

$$a_1 = \frac{1000 * (23.6 + 18.96)(30 + 23.6)}{(30 - 18.96)} \left[\frac{(0.4644 - 0.3575)}{(23.6^2 - 18.96^2)} - \frac{(0.64 - 0.4644)}{(30^2 - 23.6^2)} \right] = 6 \quad (20)$$

Обработка данных табл. 1 по формулам (11), (12) и (13) дала возможность получить параметры исходной модели.

Выводы

Таким образом, предлагаемая методика получения параметров, описывающих продольное движение автомобиля, дает хорошую сходимость результатов и обладает рядом отличительных особенностей:

- не требуется дорогостоящая продувка автомобиля в аэродинамической трубе;
- раскрывается функциональная зависимость параметров описания от регистрируемых характеристик продольного движения автомобиля в режиме выбега;
- для определения параметров достаточно иметь регистрируемые характеристики одного заезда.

Литература

1. Гадельшин Т.К., Межов А.Е. Основные понятия и методы оптимального управления и их приложения к исследованию динамики автомобиля. МАМИ.: М., 1991.-85с.
2. Катанаев Н.Т., Гадельшин Т.К., Межов А.Е. Идентификация параметров модели продольного движения автомобиля методом регрессионного анализа. Отчет о научно-исследовательской работе. Гос. регистрац. № 01970007828.М., МАМИ, 1997.- 45с.
3. Эндриус Дж., Мак-Лоун Р. Математическое моделирование. Мир. М., 1997. - 276с.

Математическая модель оценки рисков дорожных комплексов

к.т.н. Комаров В.В., д.т.н., проф. Куклев Е.А.

ОАО «НИИАТ», Университет гражданской авиации, Санкт-Петербург

Введение

Состояние вопроса. В статье обобщены некоторые известные результаты в области разработки математических моделей риска с целью внесения изменений в формулировки определений, принятых в действующих стандартах в области аспектов безопасности, менеджмента риска и надёжности.

Сформулированная тема, относящаяся к сфере создания систем обеспечения безопасности в автотранспортных системах (автодорожных комплексах – АТДК), весьма актуальна. Статистика дорожно-транспортных происшествий (ДТП) показывает, что такой показатель опасности автотранспортных средств (АТС) и особенностей их эксплуатации, как смертность от ДТП в год, отнесенная к числу жителей заданных регионов (города, области, страны), изменяется незначительно [1]. В развитых странах (США, Канада, страны Европейского Союза и др.) этот показатель относительно более низкий (в год до 15 чел./100000 населения), чем, например, в России (в год до 30 чел./100000 населения). Более низкий в среднем уровень опасности в развитых странах по сравнению с Россией может быть объяснен тем, в частности, что срок эксплуатации АТС меньше, их технический уровень выше и лучше развита дорожная инфраструктура. Из представленной статистики следует, что имеются объективные причины объяснения устойчивости отмеченного явления. Эта причина одинакова и в США, и в России (хотя показатели аварийности различаются). Суть причины в том, что водители АТС не замечают критических деталей в складывающихся дорожных ситуациях, недооценивают опасность и, соответственно, принимают неверные решения, что и приводит к возникновению дорожно-транспортных происшествий (ДТП).

На этом основании можно полагать, что если пользоваться положениями теории системной безопасности, то в целом в автотранспортных системах, являющихся структурно-сложными комплексами, заложена «катастрофа», возникновение которой не удастся блокировать в полной мере. Поэтому необходимо детально изучать условия возникновения катастроф, аварий и разрабатывать и внедрять в АТДК способы управления рисками для обеспечения безопасности и уменьшения возможных нежелательных последствий.

Известные методы и подходы к оцениванию уровня безопасности автотранспортных средств пока не позволяют охватить всю сложность изучаемых проблем, несмотря на то, что конструирование и производство современных АТС осуществляются в соответствии с международными стандартами. В связи с этим назрела необходимость поиска методов и инструментальных средств для оценивания уровня «опасности» и соответственно «безопасности» в автотранспортных системах с использованием и других подходов в рамках теории управления рисками, о чем было сказано выше, например, путем сравнения потенциальных рисков с приемлемыми. Так, в страховом деле четко определено, что "риск разорения страховой компании – это случайное событие, состоящее в том, что сумма затребованных выплат превысила наличный капитал страховой компании".

К сожалению, в сфере транспорта отсутствуют единые определения «безопасности» и «риска».

В Федеральном законе «О техническом регулировании» от 27 декабря 2002 года № 184-ФЗ безопасность продукции, процессов производства, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации изделий и машин трактуется как состояние, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных и растений. Некорректность этого определения очевидна, т.к. следует говорить о существовании набора показателей, характеризующих это состояние, а не об отсутствии того, чего нет. Более конструктивно и более информативно ввести в употребление понятие «приемлемый риск». Тогда, более математически строго можно применять практически понятную и поддающуюся измерениям характеристику, такую как «безопасная система» - это такая «опасная система», в которой потенциальный (расчетный) риск меньше или не превышает уровня приемлемого риска.

С позиций этого определения становится понятным, почему до сих пор, например, в России, число погибших в дорожно-транспортных происшествиях в последние 15 лет слабо менялось к лучшему. Оно колебалось в интервале 28 -35 тыс. человек ежегодно [2]. Можно сделать вывод, что в определенные периоды общество и органы власти считали этот уровень потерь вполне приемлемым. Это, наверное, аморально, но вместе с тем непреодолимо, прежде всего, из-за отсутствия ресурсов и по другим причинам.

В связи с этим здесь можно отметить, что в гражданской авиации уровень приемлемого риска (в тех же, что и выше, единицах измерения) примерно в 30-50 раз меньше. В МЧС существует детальная градация подобного показателя применительно к ситуации. К сожалению, только в автодорожном комплексе рекомендации международных документов типа ISO-8402 [3] пока не находят широкого применения.

Вместе с тем имеются рекомендации ВНИИНАМАШ [4] определять риск как сочетание частоты (не обязательно вероятности) события и ущерба. Например, сочетание дается в форме аддитивной скалярной свертки, характеризующей некоторые средние потери в системе на множестве результатов испытаний.

Известный математический аппарат ЛВ-моделирования [5] привлекателен для применения на практике ввиду обеспечения возможностей автоматизации вычислительных процедур. Однако в известной постановке задачи недостаточно раскрыта общность метода исчисления рисков в случае анализа редких событий.

Общая характеристика предлагаемого подхода для оценивания безопасности в автодорожном комплексе

Предлагается наметить схему решения проблемы оценивания безопасности и рисков ДТП в автодорожном комплексе на основе единого подхода с использованием международных стандартов. Это может позволить избежать противоречий в трактовке разных определений и понятий в рассматриваемой области. При этом может быть найдено гармоничное сочетание требований к надежности автотранспортного средства с требованиями по безопасности, что в настоящее время может считаться наиболее важным вопросом. Ряд требований, как известно, формулируется в зависимости от условий эксплуатации АТС с учетом правил

дорожного движения. При этом представляется возможность разработки способа экономического обоснования жесткости требований в системах обязательной сертификации автотранспортных средств [6, 7].

Действительно, неработоспособное автотранспортное средство может быть безопасным, а работоспособное – опасным. Работоспособное АТС при движении по закруглению дороги со скоростью большей, чем критическая скорость по боковому скольжению для фактического коэффициента сцепления, может перейти в неконтролируемый занос с последующим ущербом. Аналогично торможение АТС может сопровождаться потерей устойчивости движения вследствие возникновения цепи событий, приводящей к ущербу.

Рассмотренная в представленном выше примере характеристика типа потери устойчивости движения автотранспортного средства может быть предотвращена техническими средствами самого АТС (антиблокировочные тормозные системы или системы стабилизации) или средствами организации движения (ограничение скорости движения на участке дороги).

Ущерб от рискованного события может, опять-таки, быть уменьшен техническими средствами АТС (подушки безопасности, ремни безопасности, безосколочные стекла и т.п.) или дорожной инфраструктурой (отбойники, ловители и пр.).

Достаточно распространенная схема структуризации сценария рискованной ситуации по степени опасности может быть представлена в виде следующей цепочки: нормальное функционирование, отклонение, опасная ситуация, критическая ситуация, повреждение (ущерб).

Задача состоит в том, чтобы определить условия возникновения катастрофы с оценкой возможных ущербов. Это возможно сделать, если использовать единый (системный) подход к исчислению рисков, о котором идет речь в данной статье.

Постановка задачи

Рассматриваются системы, определенные в пространстве дискретных состояний, смена которых происходит вследствие проявления поражающих факторов внешней среды. Безопасность определена как особое состояние автотранспортной системы, при котором расчетный (потенциальный) риск возникновения неблагоприятных событий не превышает приемлемого уровня значимости. Исследования обеспечения безопасности АТК изучаются с учетом условий возможностей возникновения катастроф, и поэтому соответственно изучаются только катастрофические риски, возникающие с вероятностью «почти ноль». Это упрощает задачу, однако позволяет выявить те главные факторы опасности, которые в совокупности определяют неутешительную статистику по ДТП в РФ и прежде всего негативные причины проявления «человеческого фактора» (и в АТДК, и в авиации, и в других областях деятельности на транспорте).

Базовые определения

Предлагается принять [3, 8, 9], что "риск R – это случайное дискретное событие: опасное нежелательное и с последствиями в виде ущерба H ". Предполагается, что задано некоторое вероятностное пространство U , в котором определены исходы $\omega_i \in \Omega$ и события $A(\omega_i) \in E$ в сигме - алгебре E в том же вероятностном пространстве.

Некоторое событие $A_* = R$, $A_* = A(\omega_i)$ из U считается рискованным, если имеющимися техническими средствами нельзя обеспечить необходимую безопасность [10]. В связи с этим вводится многомерная оценка \tilde{R} риска R таким образом, что показатели интегральной оценки \tilde{R}_* значимости (величины) рисков R определяются на основе исходного понятия оценки риска \tilde{R} на 2-х (или 3-х) мерном множестве комбинаций некоторых элементов [9, 10] в виде:

$$\tilde{R}_* = fR(\tilde{R}_* | \Sigma 0) \equiv fR(\mu_{1*}, \mu_{2*}, \tilde{H}_* | \Sigma 0) \quad (1)$$

где

$$\tilde{R} = (\mu_1, \tilde{H} | \Sigma 0) \quad (2)$$

$$\tilde{R} = (\mu_1, \mu_2, \tilde{H} | \Sigma 0) \quad (3)$$

при этом в (1) * - знак критичности параметров и ситуации и обозначение величины приемлемого риска;

в (2), (3) заданы μ_1 , μ_2 – степень (уровень) опасности в виде мер риска 1-го и 2-го рода, которые соответственно обозначают:

μ_1 - мера случайности появления рисковогó события;

μ_2 в (3) – дополнительная мера структурной опасности системы с учетом возможностей возникновения "катастрофы", заложенной в заданную структуру системы, (μ_2 - может не обладать строгими свойствами функции меры [11] в отличие от μ_1);

\tilde{H} – оценка меры ущерба (последствий);

$\Sigma 0$ – условия определения системы, например, условия существования и испытаний систем, такие как признаки критических состояний [12] в структурно-сложных системах, наличие террористической угрозы, признак πS схемы испытаний системы,

$$\tilde{H} = \tilde{H}(\omega i) \sim \tilde{H}(A(\omega i)).$$

Величины μ_1 , μ_2 и \tilde{H}^* в (2), (3) и их критические (приемлемые) значения или в целом интегральная значимость приемлемого риска должны быть найдены при известном $\Sigma 0$.

Рисковое событие A^* является классом $A^* \equiv R = \cup R_j$, составленным из тех несовместных частных рисков R_j (объединение событий ведется по j) или, что то же самое, из альтернативных R_j - событий (способов) попадания системы в катастрофическое состояние заданного типа в подмножестве состояний $Q^* \subset Q$ системы. Поэтому в первом приближении в случае катастрофы ущерб считается постоянной величиной $\tilde{H}^* = \text{const}$ для всего выделенного класса R . Например, H - это материальные и моральные потери, возникшие в связи авариями при ДТП из-за разных причин. Мера μ_1 по определению – это вероятность либо отдельного события R_j , либо класса R :

$$\mu_1 = P\{R_j\} \equiv \mu P, j = 1, 2, \dots, nR$$

Однако на практике μ_1 – некоторый коэффициент риска, например, нормированная частота возникновения аварии или происшествия, т.к. малую вероятность катастрофы трудно вычислить и определить точно и достоверно.

Сформулированные положения вытекают из концепции "дерева отказов", определяющего пути попадания системы в одно и то же состояние – "катастрофу" [8] с фиксированным ущербом одного и того же типа, но при проявлении различных поражающих факторов.

Введенный в (2), (3) комплекс условий $\Sigma 0$ определяет степень деформации структуры системы на момент начала развёртывания рисковогó сценариев и поэтому может также содержать признаки (коды) внешней среды, вызывающей лавину "отказов" и т.п. Например, этот комплекс есть дизъюнкция экспертных признаков опасности в виде $\Sigma 0 = (e_0 \vee e_1 \vee e_2)$, где $e_0 = 1$ - "норма"; $e_1 = 1$ - "опасно"; $e_2 = 1$ - "крайне опасно" ("катастрофическое состояние").

Предложенный вид оценки (1), основанный на (2) или (3), отражает достаточно устойчивые способы 2-х-мерного оценивания рисков $\tilde{R} \sim (\mu_1, \tilde{H}^*)$ через вероятность события $\mu_1 = \mu_P$ и ущерб [6, 16, 17]. Но поскольку в случае вероятности катастрофы "почти ноль" подобная оценка практически ничего не даёт, то следствием этого является возникновение проблемы стратегии "старта на авось" [3], т.к. $\mu_1 \cong 0$, что отражает самонадеянность операторов (водителей) и недооценку ими серьезности возможных последствий в опасных ситуациях. Типичной ошибкой в таких случаях, как показывает статистика, является выезд АТС на встречную полосу при плохой видимости на дорогах. Возможный ущерб в подобных ситуациях может быть так велик, что это должно заставить искать способы предотвращения подобных исходов путем управления рисками, а не пытаться уточнять степень малости вероят-

ности событий. По-видимому, нужна новая идеология построения систем обеспечения безопасности и культура поведения водителей АТС на дорогах, что может быть достигнуто наиболее эффективно при внедрении единого подхода к оценке безопасности в АТДК. Подобный здравый смысл уже давно отражен в правилах дорожного движения во всем мире. Однако научная основа нового подхода в методиках оценивания уровня безопасности и в практических рекомендациях законодательно еще не полностью закреплена. Поэтому естественным является выдвинутое выше положение в формуле (3) о необходимости получения информации о предполагаемой опасности из других источников, т.е. по μ_2 .

Следует отметить, что введенное двухэлементное (2) (или трёхэлементное (3)) множество не является вектором и может быть сведено при поиске интегральных оценок значимости риска к скалярной свёртке из [4] только в частных случаях. Это может быть объяснено тем, что, во-первых, здесь усреднение ущерба по вероятности не имеет смысла, т.к. катастрофические события имеют единичный характер, тем более, что $\mu_1 \equiv 0$. Дополнительные трактовки этого положения приведены в п.п. 1.3 (ниже).

Задача заключается в том, чтобы найти способы вычисления меры риска 1-го рода, т.е. μ_1 или меры опасности 2-го рода в виде μ_2 с учётом структуры системы и комплекса условий Σ_0 в случае вероятности катастрофы "почти ноль". Представленные здесь результаты отражают и рекомендации метода ЛВР, но также содержат совершенно новые положения, поэтому их можно считать более общими.

Аксиоматика моделей рисков

Общепринятые определения видов рисков, таких как индивидуальные, социальные, политические, финансовые, экологические, техногенные при использовании единого подхода обозначают всего лишь признаки области применения концепции риска при оценке возможностей проявления опасности в системах. Целесообразным представляется разработка математических моделей всего лишь для нескольких категорий рисков.

Риск трактуется как дискретное случайное событие (не "вероятность"), которое может быть или не быть с сопутствующим ущербом в изучаемых явлениях или при некоторых испытаниях систем.

Аксиоматические положения следующие:

- дискретное элементарное событие ω_i или класс $A(\omega_i(j) | q_j) \in \Omega \subseteq E$ определяются как результат смены $q_{j1} \rightarrow q_{j2}$ некоторых дискретных состояний системы $q_j \in Q$, являющихся точками в гиперпространстве Q , образованном декартовым произведением дискретных пространств X_i , характеризующих свойства и структуру исследуемой системы;
- показатели интегральной оценки \tilde{R}_* значимости (величины) рисков R определяются по (1) на основе исходного понятия оценки риска \tilde{R} на 2-х (или 3-х) мерном множестве комбинаций некоторых элементов [9, 10] с учетом (2) или (3). Величины μ_1 , μ_2 и \tilde{H}_* в (2), (3) должны быть найдены при известном Σ_0 ;
- причинами аварий или катастроф высоконадежных систем являются неблагоприятные сочетания внешних поражающих воздействий, указанных в Σ_0 , и реакций системы на эти воздействия в форме цепочки событий (некоторых сценариев), согласно позициям теории надежности [9, 11], например, в форме отказов;
- проявление в системе "человеческого фактора" и оценивание обусловленного данным фактором риска катастроф предлагается определять в соответствующих вероятностных пространствах для (1)-(3) с учетом комбинаторики событий без вычисления значений соответствующей вероятностной меры, поскольку вероятностная мера рассматриваемых явлений в подобных случаях малоинформативна;
- алгоритмическую основу процедур оценивания катастрофических рисков как редких событий составляет метод комбинаторного анализа по μ_2 из (3) цепей случайных событий, ведущих к катастрофе.
- в качестве практического инструмента определения численных значений риска может

быть использована матрица анализа рисков, как это принято в МЧС, а также в гражданской авиации.

Применение матриц оценки рисков

Обоснование матричной формы определения экспертной значимости рисков оставалось до сих пор в основном неясным, хотя это вполне логично вытекает из (2) и (3).

МОДЕЛИ РИСКОВ для 2-х МЕРНЫХ ОЦЕНОК

"Boeing" (МАК, 2003)

CD-Guide (51G – BASP Safety Impl.ppt)

"Risk is the combination of the severity of a specific hazard and the likelihood that the hazard will occur"

Risk Assessment Tool		Severity of Potential Adverse Effects		
Probability of occurrence				
				High Medium Low
	High	1	2	3
	Medium	2	3	4
	Low	3	4	5

Рис. 1.

Элементы в множествах (2) и (3) можно трактовать как номера точек или клеток некоторых 2-х мерных или 3-х мерных матриц или таблиц. При этом в клетках матриц – для каждого номера могут быть заданы значения интегральных оценок рисков по (1). Пример 2-х мерной матрицы, известной в гражданской авиации и взятой из публикаций корпораций "Airbus" и "Boeing", дан на рисунке 1, где введено всего 3 градации нечетких оценок с заданным индексом опасности, отражающих возможность возникновения события и условное (экспертное) значение меры последствий. Подобные матрицы могут быть разработаны и для применения в руководствах по обеспечению безопасности в АТДК на основе принятых принципов управления и анализа рисков, а также при обосновании стратегий развития АТДК и распределения по уровням значимости соответствующих ресурсов.

Общая схема решения задачи по созданию системы обеспечения безопасности в АТДК

В перспективной системе обеспечения безопасности в АТДК на основе требований «Систем менеджмента качества» должны быть реализованы два основных принципа функционирования:

- управление безопасностью на основе соответствующей нормативно- правовой базы, содержащей правовую норму о возможности применения концепции рисков в АТДК («принцип Аудита» - № 1);
- управление рисками на основе результатов мониторинга состояния АТДК и использования оценок текущего уровня рисков в режиме быстрого реагирования на проявление поражающих факторов при заданном показателе приемлемого риска для исходов в виде выделенных цепочек случайных событий, ведущих к катастрофе («принцип управления рисками» - № 2).

В мировой практике Принцип № 1 используется в АТДК в форме сертификации типа АТС с учетом требований рынка АТС и существования конкуренции. Однако отсутствует методическая и научная основа оценки и расчета гарантированных уровней безопасности и

приемлемого риска для фиксируемых исходов- сценариев событий, что принципиально может быть реализовано, если будут закреплены в модернизированном законодательстве РФ соответствующие правовые и технические нормы.

Принцип № 2 может быть внедрен в практику деятельности АТДК и эксплуатации АТС на основе предложенных в данной статье методических разработок.

Заключение

Предложенная схема оценивания уровня безопасности и управления рисками при едином подходе могла бы стать основой реализации принципа построения системы обеспечения безопасности в автодорожном комплексе.

Целесообразно для оценивания значений или уровней рисков использовать две разнородных по смыслу меры риска 1-го рода и 2-го рода, отражающих двойственность свойств риска как события с некоторой мерой (1-го рода) случайности или возможности появления риска и как степень опасности состояния или процесса (мера 2-го рода). При этом появляется возможность изучать всего лишь один риск – рисковое событие, но с различными мерами, вместо многих рисков, как в большинстве работ.

Литература

1. Состояние безопасности дорожного движения. Партнерский обзор по стране: Российская Федерация – Европейская конференция министров транспорта (ЕКМТ), 2006, с. 30.
2. Дорожно-транспортные происшествия в России (2004 г.). Информационно-аналитический сборник.-М.:ДОБДД МВД России, 2005- 100 с.
3. ISO8402: 1995 Quality management and quality assurance. Vocabulary, 60 p.
4. Проведение научно-технического анализа методов оценки риска причинения вреда от машин и оборудования и разработка на ее основе рекомендаций по оценке риска при разработке стандартов и технических регламентов на машины и оборудование. Отчет о научно-исследовательской работе. Договор от 02.11.2004 г. № 122-08-48, ВНИИНМАШ, 2004.
5. Соложенцев Е.Д., Карасев В.В. Идентификация логико-вероятностных моделей риска структурно-сложных систем с группами несовместных событий//Автоматика и телемеханика, 2002.№3. с. 97-113.
6. Комаров В.В. Методология оценки безопасности автотранспортных средств по техническому уровню и сроку эксплуатации//Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2(4), 2007, с.114-122.
7. Комаров В.В. Интегральные критерии безопасности автотранспортных средств //Автотранспортное предприятие, № 12, 2007, с.46-48.
8. Хохлов Н.В. Управление риском – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2001.-239 с.
9. Куклев Е.А. Оценивание рисков на основе цепей случайных событий/Наука и техника на транспорте – М.:РАТИ, 2003.
10. Куклев Е.А. Модели рисков катастроф как маловероятных событий в системах с дискретными состояниями//Сборник трудов международной конференции «Системный анализ и системное моделирование» – СПб.:ЛЭТИ, 2003.
11. Э. Дж. Хэнли, Х. Кумамото. Надежность технических систем и оценка риска. – Машиностроение, М.: 1984.
12. Воробьев Ю.Л., Фалеев М.И., Акимов В.А., Махутов Н.А., Молинецкий Г.Г. Оценка и прогноз стратегических рисков России: постановка проблемы. ИВУЗ, серия "Нелинейная динамика", - М.: 2004, с. 8.

Организационно-правовое обеспечение безопасности транспортных средств

к.т.н. Комаров В.В.
ОАО «НИИАТ»

На автомобильном транспорте Российской Федерации в настоящее время сложился комплекс правовых, организационных, экономических и управленческих проблем. Наиболее