**Прогнозирование и снижение риска транспортных происшествий**

П.Г.Белов

Предлагается технология количественной оценки меры возможности возникновения транспортных происшествий (ТП), основанная на имитационном моделировании тех перевозочных процессов, проведение которых может быть уподоблено функционированию конкретных систем «человек-машина-среда» (ЧМС). При этом под их первым компонентом подразумеваются члены экипажа конкретного транспортного средства, вторым – само транспортное средство (как сложная техническая система), а под третьим – маршрут её перемещения.

Рассматриваемый способ и реализующий его компьютерный программный комплекс позволяют автоматизировать не только прогноз данного параметра риска соответствующих ТП, но и оптимизацию организационно-технических мероприятий, предлагаемых для его снижения. Наиболее предпочтительным пользователем предлагаемой автоматизированной технологии является администрация транспортного предприятия, взаимодействующая с разработчиком и изготовителем транспортных средств, а сферой применения – осуществляемый ею менеджмент техногенного риска.

Рассматриваемая технология развивает ранее опубликованные идеи автора этой статьи. В данном случае используется наиболее сложная модель, учитывающая влия ние большого числа тех трудно формализуемых (нечетко определенных) факторов перевозочных процессов, которые наиболее существенно влияют на возможность возникновения в них ТП.

Особое внимание уделено так называемому «человеческому фактору», т.е. ошибочному выполнению экипажем таких тактов операторской деятельности, как:

– восприятие и дешифровка информации о параметрах перевозочного процесса; структурирование и сопоставление полученных данных с требованиями его безопасности;

– оценка необходимости и вариантов реагирования на обнаруженные при этом отклонения; выработка альтернативных воздействий и ранжирование их по эффективности;

– принятие и реализация решения на корректировку осуществляемого процесса.

Выбор имитационного (логико-лингвистического) моделирования ТП при функционировании современных транспортных средств обусловлен такими достоинствами указанного метода, как возможность учета практически всех наиболее существенных факторов транспортного риска, высокие гибкость и оперативность оценки эффекта реакции ЧМС на предполагаемое изменение отдельных свойств её компонентов или их совокупностей.

Процедура логико-лингвистического моделирования с целью прогнозирования риска возникновения ТП при функционировании ЧМС и оценки вклада в него учитываемых факторов может включать следующие основные этапы: а) описание процесса возникновения причинной цепи предпосылок (ПЦП) к техногенным происшествиям на вербально-качественном уровне, с применением логических условий и лингвистических переменных, б) последующую формализацию полученной при этом модели, т.е. её представление в виде соответствующей диаграммы причинно-следственных связей типа «сеть стохастической структуры», в) разработку имитационного алгоритма исследования процесса возникновения ТП и соответствующей ему компьютерной программы, г) проведение с их помощью серии машинных экспериментов.

Как представляется, учитываемыми при этом факторами следует считать психофизиологические свойства экипажа транспортного средства и сложность возложенных на него алгоритмов, а также и всё то, что в основном определяет эргономичность и надежность используемой им техники, комфортность рабочей среды и качество технологии перевозки пассажиров или грузов. Именно такой (системный) подход применен автором при разработке стохастической сети GERT и основанного на ней имитационного алгоритма, пригодного для машинного моделирования в рассматриваемых здесь ЧМС процесса возникновения предпосылок и перерастания их в ПЦП техногенного происшествия. Первооснова такой сети представлена на рис. 1.

В верхней части изображенной выше полувербальной модели находятся три типа различных ТП (события 79: а, б, в), отличающиеся тяжестью возможных последствий, а ниже – предшествующие им особые ситуации и предпосылки к ним. Реализация каждого из этих событий, обозначенных ромбиками или прямоугольниками с текстом, имеет случайный характер и может быть осуществлена альтернативными способами. Основание и другие элементы этой модели образованы свойствами конкретной ЧМС и возможными событиями в ней, которые объединены связями и узлами, означающими логико-вероятностные условия: стохастическое разветвление (символы каплеобразной формы), сложение и перемножение (круги со знаками “+” и “•").

Особо отметим, что в основу подобной интерпретации процесса появления ТП положен учет влияния свойств конкретной ЧМС на качество выполнения экипажем транспортного средства основных этапов операторской деятельности: а) восприятие и дешифровка информации о перевозочном процессе; б) структурирование полученных данных в соответствии с задачами, решаемыми на конкретном этапе управления движением; в) выявление отклонений параметров процесса от требований безопасности и технологии перевозки; г) оценка необходимости и способов вмешательства экипажа в данный процесс; д) сравнительная оценка альтернативных решений и выбор из них конкурентоспособных; е) прогнозирование степени их приемлемости и эффективности, е) реализация решения на корректировку процесса при необходимости. Перечисленные элементы алгоритма деятельности экипажа транспортного средства и процесса возникновения при этом ПЦП к возможным происшествиям показаны на рис. 1 в прямоугольниках с двойной рамкой.

Рассмотрим взаимодействие элементов предложенной модели в процессе возникновения ПЦП при функционировании какой-либо ЧМС рассматриваемого здесь типа. Например, – интерпретируя условия появления дорожно-транспортной аварии при перевозке автомобилем аварийно химически опасного вещества (АХОВ). При этом в качестве «машины» будет подразумеваться автомобиль, «человека» – управляющий им водитель, а «среды» – видимый ему из кабины участок дороги или улицы со средствами разметки и регулирования движения, а также с другими неподвижными и движущимися объектами.

Последовательно поясним назначение элементов модели, начиная с её нижней левой части, где показано взаимодействие компонентов данной ЧМС, результаты которого (совместно с возможными отказами автомобиля и неблагоприятными воздействиями на него со стороны дороги) проявляются в реальной информации о происходящем. Там же показан прямоугольник, указывающий на вероятные неисправности тех средств индикации параметров движения (органов управления автомобилем и дорожными условиями), которыми пользуется водитель. Данный элемент сети может свидетельствовать, например, о возникновении несоответствия между информационной моделью водителя и действительным положением дел. А вот в противоположной части этой модели отмечен тот факт, что водитель, как и любой другой человек-оператор, руководствуясь знанием технологии работ и имеющимся у него опытом, обычно создает когнитивную модель выполняемой операции, позволяющую ему после выполнения одних действий ожидать определенную информацию и изготовиться к последующим. При этом действительная информация о выполняемой операции может отличаться от информации, ожидаемой человеком, что будет им восприниматься или не восприниматься в последующем.

Например, при приближении к перекрестку или необходимости совершения иного маневра, водитель должен сбавить обороты двигателя, нажать на педаль привода сцепления или тормоза, а затем повернуть рулевое колесо. При этом он ожидает снижение шума в одном месте (от двигателя) и его появление в другом (в районе колес), а также готовится к восприятию инерционной нагрузки, обусловленной изменением вектора скорости автомобиля. Однако этого может не произойти из-за появления возможных ошибок водителя (допустим, не воспринял изменения уровня шума и бокового ускорения), отказов задействованных при маневре элементов автомобиля (акселератора либо тормозного и рулевого устройств), нерасчетных воздействий дорожного покрытия (его низкого трения из-за оледенения или наличия масляной пленки, например).

Иначе говоря, в результате восприятия и дешифровки информации о состоянии рассматриваемого здесь перевозочного процесса и сравнения ее с ожидаемой, возможны следующие альтернативные исходы: а) действительная ин- формация идентична ожидаемой и правильно воспринята водителем (см. рис. 1 – состояние ИИП); б) действительная информация не идентична ожидаемой, но правильно им понята – состояние модели НИП; в) оба вида информации в действительности идентичны, однако реальная информация искажена водителем (состояние ИИИ); г) обе информации на самом деле оказались не идентичными, а реальная информация еще была им дополнительно искажена при дешифровке или восприятии – состояние НИИ.

Указанные четыре случая представляют собой пол- ную группу возможных исходов приема и дешифровки информации, а располагаются они над соответствующим стохастическим узлом-разветвлением сети. При этом три последних события можно истолковывать как появление возмущений, приводящих к утрате соответствующей ЧМС равновесия; тогда как первый исход можно считать благополучным (в смысле отсутствия условий для зарождения ПЦП к ТП), т.е. в данном случае имеет место удержание динамического равновесия (событие 26 – гомеостазис). Сохранение подобного равновесия свидетельствует как об успешном завершении выполняемого этапа перевозочного процесса, так и о возможности перехода к следующему, на что указывает пунктирная линия (логическая связь), выходящая из этого события и направленная вниз.

Если в исследуемой ЧМС нарушается равновесие, то принципиально возможны следующие три альтернативных исхода: полное или частичное восстановление равновесия, либо отсутствие такой возможности и предупреждения вследствие этого опасных последствий (см. соответствующие события в центральной части рис. 1). Например, в случае обнаружения водителем факта или тенденции к утрате системой «водитель автомобиль с АХОВ - дорога» динамического равновесия, у него может возникнуть потребность в принятии решения о необходимости и способе вмешательства в возникшую нестандартную ситуацию с целью её корректировки.

Допустим, что после выполнения обычных (перед запрещающим знаком светофора) действий, водитель обнаружил недостаточное снижение скорости автомобиля. Далее он мог действовать, например, по одному из следующих трех вариантов: а) осознав недопустимость въезда на перекресток, и зная о возможности торможения автомобиля стояночным тормозом, он мог попытаться сбавить скорость с его помощью; б) понимая невозможность сделать это из-за скользкого покрытия или ненадежной работы стояночного тормоза, он мог принять решение на увеличение скорости, в надежде преодолеть перекресток до въезда на него автомобилей с поперечной дороги, либо в) видя, что наперерез и слева по отношению к его грузовику приближается легковой автомобиль, а справа, но чуть дальше – уже грузовик, водитель мог не предпринимать никаких действий, растерявшись или понадеявшись на счастливый исход...

При принятии решений о способе поведения в подобных условиях любой человек обычно руководствуется субъективно оцененной им мерой опасности и собственными возможностями, определяемыми психофизиологическими качествами – оперативностью мышления, знанием порядка действий в подобных нестандартных ситуациях, способностью прогнозировать ожидаемые последствия и уровнем мотивации к их изменению. С учетом этого он вначале выбирает оптимальный для него выход из сложившейся ситуации, а затем и осуществляет “наилучшие” в его представлении действия, которые в действительности могут быть либо точными, либо ошибочными. Отказ от них, вследствие замешательства или потери самообладания в данных нестандартных условиях, учтен на рис. 1 в виде отдельного исхода «Бездействие человека», расположенного над соответствующим (уже третьим) стохастическим узлом-разветвлением.

Если принятое решение и действия водителя грузовика, перевозящего АХОВ, окажутся действительно точными, то они могут возвратить рассматриваемую здесь ЧМС в состояние равновесия – за счет адаптации к возникшему возмущению (событие 44). А вот в других случаях там уже появится опасная ситуация, что и показано на модели событием 50. К её возникновению в системе будут также приводить отказы других ответственных элементов автомобиля или опасные внешние воздействия на него или водителя со стороны окружающей их среды.

Появившаяся в рассматриваемой системе опасная ситуация может перерасти в критическую (событие 65), т.е. привести к взаимному совмещению зоны действия возник ших опасных факторов с незащищенными от них объектами, либо завершиться адаптацией ЧМС к опасной ситуации (событие 64). Возможность такой адаптации будет зависеть от особенностей возникшей дорожно-транспортной ситуации: качества и взаимной совместимости конкретных компонентов исследуемого транспортного средства и его окружения – технических средств обеспечения безопасности дорожного движения, обученности других водителей и оказавшихся вблизи пешеходов точным действиям в подобной нештатной ситуации и т.п.

Подобно будет обстоять дело и с возникшей затем критической ситуацией. Она может завершиться либо адаптацией ЧМС (событие 78), либо фактом проявления аварийности или травматизма, т.е. возникновением какого-либо из событий, помеченных на рис. 1 номерами 79а, 79б или 79в. Конкретный вид ТП (несчастный случай, катастрофа, авария или поломка) будет определяться спецификой возникшей критической ситуации – каков потенциал случайно возникшего опасного фактора, какие из незащищенных объектов оказались в зоне его появления, какому разрушительному воздействию они подверглись.

В частности, при низком потенциале опасности (малых массе и скорости соударяющихся тел), а также её воздействии на незащищенные элементы транспортных средств или окружающих их объектов, возможны поломки или аварии, иногда сопровождающиеся загрязнением природной среды. При воздействии же опасного фактора только на людей, возможны несчастные случаи, включая их гибель. В тех случаях, когда выход из строя одних компонентов ЧМС (например, гибель экипажа самолета) неизбежно ведет к уничтожению других (воздушного судна вместе с пассажирами и грузом) – каскадный эффект, а также при очень больших потенциалах аварийно высвободившихся энергии и вредного вещества, будут возникать катастрофы.

Применительно к рассматриваемой здесь перевозочной ситуации подобные исходы могут проявиться, например, в следующем. При незначительной относительной скорости и массе столкнувшихся автомобилей, они сами и их водители могут «отделаться» лишь незначительными повреждениями. В случае «въезда» на большой скорости легкового автомобиля в грузовик с АХОВ, внезапно оказавшийся на перекрестке и «подставивший» свой левый бок, помимо неизбежных при этом поломок, могут пострадать также и оба водителя.

Наконец, если в результате столкновения на большой скорости двух грузовых автомобилей произошла утечка, воспламенение или взрыв находящегося в одном из них АХОВ, то данное ТП может иметь катастрофические последствия по причине гибели оказавшихся вблизи пешеходов, уничтожения столкнувшихся транспортных средств и имеющихся в них людей, причинения иного крупного материального ущерба. Возможность одних техногенных происшествий инициировать другие («эффект домино») учтена в показанной на рис. 1 модели пунктирной линией, идущей от верхних событий изображенной там сети к нижним.

Как мог убедиться читатель, только что рассмотренная (логико-лингвистическая) модель техногенного происшествия при функционировании ЧМС (возникновения ТП при перевозке АХОВ автомобилем) полностью соответствует современным представлениям о закономерностях проявления источников транспортного риска. Об этом же свидетельствуют и результаты анализа обстоятельств возникновения других техногенных происшествий, указывающие, что их появлению всегда предшествуют ПЦП, обычно включающие ошибки людей, отказы техники и неблагоприятные для них внешние воздействия. Кроме того, на возникновение отдельных предпосылок каждого типа влияет громадное число реально действующих факторов, большинство из которых имеет нечетко определенную природу, а потому и являются лингвистическими переменными, т.е. чаще всего пригодными для выражения лишь словами разговорной речи.

Данное обстоятельство позволяет использовать предложенную выше модель для разработки такого машинного алгоритма, который был бы пригоден для априорной оценки риска транспортных происшествий путем имитационного моделирования процесса их возникновения. Приемлемость такого (имитационного) подхода может быть обоснована, по меньшей мере, двумя соображениями. Во-первых, выполнение большинства перевозочных процессов правомерно представлять в виде функционирования соответствующих ЧМС. При этом успешное или неуспешное завершение каждого из них будет эквивалентно отсутствию или появлению какого-либо транспортного происшествия. Во-вторых, если же рассматривать конкретный перевозочный процесс, многократно выполняемый с привлечением однотипных транспортных средств, то можно утверждать и о массовом характере перечисленных выше исходов. Следовательно, требования к массовости и стохастичности соблюдаются, что позволяет использовать имитационное моделирование для прогноза транспортного риска.

Поясним идею подобного моделирования с помощью модели, показанной на рис. 2 и полученной путем дальнейшей формализации только что рассмотренной ранее (см. рис. 1). Она получена путем замены 1) подавляющего большинства имеющихся там прямоугольников на каплеобразные узлы стохастического разветвления, помеченные сверху арабскими цифрами, 2) а всех ромбовидных фигур – на оцифрованные в нижней части круги, размещенные по контуру этой модели и снабженные выходящими из них спиралевидными стрелками с латинскими буквами.

До того как охарактеризовать полученную таким образом сеть GERT, поясним, что в построенном на её основе машинном алгоритме (детально будет рассмотрен чуть ниже – см. рис. 3), все узлы и дуги будут генерировать, обрабатывать или передавать цифровую информацию, указывающую на вклад учитываемых факторов (свойств ЧМС) в условия зарождения и развития ПЦП. Для удобства восприятия моделируемого этой сетью процесса, первоисточники такой информации (генераторы случайных чисел) помечены там волнистыми стрелками, входящими в соответствующие стохастические узлы с цифровыми кодами (соответствуют частным свойствам конкретных компонентов ЧМС), а некоторые её дуги и каждый узел – цифрами, часть из которых уже использована в предыдущей модели (см. рис. 1).

Уточним, что все узлы стохастического разветвления сети имеют одинаковые (единичные) степени свободы для первой и последующих реализаций входящих дуг (предецессеров). Кроме того, лишь три её узла (23, 33 и 35) имеют там более двух выходящих дуг (саксессеров). В предыдущей модели (см. рис. 1) они соответствовали выполнению следующих этапов операторского алгоритма: 23 – восприятие и дешифровка информации о состоянии ЧМС, 33 – принятие решения о необходимости и способе устранения нарушенного в ней равновесия, 35 – практическая реализация оператором принятого решения. Обратим также внимание на события, закодированные одними и теми же цифрами (26, 44, 50, 64, 65, 78 и 79) на обоих рисунках. При моделировании они исполняют роль узлов-статистик, регистрирующих факт достижения цифровым потоком любого из этих исходов. На такую возможность в ходе проведения имитационных машинных экспериментов указывают спиралевидные стрелки, исходящие из таких узлов.

Сведения об учитываемых при этом факторах: коды, наименования, номера соответствующих узлов (исток и сток) сети GERT, а также переменные индексы значимости (символ «∨» между их возможными величинами означает логическое условие «или») приведены в таблице 1.

Каждый фактор табл. 1 имитируется генератором (истоком) случайных чисел, а его вклад в моделируемый процесс – случайным индексом, поступающим в сток и зависящим от лингвистической оценки качества соответствующего свойства ЧМС. Предрасположенность всей этой системы к техногенным происшествиям оценивается по результатам машинных экспериментов, состоящих в последовательном опросе генераторов и обработке выданных ими чисел-индексов узлами логического сложения и перемножения. При этом по мере движения снизу вверх величина результирующего индекса может как расти, так и уменьшаться, что означает образование и обрыв ПЦП. Последнее, например, возможно после узлов логического перемножения 22, 24 или 52, 54, 56 или 72, 74, 76 – в том случае, если отсутствует вклад в ПЦП соответствующего фактора ЧМС, т.е. когда значение индекса его (вредной) значимости оказывается равным нулю.

Изложенные выше принципы имитационного моделирования происшествий проиллюстрированы на рис. 3: один из учитываемых при этом факторов – в верхней левой части; графики равномерного и треугольного распределений качества соответствующих свойств ЧМС (вместе с функцией Пх(К)=рх(К) принадлежности его конкретным дискретным оценкам) – в центральной; универсальная лингвистическая и эквивалентная ей числовая (на отрезке [0,1], с дискретностью 0,08) шкалы качества, имеющие 11 градаций (К11 – К11), – в нижней части этого рисунка.

Исходными данными, необходимыми для имитационного моделирования, служат набор тех свойств ЧМС (см. табл.1), которые наиболее существенно влияют на появление транспортных происшествий, а также максимально возможные значения индексов соответствующего вклада в образование ПЦП и лингвистические или балльные оценки качества каждого такого свойства-фактора. При этом распределение качества последних на соответствующей универсальной шкале задается плотностью fх(К) вероятности его дискретных значений на шкале [0,1] или функцией πх(К) принадлежности лингвистических переменных, приведенных в самом внизу рис. 3.

Сущность же механизма имитационного моделирования процесса возникновения транспортных происшествий состоит в следующем. Генераторы случайных чисел (см. верхнюю левую часть рис. 3), настроенные на равномерно или треугольно распределенные функции fx(К) и πx(К), выдают при опросе случайные оценки качества, значения которых определяют выбор индексов Ij потенциальной опасности соответствующих факторов. В частности, чем ниже оценка качества Кj какого-либо свойства ЧМС, тем более вероятно принятие этим индексом его максимального (см. третью колонку табл. 1) или более высокого значения (только для Ч4,Ч12,Ч14).

Количество таких генераторов соответствует числу учитываемых факторов, а выданные ими значения индексов Ij потенциальной опасности как раз и имитируют предрасположенность соответствующих свойств ЧМС к формированию предпосылок к происшествию. В самом деле, если качество её компонентов имеет низкие оценки, то генераторы чаще будут выдавать максимальные величины соответствующих случайных чисел-индексов. А так как все свойства связаны между собой дугами сети GERT, то результат обработки подобной цифровой информации её узлами логического сложения и перемножения может характеризовать уже возможность образования той ПЦП, которая гарантирует появление транспортного происшествия.

Ведь нетрудно понять, что полученное таким образом суммарное значение IΣ будет свидетельствовать о предрасположенности исследуемого перевозочного процесса к техногенным происшествиям, оцениваемой мерой возможности не только возникновения в нём различных возмущений, опасных и критических ситуаций, но и их своевременной ликвидации благодаря адаптации соответствующей ЧМС. Последнее объясняется тем, что случайная величина IΣ, значение которой пропорционально вероятности как возникновения отдельных предпосылок к транспортному происшествию, так и их развития с последующим образованием его полновесной причинной цепи, способна не только расти, но и уменьшаться, вплоть до «обнуления».

Например, сохранение или рост значения IΣ будет иметь место после объединения логическим условием «или» поступающих на его вход случайных чисел Ij. Допустим, при алгебраическом сложении соответствующего вклада первых девяти факторов ЧМС: С1 и С2, Ч1–Ч3, М1 и М2, Т1 и Т2 (см. рис. 2: узлы 1-18 GERT). И напротив, уменьшение IΣ, т.е. обрыв образовавшейся при этом ПЦП будет имитироваться в тех случаях, когда хотя бы один из генераторов, инцидентных логическому условию «и», выдаст нулевое значение индекса Ij. Например, – если узлы 23-24 этой сети (фактор Ч4) сымитируют безошибочное восприятие и дешифровку информации оператором, несмотря на ненулевые значения индексов I20 и I22.

Естественно, что каждая машинная реализация конкретного перевозочного процесса будет сопровождаться регистрацией одного из тех событий, которые помечены в левой и правой частях рис. 2 волнистыми стрелками-саксессерами. Это означает, что в одних случаях в соответствующей ЧМС может фиксироваться гомеостазис или адаптация к возникшим ошибкам, отказам и нерасчетным внешним воздействиям, а в других – опасная и критическая ситуации, т.е. достижение потоком цифровой информации узлов 26, 44 и 50, 65. Если последующее значение IΣ не превысит некоторых (реперных) значений, то там могут регистрироваться состояния адаптации к возникшим опасным и критическим ситуациям, что эквивалентно узлам 64 и 78. В отдельных имитациях выполняемого процесса дальнейший рост индекса накопленной опасности может завершиться уже фиксацией транспортного происшествия – достижения события 79 с исходящей волнистой стрелкой, являющего обобщением событий 79а, 79б и 79в (см. рис. 1).

Предложенный алгоритм имитационного моделирования техногенных происшествий реализован в программном комплексе «HAZARD», один из интерфейсов которого показан на рис. 4.

В средней левой части рисунка дан фрагмент исходных данных эксперимента (четыре свойства «Технологии» и оценки их качества); в нижней – его результаты (регистрируемые события и вероятности их наступления), в правой – параметры эксперимента и справочная информация.

Проведение машинных экспериментов позволяет решать следующие задачи: 1) выявлять в соответствующих ЧМС те свойства их компонентов, изменение которых наиболее существенно влияет на условия формирования ПцП; 2) проводить сравнительную оценку вероятности появления техногенных происшествий при выполнении однотипных перевозочных процессов; 3) количественно оценивать результативность альтернативных организационно-технических мероприятий, предлагаемых для снижения оцениваемого параметра транспортного риска.

Для решения каждой из трех указанных выше задач, необходимо не менее двух машинных экспериментов, отличающихся следующими исходными данными. Для второй задачи – оценками качества соответствующих свойств аналогичных чМС, функционирующих с целью выполнения однотипных перевозочных процессов. Для первой и третьей – различными оценками качества одной и той же чМС, зарегистрированными до и после внедрения предлагаемых организационнотехнических мероприятий по повышению транспортной безопасности. что касается числа имитаций в машинном эксперименте, то оно изменяется от нескольких тысяч до сотен миллионов, так как зависит от частоты регистрируемых событий и точности оценки их вероятностей.

Программный комплекс «HAZARD» позволяет использовать результаты моделирования для обоснования мероприятий по снижению риска техногенных происшествий. При этом возможно применение двух критериев соответствующей оптимизационной задачи, что допускает возможность обеспечить либо наибольшее (для выделенных затрат) снижение вероятности возникновения подобных происшествий в чМС, либо минимум затрат на её снижение до допустимого значения. Решение этих задач осуществляется в режиме «Комплекс мер» (рис. 5).

Исходными данными задачи по обоснованию комплекса оптимальных мероприятий являются; 1) размеры среднего ущерба Y от одного транспортного происшествия в чМС конкретного типа; 2) число как организационно-технических мероприятий, предложенных по снижению вероятности Q его появления, так и их различных сочетаний; 3) затраты на внедрение каж- дой такой альтернативы и 4) их предполагаемый эффект, рассчитываемый умножением Y на ожидаемое от внедрения снижение вероятности ΔQ (определяется путем имитационного моделирования при разных оценках качества улучшаемых свойств чМС), а также предельно допустимое значение Q∗ либо суммарные затраты Sвыд, выделенные для снижения техногенного риска. В результате решения задачи условной оптимизации методом полного или ускоренного перебора определяется набор тех альтернатив, внедрение которых способно либо снизить оцениваемый здесь параметр транспортного риска до приемлемого уровня Q∗, либо наилучшим образом использовать выделенные для этого финансовые и иные ресурсы.

Как представляется автору статьи, предложенный (имитационно-оптимизационный) подход к прогнозированию и регулированию риска транспортных происшествий, является наиболее предпочтительным для внедрения в практику администрации отечественных транспортных предприятий с целью совершенствования менеджмента техногенного риска как составной части её общего менеджмента. По крайней мере, в сравнении с пока бытующими и ничем не подкрепленными суждениями (невоспроизводимыми другими экспертами), равно как и с теми оценками, которые могут быть получены методами графо-аналитического и логико-вероятностного моделирования, возможности которых разумно обсудить в следующих номерах журнала.