

УДК 656.131.001.57, 519.68:681.51, 004.021

**В.М. Ерёмин, Н.Н. Чуклинов, Н.В. Федоров,  
К.В. Моргачев**

## **КОМБИНИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ И СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ**

*Рассматриваются вопросы применения математического аппарата комбинирования моделей неопределенности в компьютерном имитационном моделировании автотранспортных потоков, что позволяет проводить научно-обоснованную идентификацию семейства имитационных моделей.*

*Ключевые слова: комбинирование моделей неопределенности, водитель — автомобиль — дорога — окружающая среда, оценивание параметров модели, экспертные оценки, имитационное моделирование автотранспортных потоков, системы поддержки принятия решений, конфликтные ситуации, дорожно-транспортные происшествия..*

---

**А**нализ сложных систем, результаты которого имеют непосредственное приложение в решении конкретных практических задач, в настоящее время не обходится без использования методов математического моделирования. При этом доверие к полученным результатам зависит от адекватности используемых математических моделей, которая в свою очередь определяется точностью описания структуры и параметров используемых моделей.

Проблемы построения адекватных моделей значительного числа исследуемых сложных систем заключаются в невозможности проведения натуральных наблюдений и экспериментов для получения необходимой информации для оценки многих параметров математической модели. Традиционным выходом из данного затруднения является использование мнений экспертов. Однако, часто бывает так, что мнения различных экспертов — спе-

циалистов из одной области знаний — отличаются друг от друга, а также не совпадают с имеющимися данными статистики (обычно недостаточными). Таким образом, возникает вопрос: а можно ли совместить или скомбинировать имеющуюся информацию из двух и более источников?

В работе [1] дается положительный ответ на данный вопрос для ряда случаев, а также приводятся процедуры вычислительной реализации предлагаемых методов, которые В. Б. Головченко назвал комбинированием моделей неопределенности.

Комбинирование моделей неопределенности можно рассматривать как алгоритмические схемы, допускающие классификацию по следующим признакам [1].

1. Функциональное назначение:

- комбинирование вероятностных моделей неопределенности;
- комбинирование не полностью определенных моделей;

- оценивание моментов распределения и параметров функции плотности случайной величины;
- оценивание параметров модели тренда временного ряда;
- оценивание адекватности модели тренда;
- оценивание параметров модели авторегрессии временного ряда;
- оценивание параметров модели регрессии;
- оценивание вероятностей перехода цепи Маркова.

## 2. Вид модели:

- линейная;
- нелинейная.

## 3. Характер используемой информации:

- экспертные суждения;
- результаты наблюдений (выборка).

Кроме проведения имитационного эксперимента можно упомянуть также еще о двух возможных направлениях развития исследований:

- теоретическое изучение вопросов оценивания адекватности моделей и точности получаемых по ним результатов оценивания;
- применение теории очевидности к оцениванию параметров различных классов процессов и явлений [1].

По нашему мнению, наиболее удобно использовать компьютерную реализацию вышеупомянутого математического метода, позволяющую специалистам различных предметных областей, не обладающих обширными знаниями в области математического моделирования, получить результаты в приемлемой для них форме. Поэтому целью проекта явилась разработка подходов к созданию упомянутой системы.

Современные системы поддержки принятия решений (СППР) в области обеспечения безопасности дорожного движения в качестве основного модуля содержат семейство имитационных моделей сложной системы «водитель

— автомобиль — дорога — окружающая среда» (ВАДС). Именно этот модуль в основном отражает специфику каждого конкретного фрагмента ВАДС, а так же саму систему ВАДС, как объекта управления. Остальные модули СППР, как правило, носят универсальный характер, достаточно подробно описанный в обширной литературе по разработке СППР. Поэтому ниже будем говорить о семействе имитационных моделей ВАДС.

Имитационные модели транспортного потока на рассматриваемом фрагменте ВАДС подробно описывают поведение каждого участника движения одновременно (водителя, пешехода и других). При этом учитываются все основные факторы, которые влияют на поведение участника движения, приводящего к изменению его режима движения. Математической основой такого описания является схема динамической системы с джокером [2]. Говоря вкратце, это означает следующее каждый участник движения (элемент системы ВАДС) описывается набором параметров, изменяющихся во времени. Множество всех возможных значений параметров определяет пространство состояний рассматриваемого элемента. Изменение параметров элемента во времени в общем случае является решением системы дифференциальных уравнений, определяемых (законы движения) в теории движения автомобиля, пешехода и так далее. Пространство состояний рассматриваемой системы в целом в данный момент времени есть прямое произведение пространства состояний составляющих ее элементов. Необходимость возможно более полного учета различных влияющих факторов для адекватного описания режимов движения элементов системы определило размерность их пространства состояний от 15 до 40, в зависимости от

типа элемента и требований к точности его описания. Таким образом, если рассматриваемый фрагмент ВАДС содержит 100—500 элементов одновременно (часто встречающиеся случаи), то размерность его состояния достаточно велика.

Элементы системы движутся в ее пространстве состояний по заданным законам движения до тех пор, пока им не требуется по разным причинам режим своего движения. Причинами изменения режима движения являются различные наступающие в процессе движения дорожно-транспортные ситуации. Например, автомобиль подъезжает к повороту и ему требуется повернуть направо, автомобиль подъезжает к перекрестку в момент красного сигнала светофора, автомобиль догоняет впереди идущий по своей полосе движения, автомобиль решил сменить полосу движения и так далее. Таких ситуаций в процессе движения может возникнуть достаточно много. В имитационных моделях все такие ситуации формально описаны и представлены как подмножество пространства состояний рассматриваемой системы. Состояния такого рода называются особыми.

Моменты наступления особых состояний для каждого элемента системы является решениями системы уравнений, включающими в себя законы движения и описание множества особых состояний в пространстве состояний системы.

Движение элементов может также скачкообразно изменяться вследствие поступления в рассматриваемую систему сигналов извне. Семейство имитационных моделей предусматривает широкий набор формализованных внешних сигналов и соответствующий набор формальных реакций системы на их поступление. Моменты поступления входных сигналов различных типов также носят стохастический характер.

Итак, функционирование системы во времени происходит по законам движения до тех пор, пока ее траектория не достигнет какого-либо особого состояния или пока не поступит некоторый входной сигнал. В момент наступления одного из указанных событий происходит скачкообразное изменение состояния системы, после чего ее функционирование во времени происходит опять по заданным законам движения, но с соответствующими измененными параметрами, до тех пор, пока траектория движения не достигнет нового особого состояния или не поступит новый входной сигнал и так далее. В большинстве случаев такое скачкообразное изменение носит вероятностный характер. После скачка элемент движется по указанным выше законам движения, но с измененными, вследствие скачка, параметрами.

Описанную выше схему динамической системы с джокером можно также трактовать как случайный марковский (или полумарковский) процесс с кусочно-непрерывными траекториями в пространствах переменной размерности.

Семейство имитационных моделей разрабатывалось в течение длительного периода и все модели прошли многоэтапную оценку пригодности, давшую положительные результаты.

Использование описанного подхода позволяет по новому подходу к оценке степени опасности движения на рассматриваемом фрагменте ВАДС. Оценка уровня безопасности движения традиционными методами (на основе статистических данных) имеет существенные недостатки, что неоднократно отмечалось во многих исследованиях. Одним из основных недостатков является то, что оценка проводится на основании анализа уже свершившихся дорожно-транспортных происшествий (ДТП), которые являются крайне редкими событиями.

Вместо традиционного подхода предлагается использовать для оценки уровня безопасности дорожного движения (БДД) метод конфликтных ситуаций (КС). Суть метода КС заключается в том, что для оценки уровня БДД вместо ДТП фиксируются и анализируются предаварийные конфликтные ситуации, которые в зависимости от конкретных дорожных условий могут привести, но не обязательно, к ДТП. Многочисленные исследования ученых разных стран показали, что существует достаточно устойчивая корреляционная связь между количеством ДТП и количеством КС. КС возникает гораздо чаще, чем происходит ДТП, поэтому применение метода КС значительно более экономично. Существует еще ряд преимуществ метода КС перед традиционными методами, на которых мы здесь останавливаться не будем.

В качестве основных индикаторов оценки уровня БДД приняты следующие:

- количество КС, возникших на заданном участке в течение заданного периода времени;
- удельное число КС на 1000 автомобилей;
- удельное число КС на единицу длины дороги;
- средняя степень опасности КС.

Имея корреляционные зависимости между числом ДТП и числом КС, можно легко получить оценки БДД в традиционных показателях.

Функционирование рассматриваемой системы СППР происходит следующим образом.

Строится виртуальная модель подсистемы «дорога — окружающая среда», рассматриваемого фрагмента ВАДС, включающая в себя:

- геометрическое описание рассматриваемой сети дорог;
- состояние дорожного покрытия;
- схему организации дорожного движения;

- расстояние видимости и другое.

Кроме того задаются значения интенсивности и состава транспортных потоков на рассматриваемом фрагменте ВАДС для которых, будут проводиться компьютерные эксперименты по вычислению показателей уровня БДД по методу КС и других характеристик функционирования.

Перед проведением серий компьютерных экспериментов с моделью рассматриваемого фрагмента ВАДС происходит калибровка тех ее подсистем, в которых присутствуют распределенные случайным образом величины, распределение которых базируется на мнениях различных экспертов предыдущих исследований и так далее.

Данная процедура предусматривает следующее. Пользователь задает пространство элементарных событий, представленное в виде некоторого количества разбиений, в каждом из них пространство элементарных событий разбито на атомы разбиения, то есть события сгруппированы определенным образом; при этом каждая такая группа характеризуется некоторой вероятностью.

После этого пользователь выбирает методику вычислений и происходит обработка введенных пользователем данных. В результате действия алгоритма происходит вычисление вероятностей каждого элементарного события, заданного пользователем пространства элементарных событий.

Таким образом из изначально не полностью определенного описания модели различными экспертами и данных натурных наблюдений получается более адекватная полностью определенная модель, что позволяет проводить более адекватное и объективное имитационное моделирование на основе полученных данных.

Это позволяет доступно для пользователя наглядно обосновать выбор

той или иной имитационной модели, как наиболее адекватно описывающей автодорожную ситуацию.

Кроме того система имеет возможность расширения для описания не только авто, но и других транспортных потоков.

Средством реализации подсистемы вычисления комбинирования моделей неопределенностей автотранспортных потоков было выбрано Microsoft Visual Studio 2008 Profession Edition. Эта рабочая среда Microsoft, хорошо интегрирована с другими его продуктами, поэтому логичным шагом было выбрать в качестве СУБД Microsoft SQL Server 2005 Express Edition, в которой хранятся исходные данные для обработки.

Так же надо отметить, что система выполнена в качестве «браузерного» приложения. Преимуществом такого подхода является возможность установки системы, как на сервере, так и на клиенте.

В случае установки системы на сервере, клиентом может являться практически любое устройство, позволяющее организовать сетевое подключение к этому серверу напрямую или через интернет. Таким клиентом может

быть настольный компьютер, ноутбук, коммуникатор или смартфон, а так же сотовый телефон, причем тип операционной системы не играет ни какого значения. Таким образом, расчеты можно выполнять удаленно.

В случае если клиент и сервер являются одним устройством, то есть система установлена на локальном компьютере, функциональность системы остается неизменной. В качестве операционной системы может использоваться Microsoft Windows с установленной библиотекой Microsoft Framework версии 2.0 и старше, а также \*nix системы семейства Linux или Mac OS X при установке на них библиотеки проекта Mono.

Другим важным преимуществом системы является ее графический интуитивно понятный интерфейс, позволяющий работать с системой специалистам предметных областей, не имеющих навыков работы с компьютером.

Исходные данные для вычислений задаются пользователем вручную или подключаются в виде базы данных в формате пригодном для обработки MS SQL Server 2005 и старше.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Головченко В.Б.* Комбинирование моделей неопределенности. — Новосибирск: Наука, 2002.

2. *Бадалян А.М., Еремин В.М.* Компьютерное моделирование конфликтных

ситуаций для оценки уровня безопасности движения на двухполосных автомобильных дорог. — М.: ИКФ «Каталог», 2007. **ИДБ**

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Еремин В.М.* — кандидат технических наук, профессор, Московский государственный индустриальный университет (МГИУ), [eremin\\_valerii@mail.ru](mailto:eremin_valerii@mail.ru),

*Чуклинов Н.Н.* — советник генерального директора ФГУ «Дирекция по управлению федеральной целевой программы «Повышения безопасности дорожного движения в 2006—2012 гг.», [NN@fcp-pbdd.ru](mailto:NN@fcp-pbdd.ru),

*Федоров Н.В.* — кандидат технических наук, доцент МГИУ, [FNV1@mail.msiu.ru](mailto:FNV1@mail.msiu.ru),

*Моргачев К.В.* — магистрант, [lytkos@mail.ru](mailto:lytkos@mail.ru), Московский государственный горный университет, Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)

