

ООО «Рога и Копыта»

УДК №2123132123  
Регистрационный №123123  
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Рога и Копыта»

\_\_\_\_\_ И.И.Иванов  
«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 г.

ОТЧЁТ  
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

«Разработка программы для решения задачи об оптимальной остановке случайных процессов  
определенного типа в области создания интеллектуальных транспортных систем.»

Этап №1.1 «Обзор современного состояния торсионных наногенераторов»  
(промежуточный)

Руководитель НИР,  
доцент, к.т.н.

\_\_\_\_\_ К.К.Петров

г. Москва, 2020

## Список исполнителей

Научный руководитель,  
доцент К.К.Петров

---

с.н.с, к.т.н,  
Ж.Ж. Балбесов,

---

## Содержание

Введение . . . . .	6
1 Обзор современных методов обнаружения разладки в случайных процессах . . .	8
1.1 Концептуальная модель компьютерной имитации транспортных потоков на двухполосных автомобильных дорогах . . . . .	9
1.2 Концептуальная постановка задачи . . . . .	17
1.3 Формальная постановка задачи . . . . .	17
1.4 Математическая модель . . . . .	18
1.4.1 Математическая постановка задачи . . . . .	18
1.4.2 Приложение к конкретной задаче . . . . .	19
1.5 Программная реализация . . . . .	19
Заключение . . . . .	20
Список использованных источников . . . . .	21

## Нормативные ссылки

## Определения

## Введение

Невозможно представить современную жизнь при отсутствии дорожного транспорта. Сегодня у многих жителей России есть свой личный автомобиль, тогда как отыскать человека, никогда в жизни не пользовавшегося общественным транспортом довольно сложная задача. Это безусловно удобно. Но с развитием этой отрасли, неизбежно и появление издержек. Машин становится всё больше, плотность проживания людей в результате урбанизации увеличивается. Эти тенденции приводят к увеличению загруженности транспортных систем. Встаёт вопрос о том, чтобы в автоматическом режиме обнаруживать слабые места в транспортной сети и распределять нагрузку с наиболее загруженных участков.

Для решения этих проблем и были придуманы интеллектуальные транспортные системы. ИТС — это интеллектуальная система, использующая инновационные разработки в моделировании транспортных систем и регулировании транспортных потоков, предоставляющая конечным потребителям большую информативность и безопасность, а также качественно повышающая уровень взаимодействия участников движения по сравнению с обычными транспортными системами. Особенность ИТС относительно других видов наблюдения за транспортными потоками или их моделирования заключается в том, что ИТС даёт возможность в автоматическом режиме сигнализировать о наступлении событий, ведущих к возникновению на дороге проблемных ситуаций.

ИТС включает в себя информационные и коммуникационные технологии в сфере автотранспорта (включая инфраструктуру, транспортные средства, участников системы, а также дорожно-транспортное регулирование), и имеющую наряду с этим возможность взаимодействия с другими видами транспорта. [DIRECTIVE 2010/40/EU OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL]

Одной из важнейших задач интеллектуальных транспортных систем является заблаговременное обнаружение опасности возникновения заторов на пересечениях транспортных потоков, вызванных ограниченной пропускной способностью этих участков. Наискорейшее обнаружение опасности затора даёт возможность соответствующим дорожным службам успеть подготовиться к этой проблеме и принять какие-либо меры для её предотвращения. Пропускная способность перекрёстка зависит от множества факторов, таких как состав движения, угол обзора, качество покрытия. Но основным параметром является интенсивность движения на встречном и перекрёстных направлениях.

Для измерения интенсивности движения на участке автодороги, современные технические средства позволяют определять время отделяющее два ближайших автомобиля. Тогда определение моментальной интенсивности движения на данном участке является математическим ожиданием этого времени умноженное на коэффициент, связанный с величиной интервала времени, за который определяется интенсивность движения. Тогда вычисляемые данным способом интенсивности составляют случайный процесс.

Целью работы является разработка программного комплекса, позволяющего с заданной точностью определить, сменилась ли интенсивность движения, насколько она сменилась, и появилась ли в новой ситуации опасность возникновения затора.

# 1 Обзор современных методов обнаружения разладки в случайных процессах

В современном мире методы теории принятия решений в условиях неопределённости используются довольно широко. Есть несколько классических книг, посвящённых теории принятия решений, нацеленных на решение конкретных задач общего интереса, возникающих при динамическом анализе (в режиме реального времени) статистических данных, получаемых, например, в финансовой инженерии, в теории обнаружения сигналов на фоне помех и т.д. В первую очередь стоит отметить такие монографии как [1] и [2].

Из русскоязычных авторов наибольший вклад в изучение этой теории осуществил Альберт Николаевич Ширияев. В частности, вопрос об оптимальной остановке Винеровского процесса был подробно рассмотрен в книге [3]. Для понимания которой необходимо также ознакомиться с такими трудами как [4] и [5]. В данной работе автор рассматривает методы обнаружения нежелательных внедрений, основанного на Anomaly Detection Systems.

Обычно, внедрение в сети происходит в неизвестный заранее момент времени  $\theta$  и сопровождается изменением вероятностно-статистических свойств некоторых характеристик наблюдаемого процесса (например, количества отправленных и принятых сервером пакетов). Поэтому естественно возникает идея математически сформулировать задачу обнаружения атаки как задачу скорейшего обнаружения момента  $\theta$  появления разладки в ходе наблюдаемого процесса.

Основным аппаратом решения таких задач является последовательный анализ принятия решений. Такие задачи удобно формулировать как задачи об оптимальной остановке. Методы их решения в значительной мере опираются на современный аппарат теории случайных процессов, стохастического исчисления, теории мартингалов, нелинейной фильтрации и т.д.

Для начала рассмотрим ключевые статистики и тесты от наблюдаемых данных, на основании которых принимаются оптимальные решения.

Предположим, что наблюдаемые данные описываются числовой последовательностью

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$$

являющейся результатом наблюдений над независимыми одинаково распределёнными случайными величинами

$$\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n, \dots$$

Далее мы будем считать, что  $\xi_k$  — это одномерные случайные величины, и предполагать, что одномерные функции распределения  $F_\theta = F_\theta(x) (= P_\theta(\xi_n \leq x))$  имеют (при любых  $n \geq 1$ ) плотности  $f_\theta(x)$ :

$$dF_\theta(x) = f_\theta(x)dx$$

Независимость и одинаковая распределённость означают, что плотность  $p_\theta(x_1, x_2, \dots, x_n)$  совместного распределения  $F_\theta(x_1, x_2, \dots, x_n) = P_\theta(\xi_1 \leq x_1, \xi_2 \leq x_2, \dots, \xi_n \leq x_n)$  имеет следующий



вид:

$$p_{\theta}(x_1, x_2, \dots, x_n) = f_{\theta}(x_1)f_{\theta}(x_2)\dots f_{\theta}(x_n)$$

Одной из ключевых статистик (для каждого  $n \geq 1$ ) будет статистика

$$L_n = \frac{f_0(x_1)f_0(x_2)\dots f_0(x_n)}{f_{\infty}(x_1)f_{\infty}(x_2)\dots f_{\infty}(x_n)}$$

Исключительная роль этих статистик  $L_n$ ,  $n \geq 1$ , называемых отношениями правдоподобия, проявляется в задаче различения двух гипотез  $H_0$  и  $H_{\infty}$  (по  $N$  наблюдениям) о том, какую именно плотность,  $f_0(x)$  или  $f_{\infty}(x)$ , имеют наблюдаемые случайные величины  $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_N$ . Решение этой задачи даётся так называемой леммой Неймана-Пирсона (см. [1, гл. 1] Ширяев и [13, гл. 3] стр. 18).

### 1.1 Концептуальная модель компьютерной имитации транспортных потоков на двухполосных автомобильных дорогах

Для описания движения автомобилей по автомобильным дорогам, городским улицам и автомагистралям разработаны многочисленные математические модели [5, 6, 10, 12, 13, 16, 18, 23, 34, 35, 41 и др.].

Разработка математической модели транспортного потока или математическое описание его характеристик является одним из важнейших и ответственных этапов при решении задач количественной и качественной оценки функционирования системы ВАДС, поскольку именно на этом этапе решается вопрос, насколько точно будут учтены те характеристики транспортного процесса и количественные связи между ними, которые необходимы для решения конкретных поставленных задач.

Строгого определения понятия сложной системы не существует. Основными отличительными признаками сложных систем являются:

- наличие большого количества взаимосвязанных и взаимодействующих элементов;
- сложность функций, выполняемой системой и направленной на достижение заданной цели функционирования;
- возможность разбиения системы на подсистемы, цели функционирования которых подчинены общей цели функционирования системы;
- наличие управления, разветвленной информационной сети и интенсивных потоков информации;
- наличие взаимодействия с внешней средой и функционирование в условиях воздействия случайных факторов [7].

Дорожное движение обладает всеми перечисленными свойствами. Естественно рассматривать его в виде сложной системы и обозначать „водитель — автомобиль — дорога — окружающая среда“ (ВАДС) [35].

Совершенствование электронно-вычислительной техники наряду с достижениями теории сложных систем привело к возникновению и успешному развитию нового направления в области исследования сложных систем — машинной имитации. По определению Т. Нейлора, машинная имитация — это численный метод проведения компьютерных экспериментов с математическими моделями, описывающими поведение сложной системы в течение продолжительных периодов времени [29]. Главным преимуществом метода машинной имитации является возможность проведения экспериментов не с реальной системой, а с ее математической моделью, реализованной на компьютере; при этом не существует ограничений по проведению экспериментов с целью изучения любых характеристик движения автомобиля [35].

Членом - корр. АН СССР Н.П. Бусленко и его школой предложена унифицированная абстрактная схема агрегата, которая позволяет единообразно описывать все элементы сложной системы (дискретные, непрерывные, детерминистические, стохастические) [7 и др.].

Общий принцип работы предлагаемой имитационной модели соответствует теории имитационного моделирования транспортных потоков, разработанной одним из авторов данной монографии [13]. Здесь для моделирования сложной системы ВАДС используется схема кусочно-непрерывного агрегата, с математической точки зрения представляющий собой условный марковский процесс с кусочно-непрерывными траекториями в пространстве переменной размерности. Конкретная реализация имитационной модели в виде микроописания отдельных блоков, а также полностью отлаженного программного комплекса, предназначенного для оценки степени опасности дорожного движения, пропускной способности, потерь времени, других характеристик транспортного потока на заданном участке дороги осуществлена другим автором [5] на базе языков программирования FORTRAN и Visual C++.

Агрегат характеризуется множествами моментов времени  $T$ , состояний в каждый момент времени  $Z$ , входных  $X$  и выходных  $Y$  сигналов. Состояние агрегата в момент  $t \in T$  обозначается  $z(t) \in Z$ , входные и выходные сигналы соответственно —  $x(t) \in X$ , и  $y(t) \in Y$ .

Состояние агрегата в момент  $(t+0)$  обозначим  $z(t+0)$ . Предполагается, что из состояния  $z(t)$  в состояние  $z(t+0)$  агрегат приходит за малый интервал времени. Переход агрегата из состояния  $z(t_1)$  в  $z(t_2)$ ,  $t_2 > t_1$ , определяется динамическими свойствами самого агрегата и входными сигналами.

Во множестве состояний  $Z$  выделяется такое подмножество  $Z^{(W)}$ , что если в момент  $t'$   $z(t')$  достигает  $Z^{(W)}$ , то агрегат скачкообразно изменяет свое состояние. Пусть эти изменения описываются оператором  $W$ :

$$z(t' + 0) = W[t', z(t')] \quad (1)$$

В случае воздействия входного сигнала  $x_n$  поведение модели описывается оператором  $V$ . Тогда состояние  $z(t_n + 0)$ , где  $t_n$  — момент поступления в агрегат входного сигнала  $x_n$ ,  $t_n \in T$ ,

$$z(t_n + 0) = V[t_n, z(t_n), x(t_n)] \quad (2)$$

Если интервал  $(t_n, t_{n+1})$  не содержит ни одного момента поступления сигналов, то для  $t_n \in (t_n, t_{n+1}]$  состояние агрегата определяется оператором

$$z(t) = U[t, t_n, z(t_n + 0)] \quad (3)$$

Совокупность операторов  $W$ ,  $V$  и  $U$  рассматривается как оператор переходов агрегата в новое состояние.

Во множестве состояний  $Z$  выделяется подмножество  $Z^{(Y)}$  ( $Z^{(W)}$  и  $Z^{(Y)}$  могут пересекаться) такое, что если  $z(t^*)$  достигает  $Z^{(Y)}$ , то выдается выходной сигнал, который определяется оператором выходов

$$y = G[t^*, z(t^*)] \quad (4)$$

Упорядоченная совокупность рассмотренных множеств  $T$ ,  $X$ ,  $Z$ ,  $Z^{(W)}$ ,  $Z^{(Y)}$ ,  $Y$  и случайных операторов  $W$ ,  $V$ ,  $U$ ,  $G$  полностью задает агрегат как динамическую систему. Определенного рода упорядоченная совокупность конечного числа агрегатов называется агрегативной системой [7].

Агрегативные системы в качестве математической модели транспортных потоков в России использовались, начиная с 1980-х годов, в исследованиях В.В. Сильянова, В.М. Еремина, В.Г. Крбашяна, Р.С. Картанбаева, М.С. Талаева, А.И. Должикова, О.И. Тонконоженкова, С.П. Крысина и других. В этих исследованиях рассмотрены различные проблемы проектирования автомобильных дорог и безопасности дорожного движения.

Объектом данного исследования является дорожное движение на различных фрагментах сети двухполосных автомобильных дорог. Вся сеть дорог представлена в виде графа, который состоит из узлов и ребер. Узлами являются перекрестки (примыкания) вместе с подходами к нему. Длина каждого из подходов определяется расстоянием влияния перекрестка и составляет 150 — 200 м. Ребрами являются двухполосные перегоны. Математической моделью каждого элемента графа, т.е. узла или ребра является кусочно-непрерывный агрегат. Очевидно, что если входные и выходные контакты соответствующих агрегатов соединить каналами связи, то можно получить агрегативную систему, которая соответствует любому заданному подмножеству дорожной сети. При этом количество моделируемых элементов дорожной сети ограничивается только техническими параметрами применяемой вычислительной техники (оперативная память, быстродействие и т.д.). Таким образом, моделируемая система ВАДС состоит из двух типов агрегатов: «Узел» и «Ребро».

Ниже, если особо не будет оговорено, будем рассматривать наиболее общий случай кусочно-непрерывного агрегата «Узел» — перекресток с четырьмя подходами (рис. 2.1).

Рис. 2.1. Схема моделируемого нерегулируемого перекрестка

Продольные оси всех подходов к перекрестку пересекаются в точке  $O$ . Углы между ними  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $\alpha_4$ , могут принимать любые значения, в соответствии с конфигурацией конкретного перекрестка. Обычно  $\alpha_1 = \alpha_3$ , и  $\alpha_2 = \alpha_4$ . Выберем неподвижную прямоугольную

систему координат  $XOY$  с центром в точке  $O$ . Пусть координатная ось  $OX$  направлена вдоль продольной оси одного из подходов к перекрестку (1-й подход). Весь перекресток разбит на 9 подсистем:

- $L = 1, 3, 5, 7$  — полосы движения, подходящие к перекрестку;
- $L = 2, 4, 6, 8$  — полосы движения, отходящие от перекрестка;
- $L = 9$  — перекресток.

Каждая из полос движения  $L = 1 \div 8$  в свою очередь может быть разбита на несколько участков, которые отличаются друг от друга геометрическими параметрами и/или средствами организации движения (элементарный участок). Перекресток ( $L = 9$ ) состоит из 12 элементарных участков (рис. 2.2). Под элементарным участком на перекрестке понимается участок полосы движения, соединяющий конец каждого из четырех нечетных полос движения с началом каждой из четных полос движения (кроме сопряженной четной полосы движения).

Рис. 2.2. Нумерация элементарных участков на перекрестке

Состояние агрегата  $Z$  описывается постоянными параметрами системы и переменными координатами. К постоянным относятся:

а) Параметры каждого элементарного участка дороги:

- длина элементарного участка дороги по продольной оси;
- расстояние видимости до встречного автомобиля в плане;
- расстояние видимости до встречного автомобиля в продольном профиле;
- коэффициент сцепления шины с поверхностью дороги;
- продольный уклон участка дороги;
- поперечный уклон участка дороги;
- ширина проезжей части;
- ширина обочины;
- радиус кривизны в плане;
- радиус вертикальной кривой в плане;
- координата начала продольной оси участка дороги по оси  $OX$ ;
- координата начала продольной оси участка дороги по оси  $OY$ ;
- направление полосы движения;
- параметры уравнения продольной оси участка дороги в аналитическом виде;
- ограничение скорости движения легковых автомобилей;
- ограничение скорости движения средних грузовых автомобилей;
- ограничение скорости движения тяжелых грузовых автомобилей;
- ограничение скорости движения автобусов;
- ровность дорожного покрытия;

- ровность дорожного покрытия;
  - обгон запрещен;
  - обгон грузовым автомобилям запрещен;
  - коэффициент сопротивления качению при скорости движения автомобиля 20 км/ч;
  - угловой коэффициент скорости движения для определения коэффициента сопротивления качению.
- б) Объекты окружающей среды, ограничивающие видимость.
- в) Транспортные потоки, задающиеся следующими параметрами:
- интенсивность в начале полосы движения;
  - распределение интенсивности по направлениям движения (направо, прямо, налево);
  - состав потока на каждой полосе движения. Транспортный поток в модели состоит из свыше 20 наиболее типичных отечественных и зарубежных марок автомобилей, которые сгруппированы по 4 типам: легковые, средние грузовые, тяжелые грузовые, автобусы.
- г) Тягово-динамические и технико-эксплуатационные характеристики автомобилей всех марок:
- передаточное число  $k$ -й передачи коробки перемен передач (КПП) автомобиля;
  - передаточные числа главной передачи;
  - передаточное число делителя КПП;
  - габаритная длина автомобиля;
  - габаритная ширина автомобиля;
  - габаритная высота автомобиля;
  - база;
  - колея;
  - передний свес;
  - расстояние от переднего бампера до глаз водителя по продольной оси;
  - коэффициент обтекаемости;
  - собственная масса;
  - нагрузка на переднюю ось;
  - нагрузка на заднюю ось;
  - полная масса;
  - нагрузка на переднюю ось при полной массе;

- нагрузка на заднюю ось при полной массе;
- параметры для определения коэффициента учета вращающихся масс;
- максимальный крутящий момент двигателя;
- угловая скорость коленчатого вала, соответствующая максимальному крутящему моменту;
- максимальная мощность двигателя;
- угловая скорость коленчатого вала, соответствующая максимальной мощности двигателя;
- время срабатывания тормозного привода;
- время запаздывания тормозного привода и времени нарастания замедления (при торможении);
- передаточное число рулевого механизма;
- коэффициент полезного действия трансмиссии;
- коэффициент коррекции двигателя;
- свободный радиус колеса автомобиля;
- динамический радиус колеса;
- радиус поворота по следу внешнего переднего колеса;
- радиус поворота по следу внешней, габаритной точки.

д) Закон распределения коэффициента использования грузоподъемности (загрузки) автомобилей.

К переменным координатам состояния агрегата относятся:

- а) Количество автомобилей на полосе движения и на перекрестке в текущий момент времени.
- б) Координаты всех моделируемых автомобилей, зависящие от следующих параметров:
  - пройденный путь;
  - координата автомобиля по продольной оси дороги;
  - расстояние автомобиля от продольной оси в поперечном направлении (принимает положительное значение, если автомобиль расположен левее от продольной оси и отрицательные значения, если правее);
  - скорость движения;
  - тангенциальное ускорение;
  - нормальное ускорение;
  - время, прошедшее с момента формирования автомобиля;
  - курсовой угол автомобиля в системе координат XOY [рис. 2.1];

- угол наклона;
- крен автомобиля;
- угол поворота управляемых колес;
- угловая скорость поворота рулевого колеса;
- угловая скорость поворота управляемых колес;
- координаты автомобиля, соответственно по оси  $OX$  и  $OY$ ;
- скорость движения, соответственно по оси  $OX$  и  $OY$ ;
- ускорение автомобиля, соответственно по оси  $OX$  и  $OY$ ;
- угол поворота управляемых колес, при котором водитель прекращает поворот рулевого колеса на 1-ом и 7-ом этапе маневра обгона (или на 1-ом этапе перестроения);
- то же самое, но на 4-ом и 10-ом этапе обгона [рис. 2.11];
- угловая скорость поворота управляемых колес при обгоне;
- длина прямолинейного участка на 3-м и 9-ом этапе обгона;
- тип водителя по скорости свободного движения;
- время реакции водителя на изменение режима движения лидера;
- время реакции водителя при появлении помехи на перекрестке;
- время, оставшееся до истечения времени реакции водителя на изменение режима движения лидера;
- то же самое, но после наступления другого события;
- коэффициент использования грузоподъемности;
- угловая скорость поворота управляемых колес на 3-м этапе поворота;

Под координатами автомобиля понимаются координаты середины задней оси автомобиля.

- номер элементарного участка дороги или перекрестка, на котором находится автомобиль в данный момент времени;
- марка автомобиля;
- тип автомобиля;
- состояния в процессе обгона (обгоняющий, обычный, обгоняемый);
- количество обгоняемых автомобилей, находящихся впереди;
- номер автомобиля в пачке;
- тип передачи КПП;
- направление дальнейшего движения после перекрестка (налево, прямо, направо);

- состояние сигналов поворота (включен сигнал левого поворота, выключен, включен сигнал правого поворота);
- состояние стоп-сигналов (включены, выключены);
- следование за лидером [(см. п. 2.3, ситуации 1-4)];
- номер ближайшего встречного автомобиля;
- номер ближайшего встречного автомобиля, который находится в зоне видимости;
- номер автомобиля - лидера, за которым следует данный автомобиль;
- номер этапа в процессе поворота (всего 3 этапа);
- номер этапа в процессе обгона (всего 11 этапов);
- индекс приоритетов (помеха справа, помеха слева, помехи отсутствуют);
- тип водителя по реакции на ограничение скорости движения (нарушает правила дорожного движения (ПДД) или не нарушает ПДД);
- тип водителя по реакции на дорожный знак «Обгон запрещен» (нарушает требования дорожного знака или не нарушает);
- тип водителя по дистанции следования («осторожный», «обычный», «рискованный»);
- тип водителя по оценке обстановки около перекрестка (изменение скорости движения заранее до безопасной величины, изменение скорости движения только при появлении в зоне видимости помехи справа);
- тип водителя по включению сигналов поворота (включает или не включает);
- номер ситуации, после наступления которого, водитель принял решение изменить режим движения;
- положение, куда попадет автомобиль после перекрестка
- наличие или отсутствие встречного автомобиля на своей полосе движения.

в) Приоритет проезда через перекресток.

В зависимости от необходимого объема выходной информации задается время моделирования  $t_{\text{мод}}$ , которое в дальнейшем по мере работы модели уменьшается до нуля. Вместо истечения времени моделирования предусмотрены также другие правила остановки модели: прохождение через заданный участок дороги определенного количества автомобилей; накопление определенного количества статистической информации и т.д.

С начала работы модели задается период разогрева  $t_{\text{раз}}$ . В течение времени  $t_{\text{раз}}$  система выходные сигналы не выдает. Необходимость ввода времени разогрева вызвано тем, что в момент начала работы модели на моделируемом фрагменте дорожной сети автомобили отсутствуют. Для того чтобы транспортные потоки принимали те параметры, которые были введены в качестве исходных данных, необходим некоторый промежуток времени, за которое самый мед-



ленный автомобиль проедет через самый длинный (продолжительный по времени) маршрут на рассматриваемой дорожной сети. Только после этого можно считать, что модель «разогрелась».

## **1.2 Концептуальная постановка задачи**

Каждый элемент улично-дорожной сети (УДС) характеризуется своей пропускной способностью. Пропускная способность отдельных участков УДС определяется пропускной способностью узкого места. Узкими местами являются пересечения и примыкания автомобильных дорог. Одной из основных задач интеллектуальных транспортных систем (ИТС) является предсказание появления заторов на участках УДС, которые образуются в случае превышения пропускной способности элементов УДС (в нашем случае — пересечение автомобильных дорог). Чем раньше и надёжнее мы сможем оценить интенсивность движения на подходе к узкому месту, тем эффективнее будут действия ИТС по предотвращению заторов. Таким образом основной задачей данной работы является определение достоверной интенсивности движения на всех возможных подходах к узкому месту с возможностью минимизации времени фиксирования разладки.

Поскольку формирование транспортного потока на подходах к узкому месту являются случайными процессами, то в качестве математического аппарата используются вероятностно статистические методы в теории принятия решений.

Поскольку число пересечений автомобильных дорог различных типов достаточно велико, то в качестве узкого места в данной работе было выбрано нерегулируемое, равнозначное пересечение двухполосных дорог в одном уровне. Такого типа пересечения являются наиболее сложными в описании их функционирования по пропуску транспортных потоков. Перейдём к формализации постановки задачи.

## **1.3 Формальная постановка задачи**

Интенсивностью движения по одной полосе называется число автомобилей, проходящих в единицу времени через заданный створ полосы движения. Пропускной способностью полосы движения называется максимальное число автомобилей, проходящих в единицу времени через конечный створ полосы движения. Пропускная способность полосы движения зависит от многих факторов: геометрических характеристик полосы, состав её покрытия, видимость, состав транспортного потока и так далее.

Пропускную способность пересечения определить не так то просто. На рисунке ?? представлены возможные маршруты движения транспортных потоков на нерегулируемом равнозначном двухполосном пересечении двух дорог. Мы видим, что всего таких маршрутов 12. При этом каждый из них в принципе может быть независим от всех остальных, поэтому не совсем понятно что в таком случае считать пропускной способностью пересечения. Пропускная способность определяется по работам [1,2,3,...] Исходя из этих работ пропускной способностью пересечения является многомерная функция, зависящая от 11 переменных. Данная функция

строится по результатам компьютерных экспериментов с имитационными моделями транспортных потоков, движущихся по пересечению. Компьютерные эксперименты для определения указанной функции заключаются в следующем. Фиксируется значение интенсивности движения в одиннадцати маршрутах, а для двенадцатого маршрута проводятся серии экспериментов для увеличивающихся значений интенсивности движения по нему до тех пор, пока не будет достигнута пропускная способность данного маршрута. Для получения указанной функции требуется проведение сотен тысяч и более компьютерных экспериментов с соответствующим семейством имитационных моделей. Такие эксперименты были проведены для рассматриваемого в данной работе пересечения и их результаты используются в работе в качестве исходных данных.

Предполагается, что фрагмент рассматриваемой ИТС состоит из пунктов наблюдения за четырьмя интенсивностями движения на подходе к пересечению, которые могут находиться на значительном расстоянии от пересечения (2 — 4 километра и более). Задача ИТС состоит в определении точного значения интенсивности движения на подходах и проведении прогноза возможности образования заторов на пересечении.

Рассмотрим в отдельности один подход к пересечению. Пусть в заданном его створе происходит сбор информации о проходящих автомобилях.

Предполагается, что в пункте наблюдения (створ полосы движения) случайным образом появляются автомобили. Случайные интервалы между появлением двух соседних автомобилей могут быть распределены по разным законам (Пуассона, Эрланга, Гаусса). Пункт наблюдения должен проводить оценку интенсивности движения за конкретный промежуток времени (5 минут, 10, и т.д.) или после появления определённого числа автомобилей (50, 100 и т.д.). Значение интенсивности движения есть случайная величина. Задача ИТС заключается в определении времени наступления и величины разладки с заданной точностью. Эта задача решается в пункте [8] Собрав такого рода информацию на всех подходах к пересечению определяется вероятность появления заторов, т.е. превышения пропускной способности пересечения, о чём говорилось выше.

Желательно, чтобы система так же давала предупреждения о значениях интенсивности близкой к пропускной способности.

## 1.4 Математическая модель

### 1.4.1 Математическая постановка задачи

Пусть имеется числовая последовательность  $x = (x_1, x_2, \dots)$  с  $x_i \in \mathbb{R}$  представляющая собой Вальдовский процесс. ОПИСАТЬ ВАЛЬДОВСКИЙ ПРОЦЕСС. Наименьшую  $\sigma$ -алгебру в  $\mathbb{R}$ , порождённую множествами вида

$$\{x : x_1 \in I_1, \dots, x_n \in I_n\}, n \geq 1,$$

где  $I_k$  — борелевские множества на  $\mathbb{R}$ , обозначим через  $\mathcal{B}$ .

Будем считать, что на  $(\mathbb{R}, \mathcal{B})$  заданы две вероятностные меры  $P_0$  и  $P_\infty$ . Через  $f_\theta$  будем обозначать плотность распределения

$$P_\theta(\xi \in B) = \int_B f_\theta(x) \mu(dx), \theta = 0, \infty,$$

Предположим, что шаг за шагом мы получаем данные  $x_1, x_2, \dots$ , являющиеся наблюдениями над случайными величинами  $\xi_1, \xi_2, \dots$ . Мы хотим различить две гипотезы  $H_0$  и  $H_\infty$  — о том, какое действует распределение,  $P_0$  или  $P_\infty$ , — используя последовательные тесты, определяемые следующим образом.

Каждый последовательный тест  $\delta$  определяется парой  $(\tau, \phi)$ , где

- а)  $\tau = \tau(x)$  — марковский момент (или момент останковки) относительно потока  $\{\mathcal{F}_n, n \geq 1\}$ , где  $\mathcal{F}_n = \sigma(x : x_1, x_2, \dots, x_n)$  —  $\sigma$ -алгебра, порождённая наблюдениями  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , т.е.  $\tau = \tau(x)$  — момент останковки, принимающий значения  $0, 1, \dots, \infty$  и такой, что

$$\{x : \tau(x) \leq k\} \in \mathcal{F}_k$$

при каждом  $k \in \{0, 1, \dots\}$

- б)  $\phi = \phi(x)$  —  $\mathcal{F}_\tau$ -измеримая функция со значениями в  $[0, 1]$ , где  $\mathcal{F}_\tau = \sigma(x : x_1, x_2, \dots, x_\tau)$  —  $\sigma$ -алгебра, порождённая величинами  $x_1, x_2, \dots, x_\tau$ .

Момент  $\tau$  интерпретируется как момент прекращения наблюдений с последующим принятием решения  $\phi = \phi(x)$ , интерпретируемого как вероятность принятия гипотезы  $H_0$ , когда наблюдениями являются  $x_1, x_2, \dots, x_\tau$ .

**ОПИСАТЬ МНОГОКРАТНЫЕ МОМЕНТЫ ОСТАНОВКИ. МОМЕНТ РАЗЛАДКИ.**

Для решения задачи обратимся к последовательному тесту Вальда.

**ТЕСТ ВАЛЬДА**

#### **1.4.2 Приложение к конкретной задаче**

Броуновское движение.

Фиксированное значение среднеквадратичного отклонения.

Обнаружение изменения математического ожидания.

Оптимальное теоретическое значение  $\mu_\infty$ .

Определение значения математического ожидания после разладки.

#### **1.5 Программная реализация**

Результаты работы.

## Заключение

Введение, в котором описывается актуальность темы, примерная постановка проблемы и примерное описание способа решения поставленной задачи.

В литера

Далее должна идти постановка задачи, которую мне продиктовал Валерий Михайлович. После постановки задачи концептуальной и формальной, идёт постановка математическая.

Далее

Должно быть теоретическое описание общей модели определения интенсивности, и определения пропускной способности.

В теоретической части обзора литературы, нужно рассмотреть: Текст из введения Предлагаемые статистики для обнаружения разладки. Возможные процессы, показывающие разладку. ( $T_n$ ,  $Y_m$ ...) Вставить графики. Сравнение методов Неймана-Пирсона и Вальда.

Что есть: Введение Описание модели перекрёстка

Математическая постановка задачи о разладке

## **Список использованных источников**

- 1 Грицанов А.А. и др. Новейший философский словарь. Мн.: Книжный Дом., 2003.