10. pp. 4334-4340.