



Шульц В. Л., Кульба В. В., Шелков А. Б., Чернов И. В. ————— ■

МЕТОДОЛОГИЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБЪЕКТОВ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА НА ОСНОВЕ ИНДИКАТОРНОГО ПОДХОДА

Аннотация: Работа посвящена изложению результатов исследования проблем обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте. Рассмотрены основные группы рисков, угроз и структурных уязвимостей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (ОИЖТ). Изложены результаты разработки методов моделирования и анализа развития нештатных ситуаций на ОИЖТ на основе построения структурных компонент и матриц взаимосвязи, а также моделей их предупреждения с использованием индикаторного подхода. Приведены постановка и методы решения многокритериальной задачи оптимального размещения индикаторов в структуре сложных технических систем по критериям полноты, точности и своевременности обнаружения отказов различного типа.

Ключевые слова: Безопасность, управление, железнодорожный транспорт, структурная уязвимость, угроза, нештатная ситуация, чрезвычайная ситуация, сложная техническая система, индикаторный подход, таблица решений.

Review: The article provides the study results of the problems regarding security guarantees in railway transportation. The authors view the key groups of risks, threats and structural vulnerabilities of the infrastructure objects for railway transportation. The authors then provide the results of modeling methods development and analysis of development of emergency situations at the railway transportation infrastructure objects based upon the formation of structural components and interrelated matrixes, as well as prevention models using the indicator approach. The authors provide the methods for setting and solving of the multi-criteria problem for the optimum placement of indicators within the complicated technical system structures, based upon the criteria of accuracy, completeness, timeliness for detecting failures of various types.

Keywords: technical sciences, management, railway transportation, structural vulnerability, threat, emergency situation, critical emergency, complicated technical system, indicator approach, table of solutions.

Введение

Эффективное функционирование железнодорожного транспорта Российской Федерации играет исключительную роль в создании условий для модернизации, перехода на инновационный путь развития и устойчивого роста национальной экономики, обеспечивает необходимые условия для обеспечения лидерства России в мировой экономической системе.

От состояния, безопасности и качества работы железнодорожного транспорта зависят не только перспективы дальнейшего социально — экономического развития, но также возможности государства эффективно выполнять такие важнейшие функции, как защита национального суверенитета и безопасности страны, обеспечение потребности граждан в перевозках, создание условий для выравнивания уровня развития регионов.

Целью настоящей статьи является разработка методологии и на ее основе интегрированной информационно — управляющей системы транспортной безопасности ОАО «РЖД» в соответствии с требованиями Федерального Закона Российской Федерации от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности». Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 11–07–13131 офи–м–2011–РЖД.

1. Анализ угроз и структурных уязвимостей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта

Как и любая транспортная система, железнодорожный транспорт представляет потенциальную опасность для человека. Основными особенностями железнодорожного транспорта являются:

- концентрация большого количества пассажиров в пригородных и поездах дальнего следования;

- высокие скорости перевозок пассажиров и грузов на магистральных линиях;
- уязвимость для проведения террористических актов на путях, подвижном составе, пассажирских и грузовых станциях;
- большие объемы перевозок и высокая концентрация опасных грузов на узловых станциях (воспламеняющиеся газы, горючие жидкости, токсичные и высокотоксичные вещества, окисляющие вещества, взрывчатые вещества, радиоактивные вещества, боеприпасы и оружие и т. п.);
- наличие большого количества пересечений с автомобильными дорогами в одном уровне;
- огромная протяженность магистральных линий, удаленность значительной их части от населенных пунктов и автодорог.

Перечисленные особенности вызывают особую тяжесть последствий аварий, катастроф и стихийных бедствий на железнодорожном транспорте, которая обусловлена слабой предсказуемостью мест их возникновения, комплексным характером последствий и наличием вторичных факторов риска, затрудненностью и большим временем доступа сил и средств ликвидации последствий к очагу чрезвычайной ситуации^{1 2}.

В настоящее время в условиях увеличивающейся интенсивности различного рода

¹ Гладков Ю.М., Косяченко С.А., Шелков А.Б. Методы определения дислокации опорных пунктов сил и средств для ликвидации последствий пожаров, аварий, катастроф и стихийных бедствий на железнодорожном транспорте. // Труды IX Международной конференции по проблемам управления безопасностью сложных систем. - М.: ИПУ РАН. 2001.

² Косяченко С.А., Шелков А.Б. Структурные исследования проблем безопасности на железнодорожном транспорте. // Сборник докладов Международной научной конференции «Проблемы регионального и муниципального управления». – М.: РГГУ, 2012.

угроз и резкого изменения экономического механизма функционирования объектов РЖД и всей системы в целом особую актуальность приобретает разработка концептуальных и методологических основ анализа и повышения эффективности систем обеспечения безопасного функционирования железнодорожного транспорта.

По уровню рисков, технической сложности, потенциальной опасности и функциональной значимости объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта условно можно подразделить на объекты технического регулирования, опасные производственные объекты и критически важные объекты¹.

При анализе рисков для каждой категории объектов предлагается исходить из трехкомпонентной системы их взаимодействия с факторами внешней среды:

1. взаимодействие с человеком (социальный фактор);
2. взаимодействие с производственным процессом (техногенный фактор);
3. взаимодействие с окружающей средой (природный фактор).

В утвержденной Правительством РФ Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года² определены основные группы рисков его функционирования: операционные, макроэкономические, техногенные, социальные, природно — климатические и ряд других. Данные риски определяют, в свою очередь, совокупность угроз и структурных уязвимостей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта (ОИЖТ).

¹ Концепция единой технической политики ОАО «РЖД» (утв. 18 июля 2009 г.). - <http://doc.rzd.ru/>.

² Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-п). - <http://doc.rzd.ru/>.

Совокупность объектов железнодорожного транспорта, характеристики которых существенно влияют на интегральный уровень безопасности функционирования железных дорог включает: формы собственности и характеристики системы управления, железнодорожные пути общего и других видов пользования, железнодорожные станции, устройства электроснабжения, сети связи, системы сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ), информационные комплексы и системы управления движением, железнодорожный подвижной состав, а также технологические процессы, формирующие перевозочный процесс.

Существенным для данной системы являются отношения подчиненности, так как именно они определяют направление, последовательность и приоритеты разработки технических регламентов функционирования ее элементов, а также используемые модели и методы обеспечения их безопасности. Поэтому, чтобы обеспечить заданный уровень безопасности для ОИЖТ более высокого уровня, необходимо обеспечить соответствующие значения параметров безопасности составляющих его объектов и их функциональных взаимосвязей.

В соответствии с техническими регламентами³ уровень безопасности объектов железнодорожного транспорта определяется подтвержденными значениями показателей безопасности функциональных подсистем и процесса перевозки, а последние — соответствующими параметрами безопасности составляющих их элементов.

Эксплуатационная безопасность железнодорожного транспорта определяется как состояние защищенности жизни и здоровья

³ Специальный технический регламент «О безопасности железнодорожного транспорта и связанной с ним инфраструктурой». Проект. Шифр проекта «РТР-032». - <http://www.amrror.ru/>.

людей, жизненно важных интересов общества и государства от опасностей и угроз, возникающих в процессе функционирования железных дорог. В соответствии с этим безопасное функционирование такой сложной технико — технологической системы, как железнодорожный транспорт, определяется качеством (степенью) их парирования, которое со стороны государства обеспечивается созданием нормативно — правовых регуляторов, организационных механизмов, моделей и методов обеспечения безопасности функционирования железных дорог. Таким образом, чтобы эффективно управлять процессом обеспечения эксплуатационной безопасности железнодорожного транспорта, необходимо точно и однозначно установить те процессы и объекты управления (включая их характеристики), которые являются потенциальными источниками опасностей и угроз, и затем обеспечить эффективное управление ими с целью осуществления в необходимых объемах и с достаточным уровнем безопасности перевозок грузов и пассажиров.

Проведенный анализ нормативно — правового обеспечения процессов управления эксплуатационной безопасностью объектов железнодорожного транспорта показал, что в настоящее время одним из основных его недостатков является отсутствие рекомендаций по разработке моделей и методов анализа процессов возникновения чрезвычайных, нестандартных и аварийных ситуаций на ОИЖТ, а также по выбору способов снижения тяжести отрицательных последствий их возникновения и обеспечения необходимых уровней отказоустойчивости, живучести и общей безопасности функционирования ОИЖТ.

Анализ ключевых факторов риска, несущих в себе различного рода угрозы безопасности ОИЖТ, позволил их сгруппировать в иерархический ряд поколений (фактор каждого верхнего уровня является порождающим для

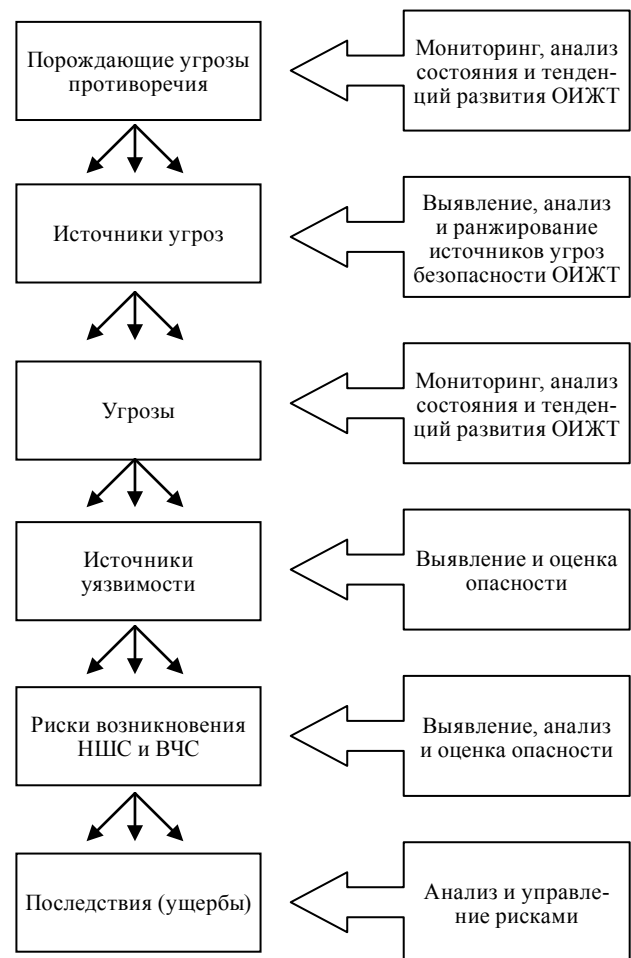


Рис. 1. Группировка факторов безопасности ОИЖТ. (ОИЖТ — объекты инфраструктуры железнодорожного транспорта, НШС — нештатная ситуация, ВЧС — внезапная чрезвычайная ситуация).

ряда факторов следующего). Онтология групп рисков функционирования ОИЖТ представлены на рис. 1¹.

Не ставя своей целью разработку полной и всеобъемлющей классификации конкретных угроз безопасности железнодорожного транспорта, ограничимся перечислением лишь

¹ Кульба В.В., Косяченко С.А., Шелков А.Б. Методология исследования проблем обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте // Управление большими системами. 2012. Специальный выпуск 38 «Проблемы управления на железнодорожном транспорте». - <http://ubs.mtas.ru/upload/library/ubs3801.pdf>.

наиболее типичных из них, реализация которых приводит к сходам подвижного состава, крушению поездов, железнодорожным авариям или катастрофам.

1. Путь и путевое хозяйство:

- повреждения пути или неисправности путевого хозяйства в результате ненадлежащего технического обслуживания (наличие острodefектных рельсов, имеющих выколы головки, поперечный излом, трещины, выбоины или недопустимый вертикальный (боковой) износ; уширение или сужение пути; недопустимые отступления по уровню или перекосы; резко выраженные углы, угон и выбросы пути; вертикальный и боковой уступы в рельсовых стыках либо недопустимая величина стыкового зазора; ослабление рельсовых скреплений; изношенность, кустовая гнилость или оседание шпал и др.);
- неисправности стрелочных переводов (неплотное прилегание, разъединение стрелочного остряка и рамного рельса, недопустимое понижение наружной нити по отношению к внутренней (обратное возвышение) и др.);
- дефекты балластного слоя (наличие просадок, пучин, оползней, разжижений, так называемых «балластных корыт» и т.п.);
- повреждения пути в результате стихийных бедствий, в том числе:
 - разрушение участков путей в результате землетрясения;
 - подмывания грунтов (балластного слоя) водными потоками или в результате наводнения;
 - разрушение пути в результате схода селей, грунтовых обвалов, оползней, схода снежных лавин и т.п.;
 - падение деревьев на пути в результате ураганов, торнадо и т.п.;
 - разрушение путевого хозяйства под воздействием природных пожаров;

- умышленное разрушение или повреждение путевых сооружений или верхнего строения пути (рельсов, шпал, рельсовых скреплений) в результате терактов (подрыва путей, разболчивания рельсовых звеньев и т.п.) или актов вандализма;
- оставление на железнодорожных путях предметов и иных препятствий, создающих помехи движению поездов;
- падение на путь деталей подвижного состава;
- нарушение правил безопасного проезда железнодорожных переездов автомобильным или гужевым транспортом;
- нарушение правил прогона скота через железнодорожные пути.

2. Системы энергоснабжения, СЦБ и связи, диспетчерские службы:

- обрыв контактной сети под воздействием неблагоприятных метеорологических условий (вызывающий падение деревьев сильный ветер, обледенение и т.п.) или техногенных аварий;
- внезапное прекращение подачи электроэнергии как следствие выхода из строя питающих линий, постов секционирования или тяговых подстанций в результате короткого замыкания в сети, разрушения средств релейной защиты, перегрузки и верного отключения внешних источников электропитания и т.п.;
- технические неисправности устройств СЦБ и связи (отказ в работе автоматической блокировки, централизации стрелок и сигналов и т.п.);
- отказ систем автоматической блокировки, централизации стрелок и сигналов в результате несогласованности схем электропитания контактной сети и линий СЦБ и связи, а также их необеспеченности резервным питанием;
- ложное появление разрешающего показания на светофоре вместо запрещающего

в результате сбоя системы автоблокировки и сигнализации;

- прием поезда на занятый путь или отправление на занятый перегон;
- приём или отправление поезда по неподготовленному маршруту.

3. Подвижной состав:

- проезд запрещающего сигнала светофора или предельного столбика;
- превышение скорости движения состава;
- отказ тормозной системы подвижного состава;
- пожар пассажирского подвижного состава в пути следования;
- самопроизвольный уход подвижного состава на маршруты приёма или отправления поездов или на перегон;
- превышение предельно допустимого веса груза товарного вагона;
- развал груза в пути следования состава;
- возгорание или взрыв пожаровзрывоопасных грузов в пути следования, при выполнении маневровых работ, экипировке и других передвижениях или при стоянке на грузовой станции;
- самопроизвольное высвобождение из вагонов или контейнеров (высыпание, разлив или выброс в атмосферу) агрессивных, ядовитых или иных опасных веществ, материалов, изделий или отходов (грузов);
- излом и другие повреждения ходовой части подвижного состава (оси колесной пары, осевой шейки, боковой рамы или наддрессорной балки тележки вагона, рессорных комплектов, кронштейнов и др.);
- отцепка вагона от пассажирского поезда в пути следования из-за обрыва автосцепки подвижного состава или иных технических неисправностей;
- отцепка вагона от грузового поезда в пути следования из-за перегрева буксы или иных технических неисправностей.

Проведенный анализ угроз и структурных уязвимостей ОИЖТ позволил разработать методы моделирования и анализа развития нештатных ситуаций в системе железнодорожного транспорта с использованием аппарата теории матриц и индикаторного подхода.

2. Методы моделирования и анализа процессов развития нештатных ситуаций на основе построения структурных компонент и матриц взаимосвязи

Одним из развитых общих средств предварительного анализа множества возможных альтернативных решений или реакций системы управления сложными техническими или социальными объектами железнодорожного транспорта на различные условия внутренней и внешней среды являются таблицы решений (ТР).

При составлении таблиц решений, описывающих условия и правила их принятия при управлении ОИЖТ в условиях возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций, предполагается, что набор действий системы управления детерминирован и определяется набором значений конечного числа ее входных параметров или условий функционирования, каждое из которых может принимать одно из конечного множества значений. Таким образом, функционирование системы описывается вектором — функцией, где R — вектор входных параметров (условий), A — вектор выходных параметров (действий).

Таблицы решений оказываются весьма удобными при анализе и принятии решений в так называемых состязательных ситуациях, т. е. в условиях детерминированных или случайных отклонений в функционировании ОИЖТ, связанных с нештатными ситуациями различного типа.

На основе результатов анализа выявленных отклонений формируется множество возможных альтернативных действий, из которых выбирается подмножество альтернатив, наи-

более эффективных в смысле максимального влияния на процесс восстановления нормального функционирования ОИЖТ.

Для решения комплекса рассматриваемых задач разработана классификация нештатных ситуаций (НШС) на ОИЖТ с точки зрения степени готовности системы управления и технических служб железных дорог к ликвидации последствий возникновения внезапных чрезвычайных ситуаций (ВЧС), которая иллюстрируется рис. 2^{1 2}.



Рис.2. Классификация нештатных ситуаций

Чрезвычайная ситуация на ОИЖТ определяется как неблагоприятное сочетание факторов и событий, создающих угрозу жизни людей, нарушающих условия их нормальной жизнедеятельности.

Нештатная ситуация определяется как непредусмотренное программой или регламентом штатного функционирования состояние ОИЖТ, их составных частей и элементов, включая путевое хозяйство и станции, грузовые и пассажирские поезда, вокзальные и иные помещения, оборудование, обслуживающий персонал и обслуживаемое население и т. д.

Аварийные ситуации определяются как ситуации, следствием которых являются полное или частичное разрушение ОИЖТ или его отдельных частей, а также угроза ухудшения

здоровья или гибели обслуживающего персонала и обслуживаемого населения.

Рассмотренные НШС — это нештатные ситуации в процессе эксплуатации ОИЖТ, возможность возникновения которых была выявлена в процессе их проектирования и создания, и которые внесены в конструкторскую и эксплуатационную документацию, а также в регламенты функционирования зданий и сооружений ОИЖТ.

Нерассмотренные — это такие НШС, анализ которых не мог быть проведен или не проводился в проектный период и которые не содержатся в конструкторской и эксплуатационной документации, а также в регламентах функционирования зданий и сооружений ОИЖТ.

Прогнозируемые — это такие НШС в процессе эксплуатации ОИЖТ, способы и средства выхода из которых предусмотрены и внесены в конструкторскую и эксплуатационную документацию, а также в регламенты функционирования зданий и сооружений ОИЖТ.

Непрогнозируемые — это НШС, причиной возникновения которых являются отказы, приводящие к нерасчётным или неопределённым условиям эксплуатации. Выходы из таких НШС не гарантируются с помощью разработанных способов и средств, но для них могут быть предусмотрены мероприятия, снижающие риск и повышающие отказоустойчивость и живучесть ОИЖТ.

Проведенный анализ показывает, что одним из характерных проявлений НШС является появление соответствующих индикативных данных о состоянии элементов ОИЖТ, моделируемых с использованием теории графов и аппарата теории матриц

Содержательно, основная задача анализа и предупреждения ВЧС в рамках предлагаемой методологии состоит в определении матриц предшествования и достижимости для конкретного элемента ОИЖТ, который может

¹ Архитова Н.И., Кульба В.В. Управление в чрезвычайных ситуациях. — М.: РГГУ, 1998.

² Кульба В.В., Кононов Д.А., Косяченко С.А., Кочкаргов А.А., Сомов Д.С. Использование сценарного и индикаторного подходов для управления живучестью, стойкостью и безопасностью сложных технических систем. / Научное издание. — М.: ИПУ РАН, 2011.

находиться в ненормированном, близком к от- казу состоянии^{1,2}. Дальнейший анализ матрицы предшествования позволяет выявить информа- ционные элементы (причины), которые могли повлечь появление ВЧС, а анализ матрицы достижимости — взаимовлияния ВЧС и ее последствий. Рассмотрим процесс построения этих матриц, совокупность которых представ- ляет собой динамическую модель развития ВЧС на ОИЖТ.

Процесс построения матрицы достижимо- сти осуществляется в два этапа.

На первом этапе множество элементов модели ОИЖТ разделяется на отдельные под- множества, образующие ее структурные ком- поненты. Процедура разделения обеспечивает построение матрицы достижимости в блок — треугольной форме (все записи справа от глав- ной блок — диагонали не равны 1), удобной для последующего анализа структуры модели, а также ее частичное заполнение, выполняемое автоматически на основании свойства транзитивности отношения достижимости соответ- ствующих элементов. Разделение модели ОИЖТ на структурные компоненты носит итератив- ный характер. Каждая итерация процесса раз- деления состоит из нескольких частей. Первая итерация всегда содержит только одну часть; вторая итерация — до трех, в зависимости от результатов реализации первой итерации; третья — до девяти частей; n -ая итерация может иметь до частей. Каждая часть включает три одинаковых для всех итераций шага.

Рассмотрим содержание каждого шага для первой итерации процесса разделения модели ОИЖТ на структурные компоненты.

Пусть $D = \{d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_s\}$ — множество элементов модели ОИЖТ, $d_i \in D$ — элемент множества, наиболее подверженный отказам. На первом шаге первой итерации на основа- нии информации о существовании путей или взаимосвязей от элемента d_i ко всем другим элементам формируется множество дости- жимости $R^0(d_i)$ для d_i , в которое входят элементы множества D , достижимые из d_i и отличные от d_i .

На втором шаге в множестве достижимо- сти $R^0(d_i)$ выделяется подмножество элемен- тов, из которых достижим элемент d_i . Это подмножество назовем множеством обратных связей d_i и обозначим $F(d_i)$. Элементы мно- жества $F(d_i)$ являются элементами множества замкнутых циклов, включающих элемент d_i .

Третий шаг заключается в разбиении множества элементов $D - R^0(d_i) - d_i$ на два подмножества — предшествования для d_i и вакансий d_i . На основании данных о су- ществовании направленных путей от элемен- тов множества $D - R^0(d_i) - d_i$ к элементу d_i формируется множество предшествования $A^0(d_i)$, в которое войдут все элементы из $D - R^0(d_i) - d_i$, для которых достижим элемент d_i . Остальные элементы $D - R^0(d_i) - d_i$, т.е. элементы, не связанные с d_i , войдут в множе- ство вакансий $V(d_i)$ для элемента d_i .

Таким образом, множество D в результате разделения на элементе $d_i \in D$ разбивается на следующие пять подмножеств:

$$R^0(d_i) - F(d_i); F(d_i); d_i; V(d_i); A^0(d_i)$$

Если каждое из множеств $R^0(d_i) - F(d_i)$; $V(d_i)$ или $A^0(d_i)$ приведенного выше разделения пусто или состоит из одного элемента, то последующих итераций разделе- ния не потребуется. В противном случае ка- ждому из названных множеств, содержащему

¹ Информационное обеспечение систем организацион- ного управления (теоретические основы). В 3-х частях. Часть 2. Методы анализа и проектирования информа- ционных систем. / Под ред. Е.А. Микрина и В.В. Кульбы. - М.: Изд-во физ.-мат. лит., 2011.

² Кузнецов Н.А., Кульба В.В., Ковалевский С.С., Косяченко С.А. Методы анализа и синтеза модульных информа- ционно-управляющих систем. - М.: - Изд-во физ.-мат. лит., 2002.

		$R^0(d_i)$											
		$F(d_i)$						$V(d_i)$			$A^0(d_i)$		
					d_i								
$R^0(d_i)$	$F(d_i)$	$M_{(R^0-F)(R^0-F)}$	Заполнено выведенными нулями		0	Заполнено выведенными нулями			Заполнено выведенными нулями		Заполнено выведенными нулями		
			0	...	0								
	d_i	Заполнено выведенными единицами		Заполнено выведенными единицами		1			0 0 0 ... 0 0				
		1	1	1	...	1							1
$V(d_i)$	$M_{V(R^0-F)}$		Заполнено выведенными нулями		0	M_{VV}				Заполнено выведенными нулями			
	0	0	...	0									
$A^0(d_i)$	Заполнено выведенными единицами				1	M_{A^0V}				$M_{A^0A^0}$			
	1	1			...							1	

Рис. 3. Структура матрицы достижимости

более одного элемента, будет соответствовать одна часть разделения второй итерации. При этом множество $R^0(d_i) - F(d_i); V(d_i)$ или $A^0(d_i)$ разделяется на произвольно выбираемом в нем элементе подобно тому, как производилось разделение множества D на первой итерации.

На третьей итерации разделения рассматриваются все множества, состоящие более чем из одного элемента, аналогичные множествам $R^0(d_i) - F(d_i); V(d_i); A^0(d_i)$ первой итерации и т.д. Такой итеративный процесс упорядочивания множества элементов модели возможного развития ВЧС продолжается до тех пор, пока в результате не будут получены пустые или состоящие из одного элемента множества, аналогичные множествам $R^0(d_i) - F(d_i); V(d_i); A^0(d_i)$ первой итерации. Число итераций разделения на элементах конечно, как конечно число S элементов множества D и не может превышать $S - 1$.

Разделение множества элементов D на элементах $d_i \in D$ соответствует заполнению в матрице достижимости строки и столбца, проиндексированных этим элементом, и позволяет выделить в ней тринадцать подматриц, как показано на рис. 3, восемь из которых заполняются на основании свойства транзитивности отношения достижимости элементов. Все записи подматрицы, проиндексированной $R^0(d_i), V(d_i)$, должны быть нулями, т.е. ни один элемент из $V(d_i)$ не достижим ни из какого элемента множества достижимости $R^0(d_i)$, т.к. в противном случае в множестве вакансий были бы элементы, достижимые из элемента d_i , что противоречит определению множества $V(d_i)$. Все записи подматрицы, проиндексированной $R^0(d_i), A^0(d_i)$, также должны быть нулями, т.к. в противном случае существовали бы направленные пути от d_i к элементам множества предшествования $A^0(d_i)$, что противоречит определению множества $A^0(d_i)$. Нулевыми

записями заполняется и матрица, проиндексированная $V(d_i), A^0(d_i)$, т.к. в противном случае существовали бы направленные пути от элементов множества вакансий к элементу d_i , что противоречит определению множества вакансий. Подматрица, проиндексированная $R^0(d_i) - F(d_i), F(d_i)$, должна быть заполнена нулевыми записями, т.к. в противном случае элементы множества $R^0(d_i) - F(d_i)$ должны принадлежать множеству обратных связей. Записи подматрицы, проиндексированной $V(d_i), F(d_i)$, также должны быть нулями, т.к. в противном случае элемент d_i был бы достижим из элементов множества вакансий $V(d_i)$.

Подматрицы, проиндексированные $F(d_i), R^0(d_i) - F(d_i)$ и $F(d_i), F(d_i)$ заполняются единичными записями, поскольку существуют направленные пути от любого элемента множества обратных связей $F(d_i)$ к d_i и от d_i ко всем элементам множества достижимости $R^0(d_i)$, включая множество обратных связей. Существование направленных путей от любого элемента множества предшествования $A^0(d_i)$ к элементу d_i и от d_i ко всем элементам множества достижимости $R^0(d_i)$, определяет заполнение подматрицы, проиндексированной $A^0(d_i), R^0(d_i)$ единицами.

Подматрицы $M_{(R^0-F)(R^0-F)}, M_{A^0A^0}, M_V$, расположенные вдоль главной диагонали матрицы достижимости и соответствующие структурным компонентам модели, сами могут быть интерпретированы как матрицы достижимости элементов, образующих множества индексов для этих матриц. Поэтому для определения записей $M_{(R^0-F)(R^0-F)}, M_{A^0A^0}, M_V$ каждая из этих матриц также разделяется на произвольном элементе множества своих индексов, если, конечно, такое множество содержит более одного элемента. Это разделение осуществляется на второй итерации процесса. Если в результате второй итерации вдоль главных диагоналей названных матриц имеются незаполненные подматрицы, аналогичные

$M_{(R^0-F)(R^0-F)}, M_{A^0A^0}, M_V$ с множеством индексов, состоящим более, чем из одного элемента, то дальнейшее упорядочивание множества элементов модели осуществляется на третьей итерации и т.д.

Такой процесс разбиения множества элементов позволяет определить все записи матрицы достижимости, кроме записей в подматрицах типа $M_{V(R^0-F)}, M_{A^0V}$ на первой итерации и в аналогичных им подматрицах, получаемых в результате каждой последующей итерации. Каждая из этих подматриц, которые будем называть матрицами взаимосвязи, описывает взаимосвязь двух соответствующих структурных компонент модели ВЧС с точки зрения отношения достижимости элементов этих компонент. Заполнение всех матриц взаимосвязи осуществляется на втором этапе конструирования матриц достижимости.

Взаимосвязи между парами структурных компонент модели развития ВЧС и соответствующими им подграфами носят каскадный характер, т.е. возможна только односторонняя связь между множеством элементов одной компоненты модели и множеством элементов другой. Например, на любой итерации первого этапа построения матрицы М взаимосвязи элементов множества предшествования с элементами множества вакансий могут быть направлены только от элементов первого множества к элементам второго, а взаимосвязи элементов множества, образованного вычитанием множества обратных связей из множества достижимости, с элементами множества вакансий — только от элементов второго множества к элементам первого.

Заполнение матриц взаимосвязи осуществляется на втором этапе построения матрицы достижимости на основе составления и решения логического уравнения специального типа, которое назовем характеристическим. Оно составляется следующим образом. Для каждой пары компонент и соответству-

ющих им подграфов A^* и B^* взаимосвязи устанавливаются в результате заполнения матрицы M_{BA} . Пусть все взаимосвязи направлены от A^* к B^* (следовательно, $M_{AB}=0$); матрицы достижимости M_{AA} и M_{BB} компонент A^* и B^* являются подматрицами матрицы достижимости M и определяются в результате разделения на элементах на первом этапе построения матрицы достижимости M . Если M_{AA} и M_{BB} содержат матрицы взаимосвязи, то они заполняются в соответствии со специально разработанным для этой цели алгоритмом¹.

Будем считать, что орграфы A^* и B^* не содержат циклов, и следовательно, главные блок — диагонали матриц M_{AA} и M_{BB} не имеют подматриц, заполненных единицами. Такой вид достигается переходом к матрицам и графам конденсации для заданных матриц достижимости.

Характеристическое уравнение выражает необходимые и достаточные условия, которым должны удовлетворить элементы матрицы взаимосвязи M_{BA} , связывающей два орграфа A^* и B^* в единый орграф C^* с матрицей достижимости M_{CC} .

Каждое решение характеристического уравнения определяет содержание одной из возможных матриц взаимосвязи M_{BA} , которая отражает взаимосвязи орграфов A^* и B^* .

Таким образом, в результате анализа матриц предшествования выявляются причины возникновения НШС, а матриц достижимости — их последствия для объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта.

¹ Кульба В. В., Кононов Д. А., Косяченко С. А., Кочкаров А. А., Сомов Д. С. Использование сценарного и индикаторного подходов для управления живучестью, стойкостью и безопасностью сложных технических систем. / Научное издание.— М.: ИПУ РАН, 2011.

3. Модели и методы предупреждения негативных и аварийных ситуаций на основе использования IT-технологий и индикаторного подхода

Многообразие различного рода угроз и структурных уязвимостей объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта приводит к необходимости создания концептуальных и методологических основ проектирования структуры, а также разработки методов анализа и повышения эффективности системы обеспечения его безопасного функционирования. Эффективное решение рассматриваемых проблем невозможно без создания единого информационного пространства, а также разработки и внедрения интегрированной автоматизированной информационно — управляющей системы транспортной безопасности (АИУС ТБ), которая должна представлять собой распределенную многоуровневую информационно — аналитическую систему поддержки принятия решений с целью повышения эффективности управления риском.

Основными проблемами, которые необходимо решать в рамках данной концепции являются следующие:

- анализ предметной области, выявление и предварительная оценка рисков возникновения техногенных, а также иных типов катастроф и чрезвычайных ситуаций;
- выявление критических элементов предметной области, обладающих высоким риском возникновения техногенных катастроф и чрезвычайных ситуаций;
- формирование динамических моделей предметной области, включая ее описание в форме, пригодной для анализа с целью принятия решений по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций;
- создание системного аппарата изучения и управления поведением сложных систем,

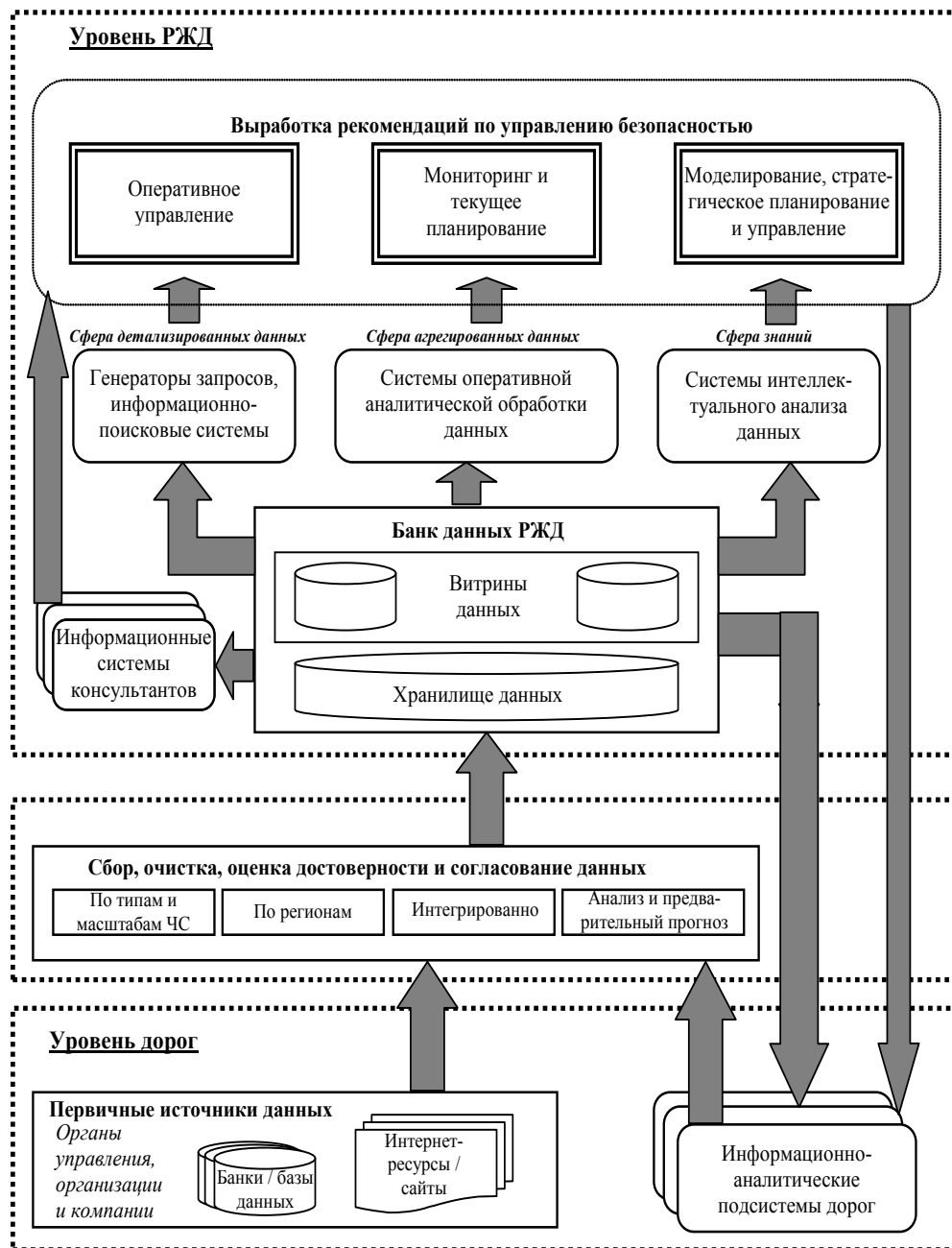


Рис. 4. Архитектура системы управления безопасностью

объединяющего все аспекты указанной проблематики — от методологических до практических;

- создание формальной методологии использования индикаторного подхода для предупреждения НШС.

Представленные выше проблемы предполагается решать в рамках распределенной

многоуровневой информационно — аналитической системы, архитектура которой, а также применяемые информационные технологии решения комплексов функциональных задач приведены на рис. 4 и 5 соответственно.

Одной из важнейших проблем, решаемых в процессе проектирования технических систем большой сложности, является пробле-

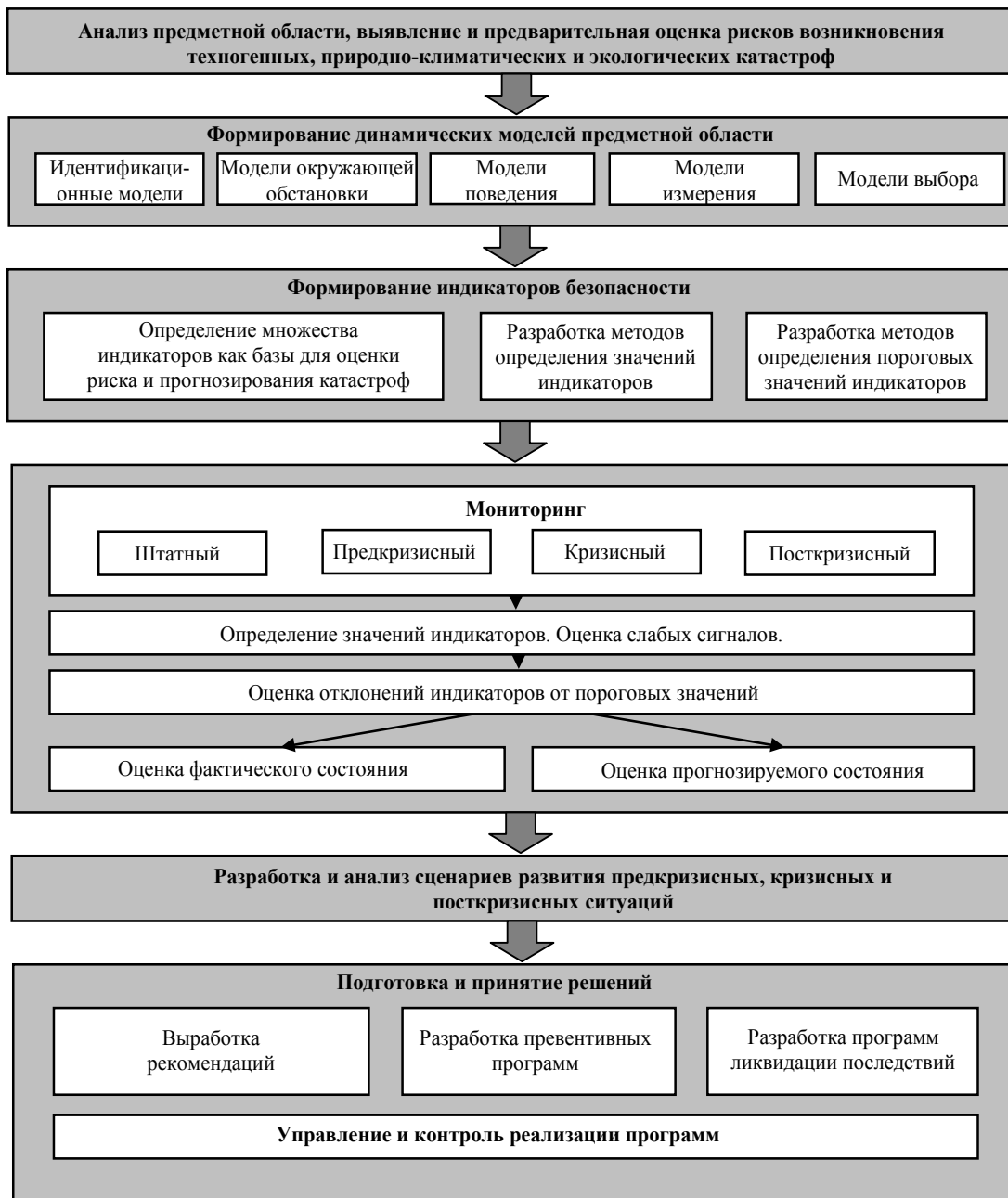


Рис. 5. Технология управления безопасностью

ма обеспечения безопасности, надежности и устойчивости функционирования системы, в том числе при наличии внешних или внутренних угроз, а также вызванных ими возмущений и неисправностей в системе. В особенности это важно для сложных технических систем (СТС) железнодорожного транспорта, непосредственно контактирующих с большим числом

людей и в случае различных неисправностей и нештатных ситуаций связанных с риском и опасностью для их здоровья и жизни. К таким системам можно отнести подвижной состав железнодорожного транспорта, инфраструктуру, здания, сооружения и другие объекты.

При воздействии угроз и возмущений необходимо предоставление своевременной

и точной информации о происходящих в системе процессах, угрозах, возмущениях, а также их возможных последствиях машинисту, оператору системы или диспетчеру. В качестве элементов, регистрирующих различные параметры функционирования системы, в том числе угрозы, используются датчики. С ростом размеров систем, а также их структурной и функциональной сложности, количество контролируемых датчиками параметров неизбежно растет, что вызывает трудности при анализе их показаний оператором и, как следствие, невозможности принятия своевременного и точного управляющего решения в случае возникновения угроз штатному функционированию системы.

С целью создания эффективной системы мониторинга технической системы предлагается использовать индикаторный подход, предусматривающий включение в структуру индикаторов, показания которых передаются оператору. Для решения задачи оптимального размещения индикаторов предлагается использовать модель распространения возмущений по системе и рассмотренные выше методы анализа структурных компонент и матриц взаимосвязи.

В качестве решения данной проблемы на основе анализа структуры системы и путей распространения возмущений помимо датчиков предлагается размещать в системе индикаторы, передающие точную, своевременную, достаточную и не избыточную информацию в случае возникновения угрозы в системе, необходимую для принятия эффективного решения для выхода из сложившейся нештатной ситуации. Для синтеза такого набора индикаторов используется модифицированная графовая модель распространения возмущения по технической системе.

Пусть $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — множество элементов модели объекта, где n — их число. В произвольный момент времени

каждый элемент модели может принимать значения 0 или 1. Единица соответствует активированному состоянию (до элемента дошло возмущение), ноль соответствует неактивному состоянию. Состояние элемента a_i в момент времени t будем обозначать $a_i(t)$, а через $\bar{A}(t)$ будем обозначать вектор — строку $(a_1(t), a_2(t), \dots, a_n(t))$ состояний элементов системы. Множество датчиков образует подмножество элементов модели $A \supseteq D = \{d_1, d_2, \dots, d_{n_D}\}$, где n_D — количество датчиков. Также в системе выделяется подмножество критических элементов $A \supseteq K = \{k_1, k_2, \dots, k_{n_K}\}$. Если возмущение достигает критического элемента, система считается вышедшей из строя. Элементы модели включены в некоторый оргграф G , называемый графом взаимосвязи. Граф взаимосвязи отображает пути распространения возмущения от одного элемента модели к другому. Будем называть временем прохождения дуги положительное число, сопоставленное дуге графа взаимосвязи и означающее время, за которое возмущение перейдет из элемента модели, стоящего в начале дуги в элемент, стоящий в конце дуги. Для записи времени прохождения дуг будем использовать матрицу временных взаимосвязей M_t . Матрица M_t — это квадратная матрица $n \times n$, проиндексированная по обеим осям элементами модели. При этом в позиции (i, j) , $i, j \in \overline{1, n}$ матрицы временных взаимосвязей стоит время прохождения дуги (a_i, a_j) , если такая дуга существует, и знак бесконечности ∞ , если такой дуги нет. Назовем матрицей временных расстояний N квадратную матрицу $n \times n$, проиндексированную по обеим осям элементами модели. При этом в позиции (i, j) , $i, j \in \overline{1, n}$ матрицы временных расстояний стоит временное расстояние между вершинами a_i и a_j графа. Матрица временных расстояний является результатом применения алгоритма Флойда — Уоршелла к матрице временных взаимосвязей.

Введем ряд определений, позволяющих сформулировать оптимизационную задачу размещения индикаторов в технической системе. Подмножество индикаторов будем обозначать $I = \{i_1, i_2, \dots, i_{n_t}\}$.

Назовем множеством предшествования времени t вершины a множество всех элементов модели $Bef_i(a)$ таких, что элемент a достигим из них за время, не превышающее времени t .

Множеством последствия времени t элемента a назовем множество всех элементов модели $Aft_t(a)$, достижимых из элемента a за время, не превышающее времени t .

Под индикаторным покрытием предшествования времени t будем понимать набор множеств предшествования времени t для всех индикаторов:

$$I_t^{Bef} = \{Bef_t(i_1), Bef_t(i_2), \dots, Bef_t(i_{n_t})\}$$

Индикаторным множеством покрытия предшествования времени t будем называть объединение множеств элементов модели, входящих в индикаторное покрытие предшествования времени t , или, что то же самое, объединение множеств предшествования времени t всех индикаторов:

$$\overline{I_t^{Bef}} = \bigcup_{j=1}^{n_t} Bef_t(i_j).$$

Аналогично под индикаторным покрытием последствия времени t будем понимать набор множеств последствия времени t для всех индикаторов:

$$I_t^{Aft} = \{Aft_t(i_1), Aft_t(i_2), \dots, Aft_t(i_{n_t})\}.$$

Индикаторным множеством покрытия последствия времени t будем называть объединение множеств элементов модели, входящих в индикаторное покрытие последствия времени t , или, что то же самое, объединение

множеств последствия времени t всех индикаторов:

$$\overline{I_t^{Aft}} = \bigcup_{j=1}^{n_t} Aft_t(i_j).$$

Будем называть общим множеством покрытия предшествования набор множеств предшествования для всех индикаторов заданного для каждого индикатора времени:

$$I_T^{Bef} = \{Bef_{t_1}(i_1), Bef_{t_2}(i_2), \dots, Bef_{t_{n_t}}(i_{n_t})\}$$

, где $T = \{t_1, t_2, \dots, t_{n_t}\}$ — набор времен множеств предшествования. Аналогично вводится понятие общего индикаторного покрытия последствия:

$$I_T^{Aft} = \{Aft_{t_1}(i_1), Aft_{t_2}(i_2), \dots, Aft_{t_{n_t}}(i_{n_t})\}$$

Назовем диаметром общего покрытия максимум по всем временам набора

$$T : D(I_T^{Bef}) = D(I_T^{Aft}) = \max(t_j).$$

Аналогично покрытиям времени введем понятие индикаторного множества общего индикаторного покрытия предшествования и последствия:

$$\overline{I_t^{Bef}} = \bigcup_{j \leq n_t} Bef_t(i_j), \quad \overline{I_t^{Aft}} = \bigcup_{j \leq n_t} Aft_t(i_j).$$

Будем считать, что решением задачи размещения индикаторов является некоторое подмножество элементов модели $I \subseteq A$. Введем ограничения на множество решений и получим таким образом множество допустимых решений.

1. Количество индикаторов должно быть ограничено. Это ограничение следует из требования снизить информационную нагрузку на оператора. Математически данное ограничение можно записать следующим образом: $|I| = n_I \leq N_I$, где N_I — некоторая константа, заданная при формулировании конкретной задачи.

2. Набор индикаторов должен покрывать все возможные угрозы, известные на этапе проектирования системы. Другими словами, в терминах рассматриваемой модели, не должно быть ситуации, при которой возмущение, вызванное датчиком, достигнет критического элемента раньше, чем оно достигнет индикатора. Математическую интерпретацию данного ограничения можно записать следующим образом: $\forall d \in D : Alf(d) \cap K \neq \emptyset$
 $\exists i \in I : i \in Aft_S(d)$.

Таким образом, область допустимых решений должна удовлетворять следующим требованиям:

$$I \subseteq A,$$

$$|I| = n_I \leq N_I,$$

$$\min_{d \in D, k \in K} \left(\max_{i \in I \cap Alf(d)} (dis^t(d, k) - dis^t(d, i)) \right) \rightarrow \max_I.$$

2. Полнота покрытия. Для каждого набора индикаторов определено покрытие множества предшествования и последействия. Для того чтобы иметь возможность судить как можно более полно о возможных причинах и последствиях текущей ситуации в системе необходимо выбрать индикаторы таким образом, чтобы множество покрытия предшествования и последействия охватывало как можно большую часть элементов модели. Математически это можно записать следующим образом:

$$|\overline{I^{Alt}}| \rightarrow \max_I ; \quad |\overline{I^{Bef}}| \rightarrow \max_I.$$

3. Точность покрытия. В предыдущем критерии используется покрытие без учета времени. Но для точного определения развивающейся ситуации необходимо, чтобы индикаторы находились «близко» по времени от возмущения, движущегося по системе. Для этого необходимо, чтобы минимальный диа-

$$\forall d \in D : Alf(d) \cap K \neq \emptyset$$

$$\exists i \in I : i \in Aft_S(d).$$

Сформулируем оптимизационные критерии для поиска оптимального решения среди допустимых решений.

1. Критерий максимизации допустимого времени на принятие решения. С точки зрения безопасности функционирования системы и предупреждения выхода ее из строя необходима как можно более ранняя сигнализация об угрозе. Первый критерий оптимального решения состоит в максимизации времени, прошедшего с момента активации критического элемента до наступления критического события и в терминах и обозначениях модели записывается следующим образом:

метр покрытия предшествования или последействия, множество которого покрывает все множество покрытия предшествования I^{Bef} или последействия I^{Alt} был минимальным:

$$\min_{T: I_T^{Alt} = I^{Alt}} \left(D(I_T^{Alt}) \right) \rightarrow \min_I ;$$

$$\min_{T: I_T^{Bef} = I^{Bef}} \left(D(I_T^{Bef}) \right) \rightarrow \min_I.$$

Сформулируем задачу оптимизации размещения индикаторов.

Пусть задана модель распространения возмущения по технической системе: множество элементов модели $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, подмножество датчиков $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{n_D}\}$, подмножество критических элементов $K = \{k_1, k_2, \dots, k_{n_K}\}$. Элементы модели связаны в граф взаимосвязей G , времена прохождения дуг заданы матрицей временных взаимосвязей M .

Требуется найти такое подмножество элементов модели (множество индикаторов)

$I = \{i_1, i_2, \dots, i_{n_I}\}$, чтобы выполнялись условия:

1. $|I| = n_I \leq N_I$,
2. $\forall d \in D : Alf(d) \cap K \neq \emptyset$
 $\exists i \in I : i \in Aft_S(d)$,
3. $\min_{d \in D, k \in K} \left(\max_{i \in I \cap Alf(d)} (dis^t(d, k) - dis^t(d, i)) \right) \rightarrow \max_I$
4. $\left| \overline{I^{Alt}} \right| \rightarrow \max_I$,
5. $\left| \overline{I^{Bef}} \right| \rightarrow \max_I$,
6. $\min_{T: I_T^{Alt} = I^{Alt}} \left(D(I_T^{Alt}) \right) \rightarrow \min_I$,
7. $\min_{T: I_T^{Bef} = I^{Bef}} \left(D(I_T^{Bef}) \right) \rightarrow \min_I$.

В виду ориентированности на системы высокой структурной, функциональной и размерностной сложности, а также учитывая противонаправленность сформулированных выше критериев, точные алгоритмы решения будут выполняться, затрачивая слишком большое количество вычислительных ресурсов. Поэтому решение данной задачи предложено осуществлять с использованием комбинации различных приближенных алгоритмов, строящих решения по отдельным критериям, либо модифицирующих некоторое заранее заданное по иным критериям эффективности размещение индикаторов. Работа этих алгоритмов должна осуществляться в тесном взаимодействии со специалистами ОИЖТ, что обеспечит возможность достаточно гибкого управления соотношением данных критериев для построения вариантов размещения индикаторов, оптимальных для каждого конкретного случая. При этом, несмотря на необходимость реализации интерактивных процедур взаимодействия со специалистами ОИЖТ, предложенные алгоритмы существенно упрощают их работу

и ускоряют получение вариантов размещения индикаторов на ОИЖТ, обеспечивая достаточно высокую точность полученных результатов.

Состав индикаторов, полученный в результате решения данной задачи, позволит снизить информационную нагрузку на пользователей АИУС ТБ, не снижая эффективность мониторинга в случае наличия негативных факторов или развивающейся негативной ситуации в СТС, вызванной внешними или внутренними угрозами.

Заключение

Практическое решение задач обеспечения безопасности ОИЖТ должно осуществляться на трех уровнях: стратегическом, тактическом, оперативном.

Стратегические задачи обеспечения безопасности должны быть направлены прежде всего на ликвидацию источников уязвимости транспортной системы, либо как минимум на их ослабление. Фактически на рассматриваемом уровне должны приниматься и реализовываться стратегические, структурные и системообразующие решения, направленные на обеспечение приемлемого уровня безопасности ОИЖТ.

В рамках решения комплекса рассматриваемых задач можно выделить следующие базовые типы стратегий обеспечения безопасности:

1. ориентированные на ликвидацию источников уязвимости или в случае невозможности — на ослабление действия внешних и внутренних источников угроз;
2. ориентированные на устранение существующих или предотвращение возникновения возможных угроз (в случае невозможности воздействия на источники уязвимости);
3. нацеленные на предотвращение или снижение интенсивности воздействия существующих или возможных угроз безопасности ОИЖТ;

4. направленные на максимально возможное снижение тяжести последствий реализации угроз и компенсацию нанесенного ущерба.

Первый тип стратегии обуславливает необходимость разработки стратегических и структурных решений по обеспечению безопасности. Следующие два типа стратегий предполагают реализацию соответствующих функций управления, направленных на снижение интенсивности воздействия угроз безопасности, либо «блокирование» их источников. В четвертом случае априори предполагается неизбежность вероятного ущерба, и целью является компенсация или снижение тяжести последствий управленческими воздействиями, предусмотренными соответствующей выбранной стратегией управления. Очевидно, что стратегии четвертого типа могут разрабатываться или реализовываться применительно к ситуациям,

где ущербы принципиально восполнимы, либо объективно неизбежны, т. е. когда нет практической возможности осуществить какую — либо программу реализации прочих стратегий.

Тактический уровень предполагает решение задач, связанных с ликвидацией угроз или предотвращением их воздействия на транспортную систему. По сути, процесс обеспечения безопасности на данном уровне представляет собой комплексы превентивных мероприятий, направленных на ликвидацию угроз ОИЖТ, либо на предотвращение последствий их воздействия.

Целью решения задач обеспечения безопасности на оперативном уровне является ликвидация последствий реализации угроз. При этом результаты решения задач на рассматриваемом уровне представляют собой преимущественно комплексы оперативных мероприятий.

Библиография

1. Федеральный закон Российской Федерации от 9 февраля 2007 г. № 16-ФЗ «О транспортной безопасности». — <http://base.consultant.ru/>.
2. Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года (утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 17 июня 2008 г. № 877-р). — <http://doc.rzd.ru/>.
3. Концепция единой технической политики ОАО «РЖД» (утв. 18 июля 2009 г.). — <http://doc.rzd.ru/>.
4. Модели и методы анализа и синтеза сценариев развития социально — экономических систем: в 2-х кн. / под ред. В. Л. Шульца, В. В. Кульбы. — М.: Наука 2012.
5. Кульба В. В., Косяченко С. А., Шелков А. Б. Методология исследования проблем обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте // Управление большими системами. 2012. Специальный выпуск 38 «Проблемы управления на железнодорожном транспорте». — <http://ubs.mtas.ru/upload/library/ubs3801.pdf>.
6. Архипова Н. И., Кульба В. В. Управление в чрезвычайных ситуациях. — М.: РГГУ, 1998.
7. Кульба В. В., Кононов Д. А., Косяченко С. А., Кочкаров А. А., Сомов Д. С. Использование сценарного и индикаторного подходов для управления живучестью, стойкостью и безопасностью сложных технических систем. / Научное издание. — М.: ИПУ РАН, 2011.

8. Гладков Ю. М., Косяченко С. А., Шелков А. Б. Методы определения дислокации опорных пунктов сил и средств для ликвидации последствий пожаров, аварий, катастроф и стихийных бедствий на железнодорожном транспорте. // Труды IX Международной конференции по проблемам управления безопасностью сложных систем.— М.: ИПУ РАН. 2001.
9. Косяченко С. А., Шелков А. Б. Структурные исследования проблем безопасности на железнодорожном транспорте. // Сборник докладов Международной научной конференции «Проблемы регионального и муниципального управления».— М.: РГГУ, 2012.
10. Информационное обеспечение систем организационного управления (теоретические основы). В 3-х частях. Часть 2. Методы анализа и проектирования информационных систем. / Под ред. Е. А. Микрина и В. В. Кульбы.— М.: Изд-во физ.— мат. лит., 2011.
11. Кузнецов Н. А., Кульба В. В., Ковалевский С. С., Косяченко С. А. Методы анализа и синтеза модульных информационно — управляющих систем.— М.: Изд-во физ.— мат. лит., 2002.
12. Кульба В. В., Косяченко С. А., Шелков А. Б. Концептуальные основы исследований проблем безопасности на железнодорожном транспорте. // Сб. докладов Российской конференции с международным участием «Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения».— М.: ИПУ РАН, 2012.
2. Strategiya razvitiya zheleznodorozhnogo transporta v Rossiiskoi Federatsii do 2030 goda (utv. rasporyazheniem Pravitel'stva Rossiiskoi Federatsii ot 17 iyunya 2008 g. № 877-r).— <http://doc.rzd.ru/>.
3. Kontseptsiya edinoi tekhnicheskoi politiki OAO «RZhD» (utv. 18 iyulya 2009 g.).— <http://doc.rzd.ru/>.
4. Modeli i metody analiza i sinteza stsensariiev razvitiya sotsial'no — ekonomicheskikh sistem: v 2-kh kn. / pod red. V.L. Shul'tsa, V.V. Kul'by.— М.: Nauka 2012.
5. Kul'ba V.V., Kosyachenko S. A., Shelkov A. B. Metodologiya issledovaniya problem obespecheniya bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte // Upravlenie bol'shimi sistemami. 2012. Spetsial'nyi vypusk 38 «Problemy upravleniya na zheleznodorozhnom transporte».— <http://ubs.mtas.ru/upload/library/ubs3801.pdf>.
6. Arkhipova N. I., Kul'ba V. V. Upravlenie v chrezvychainykh situatsiyakh.— М.: RGGU, 1998.
7. Kul'ba V.V., Kononov D. A., Kosyachenko S. A., Kochkarov A. A., Somov D. S. Ispol'zovanie stsensarnogo i indikatornogo podkhodov dlya upravleniya zhivuchest'yu, stoikost'yu i bezopasnost'yu slozhnykh tekhnicheskikh sistem. / Nauchnoe izdanie.— М.: IPU РАН, 2011.
8. Gladkov Yu.M., Kosyachenko S. A., Shelkov A. B. Metody opredeleniya dislokatsii opornykh punktov sil i sredstv dlya likvidatsii posledstviiv pozharov, avarii, katastrof i stikhiinykh bedstviiv na zheleznodorozhnom transporte. // Trudy IX Mezhdunarodnoi konferentsii po problemam upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem.— М.: IPU РАН. 2001.
9. Kosyachenko S. A., Shelkov A. B. Strukturnye issledovaniya problem bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte. // Sbornik dokladov Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii «Problemy regional'nogo i

References (transliterated)

1. Federal'nyi zakon Rossiiskoi Federatsii ot 9 fevralya 2007 g. № 16-FZ «O transportnoi bezopasnosti».— <http://base.consultant.ru/>.

- munitsipal'nogo upravleniya».— M.: RGGU, 2012.
10. Informatsionnoe obespechenie sistem organizatsionnogo upravleniya (teoreticheskie osnovy). V 3-kh chastyakh. Chast' 2. Metody analiza i proektirovaniya informatsionnykh sistem. / Podred. E. A. Mikrina i V. V. Kul'by.— M.: Izd-vo fiz.— mat. lit., 2011.
11. Kuznetsov N. A., Kul'ba V.V., Kovalevskii S. S., Kosyachenko S. A. Metody analiza i sinteza modul'nykh informatsionno — upravlyayushchikh sistem.— M.: Izd-vo fiz.— mat. lit., 2002.
12. Kul'ba V.V., Kosyachenko S. A., Shelkov A. B. Kontseptual'nye osnovy issledovaniy problem bezopasnosti na zheleznodorozhnom transporte. // Sb. dokladov Rossiiskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Tekhnicheskie i programmnye sredstva sistem upravleniya, kontrolya i izmereniya».— M.: IPU RAN, 2012.