

Повышение безопасности движения поездов в метрополитене при неопределенности информации о функциональных отказах отдельных элементов транспортных средств



Е. А. Куклев,
докт. техн. наук,
профессор, заведующий
кафедрой механики
Санкт-Петербургского
государственного
университета гражданской
авиации (СПбГУ ГА)



Ю. Ю. Михальчевский,
проректор-директор
авиационного
учебного центра
СПбГУ ГА



М. Ю. Смуров,
докт. техн. наук,
профессор,
ректор СПбГУ ГА

Рассмотрены процессы смены дискретных состояний транспортной системы, возникающих при нарушении требований стандартов эксплуатации и ремонта, и представляющих угрозы безопасности эксплуатации систем городского транспорта — в частности, на метрополитене — в форме возможных катастрофических последствий. Используются модели исчисления рисков в высоконадежных системах.

Правила эксплуатации и ремонта городских транспортных средств и технологии управления ими для обеспечения безопасности движения регламентированы в известных эксплуатационных документах и отраслевых стандартах метрополитена и ОАО «РЖД» [1, 2]. Тем не менее, маршрутки заезжают на пешеходные дорожки, автобусы иногда опрокидываются, а в московском метро произошла очень редкая авария с человеческими жертвами и повреждением вагонов поезда [3]. Это свидетельствует о том, что возникла необходимость решения ряда вопросов, касающихся повышения безопасности заданных режимов движения и совершенствования процедур взаимодействия служб управления эксплуатацией транспортных средств, руководителей деятельностью транспортных, ремонтных компаний и др.

В ситуации [3], согласно предварительным сведениям, остается неясным вопрос о том, почему при неисправности стрелки диспетчер движения не включил все красные светофоры? Можно полагать, что, по-видимому, отказ стрелки произошел неожиданно, по непредвиденным причинам, но необходимая информация не поступила на пульт управления. Такие ситуации с большими ущербами бывают, но их вероятность очень низка.

Ввиду серьезности потенциальных последствий при редких событиях приходится создавать модели исчисления рисков возникновения аварий, катастроф (или крушений на транспорте [2]) с учетом неопределенности информации о возможных опасных (рисковых) событиях в зависимости от множества явных (оперативных) и скрытых поражающих факторов в рассматриваемых системах, в частности, на метрополитене. Необходимо также применять методы управления безопасностью систем с упреждающим воздействием на изменение их состояния до того, когда могут произойти прогнозируемые рискованные события. Для этого целесообразно создавать на метрополитене соответствующие системы управления безопасностью движения поездов, например, в полном соответствии с рекомендациями ОАО «РЖД» [2]. Между тем в сравнительно новом документе [1] положения о подобной системе подробно не прописаны, и даже определение безопасности дано в форме некоторого технического показателя без привязки, например, к факторам возникновения критических функциональных отказов с серьезными последствиями.

Сущность проблемы — в достоверности статистики редких событий (и в гражданской авиации, и на железнодорожном транспорте). Это связано с

тем, что благодаря высокой надежности транспортных систем редко происходят функциональные отказы.

Неопределенность информации проявляется и в том, что математические ожидания, дисперсии и функции плотности распределения вероятностей случайных редких величин определены на «хвостах распределений», изменение которых неизвестно [4]. Поэтому какое-то угадывание вероятностей по [2] даже при апостериорно известных частотах событий не дает необходимой достоверности результатов. В связи с этим приходится решать проблему редких событий с использованием новых подходов, с применением особых экспертных методов, определенных в области нечетких множеств [4], развиваемых в гражданской авиации (ГА) [5, 6].

Цель данной статьи состоит в обосновании своевременности обмена полезными идеями в разных отраслях транспорта по теме «безопасность, риски». Дается анализ некоторых позиций документа типа СП [1, 2]. Представлена характеристика подходов к обеспечению безопасности полетов (БП) в ГА с применением систем типа SMS (Safety Management System) [7] в качестве сертифицированной в ГА структуры. Ее элементы как некоторые примеры при подходящих условиях могут оказаться полезными также для сухопутных и водных транспортных систем. Модификация указанных подходов предлагается применительно к обеспечению безопасности городского транспорта на примере метрополитена [3].

Представляют интерес меры, которые принимались ранее при ремонте такого критического элемента, как руль высоты воздушного судна ТУ-154, из чего следует вывод о возможности совершенствования, например, технологий ремонта подземных путей на метрополитене [1, 3]. В связи с этим актуален вопрос о возможности гармонизации единства положений о моделях рисков в стандартах ГА РФ [5–7] и ОАО «РЖД» [2]. Дополнительно отмечается, что природа причин некоторых печально известных катастроф последнего времени, таких как с ВС Boeing-737 [8, 9] и упомянутой выше на метрополитене [3], почти одна и та же: модуль из [7] типа «Культура безопасности и ответственность высших руководителей за ВС» недостаточно детально разработан в регламентах типа [1, 2] и в других. Подобный модуль чет-

ФОТО: СЕРГЕЙ ПОРИН



ко прописан в SMS [7] для ГА. Однако на метрополитене [1] подобная категория как самостоятельная тема не выделена.

Анализ положений документа СП о безопасности для метрополитена

На основе закона о техническом регулировании в главном новом (2012 г.) документе [1] представлено все, что по существу относится к проектированию, созданию и эксплуатации метрополитена, строительству тоннелей, испытанию грунтов и прочим очень важным научным и инженерным аспектам создания и эксплуатации специфичной транспортной железнодорожной городской магистрали. Представлены важные разделы: обкатка путей (И27); сертификация объектов (И26); общие положения о паспортах подсистемы и агрегаты (М1); справки о неполадках и дефектах – по замечаниям рабочих комиссий (И1.17); сертификаты о пожарах (И26); регламентированы уклоны, радиусы скругления кривых участков, рассмотрены тоннели; инвентарь по технике безопасности (5.10.3.12) и т. д.

В подразделе «Пути» (5.7.1 в [1]) сформулирована тема «Безопасное и плавное движение поездов с установленными скоростями» (5.7.1.1 в [1]). При этом не раскрыты содержание требований и сущность трактовки понятия безопасности движения в тоннелях с учетом возможных угроз и уровней (категорий) рисков, что в близком смысле дается, например, в качестве обязательного элемента в SMS [7] для ГА. Однако понятие «безопасность», к сожалению, представлено лишь как символ («закли-

вание») признака одного из показателей качества ТС, упомянутого в обязательных документах.

Можно предположить, что в [1] с учетом прежних стандартов принята рекомендация: если надежно, то и безопасно. Хотя это положение и противоречит здравому смыслу, его приходится принимать по новым стандартам [1] в соответствии с законом «О техническом регулировании» (Федеральный закон РФ № 184-ФЗ, от 21 декабря 2002 г.). В ст. 2 данного закона указано: «Риск — вероятность причинения вреда жизни или здоровью граждан, с учетом тяжести этого вреда», и далее: Управление риском — принятие решений и действия, направленные на обеспечение безопасности». Этого оказалось недостаточно для обеспечения приемлемого уровня безопасности, что, возможно, и явилось следствием тяжелой аварии [3]. Однако даже при очень малых вероятностях событий можно было бы парировать проявление ряда негативных особенностей в [3] при внедрении перспективных способов управления рисками по аналогии с авиационными SMS, рассмотренными ниже.

Общие характеристики авиационной системы управления безопасностью полетов (СУБП) типа SMS

Рассмотрим, в чем состоит полезность использования информации об авиационной SMS при разработке дополнений к системе управления транспортной безопасностью (СУТБ) ОАО «РЖД», предлагаемой для метрополитена, например, под названием «Система управления

безопасностью городского транспорта» (СУОБГТ) применительно к специфике транспортных происшествий.

Основные положения SMS

Основные положения, принятые в SMS, включают следующие определения и рекомендации: оценка критичности дискретных состояний системы, образующих сценарии событий, через цену риска в нечетких шкалах Fuzzy Sets без применения вероятностных показателей; использование новой (не вероятностной) модели риска; обоснование использования гипотезы о высокой надежности технических систем, о перечне модулей в SMS, а также предоставление базового стандартизованного алгоритма, предложенного в NASA, для идентификации рисков, построение моделей опасности в системах в форме цепей дискретных состояний с учетом множества выявленных опасных факторов.

Краткие описания отдельных положений по функциям и структуре SMS

Безопасность полетов оценивается (как в теории надежности (ТН) и стандартах ОАО «РЖД») через опасность в терминах рисков по ИКАО [6, 7] при известных внешних воздействиях и прочих факторах. Оценка опасности начинается с выявления физических условий возникновения событий в виде возможных функциональных отказов, несущих вред системам, и критичности их последствий при заданных по ТН показателям качества. В связи с этим термин «безопасность» [5–7] в виде понятия состояния с некоторым показателем допустимого уровня вреда отражает реальные нечеткие трактовки «здорового смысла», такие как «малый вред», «незначительный ущерб» и т. п., что очень трудно оценить в четких мерах (например, через «вероятность»), если события, аналогичные катастрофе в метрополитене [3] или в [9], редки и неопределенны. Именно поэтому только показатель опасности, оцениваемый с помощью категории меры опасности – «риска», позволяет корректно преодолеть проблемы учета неопределенности информации при оценке уровня безопасности систем «через опасность». Вероятность функционального отказа (иногда очень опасного) системы типа ТС является малой и практически не может быть точно вычислена с учетом

свойств «хвостов» функции плотности распределения вероятности, как было отмечено выше. По данной причине экспертные прогнозы («угадывания» — по [2]) значения величины вероятности не требуются, поскольку, с одной стороны, вероятность не удастся найти из-за отсутствия априорных данных (вероятность «почти ноль»), а с другой – в известных методах ТН (ВАБ) [2, 4, 6] аналитические функции распределения плотности вероятностей столь размыты, что вероятностные расчеты теряют всякий практический смысл. В ТСБ для ГА (в ИКАО) пришлось отказаться в основном от методов теории вероятностей и переходить в область нечетких подмножеств, чтобы применять экспертные методы функций принадлежности Fuzzy Sets по Л. Заде [4] для анализа рисков возникновения негативных сценариев событий с применением матриц анализа рисков.

Авиационная SMS фокусируется на опасностях. При этом из-за несоответствия стратегическим целям бизнес-организации (например, «государству» или даже иногда «собственнику», что практически нереально) каждая SMS интегрируется с QMS и другими системами управления для формирования нормативно-правовой базы организации и для определения опасностей и рисков, которые влияют на всю организацию. При этом устанавливается контроль над рисками, но в полном соответствии со стандартами надежности [3].

По определениям [4, 7], система управления безопасностью полетов в ГА типа SMS – это множество взаимосвязанных и упорядоченных элементов или модулей (в минимальном составе по Annex-19), предназначенных для достижения цели управления по обеспечению необходимого уровня безопасности полетов в соответствии с принятым системным подходом. Это полностью соответствует и существу СУОБГТ в свете событий [3]. Данное определение можно предложить в качестве одного из пунктов для гармонизации подходов к проблеме безопасности в различных отраслях транспорта.

Иерархическая структура организации СУБП обязательно включает модуль функций обеспечения ответственности руководителя за безопасность полетов в бизнес-структуре транспортного предприятия.

Логика построения структур модулей SMS и отраслевой деятельности

включает производство, эксплуатацию, мониторинг и менеджмент рисков (в том числе и в ОАО «РЖД» [2] и др.). При этом в ГА, по Annex-19 и в [5, 6], принята исходная посылка: «В системе может быть заложена „катастрофа“ (или „системная ошибка“), которая должна быть найдена заранее, с учетом структуры системы и характеристик внешней среды путем прогнозирования критических состояний („по риску“ – потенциальному, приемлемому – через меру возможной прогнозируемой опасности)».

Методологию управления безопасностью и рисками аварий составляет прогнозирование условий возникновения катастроф, аварий, нежелательных последствий на множестве факторов риска (независимых поражающих, управляемых и управляющих) с целью снижения уровня рисков. Для этого используется унифицированный алгоритм NASA в виде цепи категорий безопасности в ГА [5, 7, 9], позволяющий определить сценарии событий, ведущих к катастрофе или к аварии. При идентификации опасностей используются МДМ по ECAST [10] и предиктивный (предупредительный) метод Annex-19 [7] для определения в сценариях критичности отдельных путей, ведущих к катастрофе или к аварии.

Основу процедур идентификации опасностей составляют правила проверки функциональности исследуемых процессов в рекомендуемых технологиях управления ВС. Благодаря им можно проверять условия существования «свойств функциональности» по нормам четкой или нечеткой логики без вероятностных показателей [5, 6]. Это позволяет формализовать положение п. 5.7.1.1 из п. 5.7.1 («Пути» – по [1]).

Цена риска определяется через величину ущерба с помощью матрицы риска по NASA (ICAO) [2] в нечетких множествах Fuzzy Sets [6, 4, 8] для некоторых критических дискретных состояний $\{q_i^*\}$ в виде цепей событий из элементов $q_j(i) \in Q$, образующих пути, ведущие к критическим состояниям системы с индексом (*) из общего множества Q с четкой логикой определения сущностей состояний через значения логических переменных вида «0» – «норма» (функциональность), «1» – «отказ»:

$$e_i \in E \Rightarrow q_j(i) \in Q \rightarrow \{L_k\} \Rightarrow H_k, \quad (1)$$

где \Rightarrow – «следствие»,

L_k – цепь состояний в МДМ,

H_k – ущерб (или цена риска), принята по ТН [7] инверсная схема обозначения инициирующих условий аварий.

Цепи состояний L_k из (1) находятся по FMEA [10] с учетом возможных отказов отдельных технических или функциональных (физических) элементов $e_i \in E$ из состава штатных модулей для типовой авиационной ТС. Матрица NASA (ICAO) широко известна, опубликована во многих российских изданиях и совпадает по форме со стандартом [2] для ОАО «РЖД». В SMS дана ее трактовка с позиций неопределенности информации об объектах из дискретных бинарных пространств по [4], что более удобно для практического решения задач, перечисленных выше.

Определение уровня функциональности транспортной системы в SMS производится следующим образом. По (1) необходимо искать цепи событий, образующих пути к критическим состояниям системы, при единственном условии, что прогнозируемый (предиктивный) физический результат типа аварии с серьезными последствиями зависит только от последовательности (порядка и номеров) сменяющихся событий. Поэтому мера возможности возникновения таких событий в высоконадежных системах совершенно не имеет значения в одиночных (конкретных) опытах по испытанию высоконадежных систем [6, 7]. Надежность систем и уровень функциональности не являются эквивалентными по смыслу, поскольку уровень надежности существенно зависит от степени резервирования. Однако качество функционирования совершен-

но не зависит от числа дублирующих каналов связи [7]. Очевидно, что вероятности возникновения редких рисков событий в одиночных катастрофах неизвестны, но это не имеет значения, так как их ничтожно малые значения могут быть эквивалентно заменены нечеткими переменными типа «мало», «очень редко» и проч.

Ряд других положений по SMS примерно в том же виде, что и на железнодорожном транспорте (но при новом подходе к решению проблемы редких событий, как было изложено выше), определяет категории групп опасных факторов, выявляемых в системах при идентификации опасностей с помощью МДМ (отклонение от типовых технологий, непрофессионализм, ошибки, безответственность руководителей, отсутствие должного контроля со стороны соответствующих служб движения и т. п.).

Модели опасности в ситуации с крушением поезда в московском метро (по образцу стандарта на SMS для гражданской авиации)

Предварительная оценка обстоятельств возникновения катастрофы в метро

Рассматривается возможность построения моделей опасности для ТС в ситуации [3] на основе моделей рисков и идеологии SMS и ТСБ. Следует иметь в виду, что термины из идеологии SMS типа «угроза», «проактивное, предиктивное и прореактивное управления состоянием» [1, 7], «нечеткость» ин-

формации о событиях, «инициирующие условия возникновения аварийных ситуаций», «модель опасности в системе в зависимости от вида „угрозы“ и „множества выделенных факторов“»; «риск» (без вероятностной трактовки) и другие все еще недостаточно согласованы в стандартах ГА РФ со стандартами в ОАО «РЖД», поэтому в соответствии с целью статьи будет полезно для будущих возможных дискуссий по затронутой теме обнаружить точки уязвимости в реальных системах управления движением ТС и транспортной деятельностью с позиций методов анализа рисков в SMS.

Так, неясным остается вопрос, почему в раннее утро часть поездов прошла на большой скорости через стрелку с поворотом в нужном направлении, но позже (в 9 ч 45 мин) произошло крушение, и красные светофоры не загорелись заранее с предупреждением о возникшем отказе. Можно ли парировать риски, если они идентифицированы и введены в базы данных для выработки корректирующих управлений состоянием ТС заранее, как принято в авиационных SMS?

То стечение обстоятельств, которое, например, было предварительно описано в СМИ [3], является неоправданным с позиций требований и положений по обеспечению безопасности движения ТС типа ВС, для которых разработаны SMS по нормам ИКАО, для ГА в мировом сообществе, в том числе в РФ. Из этого следует, как можно предположить, что прототип SMS в системе «ТС для метрополитена» не был создан в полном объеме. Не была разработана методология менеджмента риска в бизнес-проектах на эксплуатационную деятельность с учетом проактивного управления риском при типовых моделях опасности с учётом идентифицируемых факторов опасности и последовательностью событий, ведущих к катастрофам в ТС для метрополитена.

В этом плане интересна практика ремонтов ВС в ГА с выявлением критических элементов, определяющих безопасность применения техники по показателям функциональности (и надежности), как описано выше. Например, одним из критических элементов ВС является руль высоты и детали его присоединения к приводам системы управления (и к штурвалу). На ремонтных заводах ГА принято представлять, согласно стандартам, фотографию болтов крепления отремонтированного



ФОТО: СЕРГЕЙ ГОРНИН

узла с показом завинченных гаек и их фиксаторов в виде шплинтов. Подобное фото дается в качестве обязательного дополнения к акту приемки готового изделия, чтобы достоверно доказать качество выполнения предписанных операций. Указанный подход однажды позволил снять обвинение в причастности российской стороны к катастрофе в Китае с ВС ТУ-154 по факту отказа рулевого управления. Китай дополнительно проводил внеплановый ремонт на своих предприятиях, но никаких требуемых по инструкции фотографий о выполненных работах представить не смог.

Оценка последствий в катастрофической цепи событий при крушении поезда метро

Трудно признать оправданной по непредвиденным (роковым) обстоятельствам ситуацию с катастрофой поезда в метрополитене по причине того, что критические элементы стрелки, такие как острия, оказались в неверном положении из-за отказа (или неисправности) механизма перевода стрелок. В результате этого поезд при скорости движения примерно 70 км/ч не повернул в нужный тоннель, а последовал прямо по ходу движения в направлении, где не было никаких путей, столкнулся с препятствием, и произошло крушение.

Первоначально было объявлено, что «почему-то» было произведено экстренное торможение [3]. Расстояние от стрелки до препятствия было небольшим, и торможение движения произошло довольно резко вследствие гашения скорости поезда и потери имеющейся кинетической энергии за счет столкновения с препятствием в тоннеле. Торможение происходило в состоянии, близком по параметрам к ударному явлению с потерей большого количества движения Δq поезда в целом: $\Delta q = m \cdot V$, где m – суммарная масса поезда из 6–9 вагонов, V – скорость наезда поезда на препятствие в тоннеле.

На основе известной приближенной теории удара можно принять, что ввиду малого промежутка времени Δt вынужденного торможения поезда импульсное воздействие I_F оказалось настолько велико, что средняя на этом интервале времени сила F_n импульсной реакции стены на поезд разрушила («разрезала») первый вагон поезда, другие вагоны или сошли с рельсов, или оказались сильно поврежденными:

$$\Delta q = m \cdot V = I_F = F_n \cdot \Delta t \Rightarrow \\ \Rightarrow F_n = \Delta q / \Delta t = m \cdot V / \Delta t \Rightarrow \quad (2)$$

\Rightarrow «в пределе бесконечно большое значение F_n при $\Delta t \rightarrow 0$,

где (*) – знак скалярного умножения, (\Rightarrow) – «порождает».

Из этого следует, что недооценка значимости потери функциональных свойств критических элементов и недостаточный контроль процедур передачи в эксплуатацию таких устройств на железнодорожном транспорте, как стрелки, например, без фото должны быть скорректированы соответствующим образом с позиций обеспечения безопасности [5–7] по заданным критериям с учетом показателей приемлемых уровней рисков.

Так, в ГА все критические ситуации, подобные возникновению необнаруженной неисправной стрелки в тоннеле метро, идентифицированы для режимов посадки ВС на посадочную полосу с большой скоростью. Все ситуации с ВС внесены в БД SMS, и по ним давно определены корректирующие управления в виде непрерывного резервированного мониторинга состояния перед посадкой каждого ВС и днем и ночью с использованием вышки диспетчера для визуального контроля и различных автоматических технических средств, дающих сигналы обратной связи и диспетчеру, и экипажу ВС. В основу подобной системы заложен принцип проверки существования свойств функциональности («без вероятностей») и ранжирование значимости рисков возникновения недопустимых ущербов при жестком условии, что вероятность рисковогособытия «практически ноль».

Главным является индекс риска и серьезности опасности в нечеткой шкале оценок типа «недопустимо появление любых помех движению ВС ни при каких условиях». В похожих условиях работает и оператор поезда метро в темном тоннеле: приходится верить, что движение поезда происходит в штатном режиме, светофоры все держат под контролем, скорость снижать нельзя, чтобы не уменьшать производительность линии. Возможно, для метрополитена только полная автоматизация мониторинга состояния безопасности пути и управления поездом является глобальным корректирующим управлением рисков возникновения негативных последствий на множестве поражающих факторов, как это обеспечивается в ГА с помощью авиационной SMS. Од-

нако для этого применительно к железнодорожному транспорту, возможно, должны быть приняты некоторые из положений, рассмотренные выше.

При этом удается оценить некорректность терминов типа «парирование рисков» и т. п., рассматриваемых в неавиационных системах управления безопасностью. Действительно, согласно [1, 2], приходится «парировать вероятность», так как «риск – это вероятность». Между тем, по определению данного показателя, парировать вероятность нельзя. Парировать можно только последствия от событий или возмущений, т. е. будет целесообразным рассматривать и этот аспект управления рисками, который предложен в авиационной SMS.

Видимо, на метрополитене еще не создана современная система управления безопасностью движения типа SMS [5]. Проактивное и предиктивное управления безопасностью, как рекомендовано в стандартах ОАО «РЖД» [2], пока не осуществляются в необходимом объеме, и базы данных по моделям оценки риска возникновения крушений и катастроф с идентификацией факторов опасности – явных и скрытых – полностью не созданы.

Известно, что в практике деятельности ОАО «РЖД» стрелочные механизмы и участки переездов на пересечениях железнодорожных путей с другими путями отнесены к критическим объектам. Изданы, как было сказано выше, соответствующие стандарты ([1, 2] и др.). Эти подходы целесообразно применить и при создании образца SMS для такой системы железнодорожного транспорта, как метрополитен. Может оказаться полезной и схема ранжирования рисков, как принято в SMS для ГА в модулях типа «идентификация опасностей и факторов рисков» [4], и «культура безопасности» [7].

Из представленного анализа вытекают возможность и необходимость создания особых таблиц опасности по типу тех, что применяются в ГА и даже в медицине [4]. В таких таблицах даются признаки факторов, порождающих негативные последствия, ранжированных по категориям или рангам возможных уровней рисков в нечетких шкалах Fuzzy Sets [4, 6, 7] типа «риск малый», «риск приемлемый», «высокий риск» и т. д.

В связи с этим и ввиду возможной полезности для СУОБТС некото-

Факторы опасности и категории рисков

Модель опасности: «стрелка (ж.д.) – препятствие»

Фактор риска: «состояние ж/д стрелки – скорость движения»

Факторы (параметры)	Категория риска					Рисковые события (при состояниях стрелки)
	1	2	3	4	5	
	Низкий риск	Умеренный риск	Значимый риск	Высокий риск	Очень высокий риск	
а) Состояние «0» – «НЕОТКАЗ» б) скорость (м/с)	«0» 2	«0» 3	«0» 5	«0» ≥ 10	«0» ≥ 20	Нормальное функционирование. Опрокидывание («проскок»)
а) Состояние «1» – «ОТКАЗ» б) скорость (м/с)	«1» 0,5...1,0	«1» 0,5...1,0	«1» 0,5...1,0	«1» ≥ 10	«1» > 20	Отказ. Столкновение («вибрации» «сход-рельс», «крушение»)

Примечания. 1. «Угрозы» (оперативные) в моделях опасности: «препятствия по ходу движения», «изношенность пути» и т. п. Скрытые угрозы: «изношенное оборудование ТС», «нерасчетный перепад высот рельсов на поворотах», «нестандартная SMS», неэффективные методы проактивного (и предиктивного) управления безопасностью движения по критериям уменьшения рисков с учетом выявленных статистически и проактивно факторов опасности. 2. Факторы опасности: а) «оперативные» – превышение скорости движения без учета категории риска; б) неопределенность информации об отказах и состояниях системы управления безопасностью движения (и надежности) вследствие низкой информативности, в частности, о состоянии стрелок. 3. Категории рисков – нечеткие характеристики меры опасности при неэффективном механизме (т. е. в отсутствие) оперативного контроля состояния стрелок.

рых положений из SMS ниже дается пример применения новой трактовки понятия риска (из раздела 1 – выше), что является более удобным и наглядным при разработке мероприятий по предотвращению аварий и катастроф. В таблице в качестве примера отражена модель опасности, возникшей в тоннеле метрополитена при конкретных иницирующих условиях вследствие проявления ряда факторов при имеющемся источнике опасности в виде препятствия (стены) движению и при неисправном состоянии стрелки. Диапазоны опасных значений скорости движения поезда рассчитаны в качестве примера заранее, как это принято в авиационных SMS, по формуле (2) для определения импульсного разрушающего воздействия реакции стены на поезд. В представленном примере иллюстрируется лишь общая схема возможности прогнозирования и проведения контроля скрытых и явных условий и угроз возникновения аварий и катастроф. Подобные таблицы могут быть собраны в портфели моделей опасности по типу тех, которые составляют базы данных в SMS для ГА: с автоматизированным анализом состояний транспортного комплекса метрополитена по показателям безопасности и с оценкой уровней риска возникновения на железнодорожном транспорте крушений с учетом результатов мониторинга состояний системы, в том числе с использованием рекомендаций И1.17 из [1].

Технические средства современных транспортных сетей и особенно транс-

портного комплекса метрополитена вполне позволяют внедрить в оперативную деятельность метрополитена современные подходы по проактивному и предиктивному управлению рисками возникновения аварийных ситуаций. Особенно важным представляется создание модуля «Культура безопасности», например, по аналогии с положениями [5–7].

Одна из важнейших функций такого модуля – обеспечение процедуры контроля качества ремонта и состояния критических элементов железнодорожных путей. По существу это обозначает возрождение традиций прежней административной системы, но более эффективной благодаря применению компьютерных технологий и автоматизации процедур по обработке оперативной информации с выявлением явных и скрытых угроз.

Так, в рассмотренной ситуации с неисправной стрелкой, описанной в [3], можно было бы, согласно принципу проактивного управления рисками, остряки прочно и намертво прикреплять к рельсам основного пути, поскольку другого альтернативного пути для движения поезда не существовало. Если бы все факторы возникшей угрозы были осознаны заранее, как того требуют идеология SMS [5] или административная система по И1.17 из [1], в рассмотренной ситуации даже исправная стрелка не потребовалась бы. ■

Литература

1. Свод правил СП 120.13330.2012: СНиП 32-02-2003 «Метрополитены». М., 2012.

2. Стандарт ОАО «РЖД»: СТО РЖД 1.02.033-2010. Порядок идентификации опасностей и рисков. М., 2010.
 3. ЧП в московском метро: хроника событий. URL: <http://www.rg.ru/2014/07/15/chp-site.html/>.
 4. Гипич Г. Н., Евдокимов В. Г., Куклев Е. А., Шапкин В. С. Риски и безопасность авиационных систем: моногр. М.: ИНСОФТ, 2013.
 5. Руководство по обеспечению безопасности полетов (РУБП) / пер. с англ. Doc. 9859, AN1/460. 3-е изд. / ИКАО (Монреаль), Минтранс РФ. М., 2013.
 6. Смуров М. Ю., Куклев Е. А., Евдокимов В. Г., Гипич Г. Н. Безопасность полетов воздушных судов гражданской авиации с учетом рисков возникновения негативных событий // Транспорт РФ. 2012. № 1(38). С. 54–58.
 7. SMM (Annex-19). Doc 9859 AN/474. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП). 2-е изд. ИКАО, 2012.
 8. Катастрофа с ВС «В-737» в ситуации с ВС «а/к Казань». Шереметьевский профсоюз летного состава (ШПЛС). Казань. URL: [http://www.mak.ru/\(17.11.2013\)](http://www.mak.ru/(17.11.2013)).
 9. Куклев Е. А., Михальчевский Ю. Ю., Смуров М. Ю. Динамическое моделирование сценариев возникновения рисков событий при полетах ВС в режиме «Ухода на второй круг» // Науч. Вестн. МГТУ ГА. 2014. № 210.
 10. ECAST – Component of ESSI, European Strategic Safety Initiative. Руководство по идентификации опасности – методы динамического моделирования (МДМ). 2012.