

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»
МГУПС (МИИТ)

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ

ПО ДИСЦИПЛИНЕ

«ТЕОРИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ»

ДЛЯ СТУДЕНТОВ НАПРАВЛЕНИЯ ПОДГОТОВКИ
«ТЕХНОЛОГИЯ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ»

МОСКВА 2013

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1 ПЕРЕВОЗОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ.....	4
1.1 Характеристики перевозочных процессов.....	4
1.2 Состояния перевозочных процессов.....	8
1.3 Дестабилизирующие факторы перевозочных процессов.....	10
1.4 Безопасность перевозочного процесса и риски потерь.....	12
2 ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА.....	15
2.1 Состояния процесса движения поезда.....	15
2.2 Дестабилизирующие факторы процесса движения.....	18
2.3 Поражающие факторы.....	24
2.4 Безопасность движения поезда и риски потерь.....	25
3 АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ.....	29
3.1 Цель и методы анализа.....	29
3.2 Процедура анализа.....	31
3.3 Концепция частотного анализа $S_{ок}$, H_j , M_i и N_i	35
3.4 Концепция определения потерь и экономического ущерба.....	37
3.5 Расследование причин возникновения опасных состояний.....	42
4. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ.....	46
4.1 Методы повышения безопасности.....	46
4.2 Обеспечение безопасности деятельности персонала.....	48
4.3 Методы снижения потерь.....	50
5 ПРАКТИКУМ.....	52
5.1 Исходные данные для задания.....	52
5.2 Методические указания для выполнения задания.....	53
5.3 Пример выполнения задания.....	54
ЛИТЕРАТУРА.....	56

ВВЕДЕНИЕ

Безопасность движения поездов - основное условие эксплуатации железной дороги, перевозок пассажиров и грузов. Все организационные и технические мероприятия на железнодорожном транспорте должны отвечать требованиям безопасного и бесперебойного движения поездов. Безопасность движения обеспечивается содержанием в постоянной исправности всех железнодорожных сооружений, пути, подвижного состава, оборудования и механизмов, устройств железнодорожной автоматики, телемеханики и связи. Повышение интенсивности движения поездов, увеличение их скорости и массы предъявляют жесткие требования к качеству и надежности средств обеспечения безопасности движения. Прежде всего это относится к устройствам автоматических и полуавтоматических систем управления движением поездов на перегонах, станциях и переездах: автоматической блокировки, автоматической локомотивной сигнализации, полуавтоматической блокировки, электрической централизации и т. д. Не меньшее значение в обеспечении безопасности имеет деятельность персонала железных дорог, непосредственно участвующего в реализации движения поездов (машинисты, дежурные по станции и т.д.). От их профессиональной подготовленности, опыта, способности быстро ориентироваться и принимать правильные решения в сложных ситуациях зависит не только четкая реализация, но, главное, безопасность и надежность всего перевозочного процесса.

Конспект лекций составлен по материалам учебника для высших учебных заведений «Статистическая теория безопасности движения поездов», написанный заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, доктором технических наук, профессором Лисенковым Виктором Михайловичем, а также с использованием других материалов, представленных в списке литературы.

1 ПЕРЕВОЗОЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ

1.1 Характеристики перевозочных процессов

Перевозочный процесс – совокупность технологических процессов и операций, направленных на изменение местоположения пассажиров или (и) грузов с помощью транспортной системы.

Перевозочный процесс направлен на изменение лишь одного параметра людей и материальных ценностей, а именно, координат их местоположения. За время перевозочного процесса не должны изменяться другие параметры пассажиров и грузов и, прежде всего, не должны ухудшаться по вине транспортной системы здоровье пассажиров и товарные качества грузов. Тем более не должна создаваться угроза сохранности жизни пассажиров и целостности грузов.

Перевозочный процесс реализуется с помощью транспортной системы.

Транспортная система – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств и технического персонала, предназначенная для осуществления в регламентированных условиях перевозочного процесса.

Если рассматривать транспортную систему как некоторую технологическую систему, то к структурным составляющим ее следует отнести и "предметы производства" в виде груза и пассажиров.

В зависимости от видов используемых технических средств транспортные системы и перевозочные процессы подразделяются на железнодорожные, автодорожные, авиационные, морские и речные.

Железнодорожный перевозочный процесс – совокупность технологических процессов и операций, направленных на изменение местоположения пассажиров или (и) грузов путем их перемещения по железным дорогам.

Железнодорожная транспортная система – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств и технического персонала, предназначенная для осуществления в регламентированных условиях железнодорожного перевозочного процесса.

На железнодорожном транспорте процесс перевозки грузов складывается из коммерческой, грузовой, маневровой и поездной работ, каждая из которых также представляет собой технологический процесс.

Каждый из этих технологических процессов осуществляется с помощью специальных технических средств и технического персонала, образующих подсистемы железнодорожной транспортной системы.

Подсистема транспортной системы – технологическая система, выделяемая по функциональному или структурному признаку.

Технологический комплекс — совокупность функционально взаимосвязанных средств технологического оснащения для выполнения в регламентированных условиях определенных технологических процессов или операций.

Технологический комплекс транспортной системы – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств для выполнения в регламентированных условиях определенных технологических процессов и операций перевозочного процесса.

Коммерческая работа включает операции по оформлению необходимой документации, в том числе связанной с оплатой перевозок грузов. Во время выполнения этих операций возможны случаи несанкционированного доступа к документации, содержание которой представляет собой коммерческую тайну. В этой связи актуальной является проблема защиты коммерческой документации от несанкционированного доступа (эта проблема не является предметом данной книги).

Грузовая работа включает начальные и конечные операции перевозки грузов, а также операции по обслуживанию перевозки грузов в пути следования. Для выполнения грузовой работы используются специальные технические средства: погрузочно-разгрузочные машины, перегрузочные устройства, специальные склады, базы, специальный технический персонал и т.д.

Подсистема грузовой работы – часть железнодорожной транспортной системы, предназначенная для выполнения грузовой работы.

Комплекс грузовой работы – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств, предназначенных для выполнения в регламентированных условиях грузовой работы.

При выполнении грузовых операций с опасными грузами при определенных условиях возникают чрезвычайные ситуации (ЧС), например, в результате взрывов опасных грузов.

Маневровая работа заключается в выполнении маневров с целью формирования и расформирования составов, перестановки вагонов из парка в парк, подачи вагонов к грузовым фронтам и последующей уборки их, прицепки и отцепки вагонов от составов и поездов и др. Для выполнения маневров используются маневровые локомотивы. Опыт выполнения маневровой работы показывает, что в результате ошибочных действий технического персонала или отказов технических средств возможно возникновение поражающих факторов, воздействия которых на окружающее пространство приводят к ЧС.

Подсистема маневровой работы – часть железнодорожной транспортной системы, предназначенная для выполнения маневровой работы.

Комплекс маневровой работы – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств, предназначенных для выполнения в регламентированных условиях маневровой работы.

Поездная работа выполняется с целью обеспечения реализации полного цикла работы поезда, а именно, от его формирования на начальной станции до расформирования на станции назначения. Цикл работы поезда включает операции формирования поезда, подготовки его к отправлению, следования по перегонам, приема и отправления на попутных станциях, осмотра состава и смены локомотивных бригад, прибытия на станцию назначения, отцепки локомотива и расформирования поезда.

Подсистема поездной работы – часть железнодорожной транспортной системы, предназначенная для выполнения поездной работы.

Комплекс поездной работы – совокупность функционально взаимосвязанных технических средств, предназначенных для выполнения поездной работы в регламентированных условиях.

При выполнении поездной, грузовой и маневровой работ возможны случаи возникновения поражающих факторов из-за отказов технических средств или ошибок технического персонала. Вследствие этого безопасность перевозочного процесса в целом определяется безопасностью составляющих его технологических процессов и операций.

Объекты на «входе» транспортной системы – это люди, желающие изменить свое местоположение, а также материальные ценности, владельцы которых также желают изменить их местоположение.

Объекты на «выходе» транспортной системы – это те же люди и материальные ценности, что и на ее входе, но уже с другими координатами. Люди и материальные ценности на входе и выходе транспортной системы являются частью внешней среды. После их поступления в транспортную систему они становятся ее элементами и оказывают при определенных условиях влияние на ход перевозочного процесса, и называются уже соответственно пассажирами или грузами.

К другим элементам транспортной системы относятся технические средства, способы их использования, технический персонал.

К техническим средствам железнодорожной транспортной системы относятся, например, вагоны, локомотивы, железнодорожный путь, системы управления движением, искусственные сооружения, депо и ремонтные участки, средства погрузки и выгрузки, технические средства формирования поездов на сортировочных станциях и т.д.

Транспортным средством железнодорожной транспортной системы является *поезд* – сформированный и сцепленный состав вагонов с одним или несколькими действующими локомотивами или моторными вагонами, имеющий установленные сигналы.

При наличии одних и тех же технических средств для достижения наибольшей эффективности перевозочного процесса в конкретных условиях его реализации применяют различные способы их использования. Так, для достижения максимальной провозной способности участков железных дорог применяют тяжеловесные и длинносоставные поезда. В других условиях, когда не требуется осваивать большие потоки грузов, целесообразно использовать поезда среднего веса порядка 3500 т. Но с изменениями параметров поезда изменяются и требования к правилам его ведения по условиям безопасности. В тяжеловесных и длинносоставных поездах, к примеру, увеличивается вероятность выдавливания вагонов, что должно учитываться при выборе режима торможения таких поездов.

Непременной составляющей любой транспортной системы является технический персонал, который участвует в оперативном управлении перевозочным процессом, выполняет различные технологические операции по реализации перевозочного процесса, осуществляет ремонт и обслуживание технических средств. Ошибочные действия его оказывают существенное влияние на безопасность перевозочного процесса и часто приводят к тяжелым последствиям. Человеческий фактор на всех видах транспорта, в том числе и на железнодорожном, является одним из наиболее распространенных дестабилизирующих факторов перевозочного процесса.

Перевозочные процессы сопровождаются возникновением побочных продуктов – вредными выбросами двигателей транспортных средств (самолетов, автомобилей, тепловозов и др.), шумами, вибрациями и т.д. Они, как правило, оказывают отрицательные воздействия на окружающую среду и пассажиров. Именно поэтому побочные продукты транспортных процессов нормируются и ограничиваются нормативно-технической документацией. Требования этой документации учитываются на всех этапах «жизненного цикла» транспортной системы.

1.2 Состояния перевозочных процессов

По степени опасности состояния перевозочного процесса и состояния транспортной системы подразделяются на две группы: опасные и неопасные. Формулировка определений состояний перевозочного процесса дается ниже на примере железнодорожного перевозочного процесса.

Неопасное состояние железнодорожного перевозочного процесса – состояние перевозочного процесса, реализуемого железнодорожной транспортной системой в работоспособном состоянии или соответствующее ее неработоспособному неопасному состоянию.

Работоспособное состояние железнодорожной транспортной системы – состояние железнодорожной транспортной системы, при котором значения параметров и (или) показателей качества перевозочного процесса соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

К параметрам и показателям качества железнодорожного перевозочного процесса относятся: точность выполнения графического времени хода, значение участковой скорости, количество потребляемой энергии, стоимость технического обслуживания, сохранность товарных качеств груза и др.

Неработоспособное состояние железнодорожной транспортной системы – состояние железнодорожной транспортной системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества перевозочного процесса не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Неработоспособное неопасное состояние железнодорожной транспортной системы – неработоспособное состояние железнодорожной транспортной системы, при котором не возникают поражающие факторы.

Опасное состояние железнодорожного перевозочного процесса – состояние железнодорожного перевозочного процесса, соответствующее неработоспособному опасному состоянию железнодорожной транспортной системы.

Неработоспособное опасное состояние железнодорожной транспортной системы – неработоспособное состояние железнодорожной транспортной системы, при котором возникают поражающие факторы.

В некоторых случаях опасное состояние перевозочного процесса является его заключительной незапланированной фазой, как это имеет место, например, при столкновении поездов. В других случаях, например, при пожаре в одном из вагонов пассажирского поезда, перевозочный процесс может какое-то время продолжаться (до прибытия поезда на ближайшую станцию).

Защищенное состояние железнодорожного перевозочного процесса – состояние железнодорожного перевозочного процесса, реализуемого железнодорожной транспортной системой в неработоспособном неопасном состоянии, переход которой в неработоспособное опасное состояние под влиянием отказов технических средств исключен с вероятностью, установленной в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Аналогичным образом формулируются определения состояний отдельных технологических операций, выполняемых при реализации перевозочного процесса, а также определения состояний подсистем транспортной системы.

1.3 Дестабилизирующие факторы перевозочных процессов

Дестабилизирующий фактор перевозочного процесса – фактор, в результате воздействия которого на перевозочный процесс значения его параметров и (или) показателей качества не соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

По степени влияния на безопасность перевозочного процесса дестабилизирующие факторы подразделяются на опасные и неопасные:

опасный дестабилизирующий фактор перевозочного процесса – дестабилизирующий фактор, в результате воздействия которого перевозочный процесс переходит в опасное состояние;

неопасный дестабилизирующий фактор перевозочного процесса – фактор, в результате воздействия которого перевозочный процесс не переходит в опасное состояние.

По природе происхождения опасные дестабилизирующие факторы подразделяются на следующие виды: *опасный отказ технических средств транспортной системы; опасный отказ транспортного средства транспортной системы; опасная ошибка программного средства транспортной системы; опасная ошибка технического персонала транспортной системы.*

По характеру нарушения работоспособности транспортной системы опасные дестабилизирующие факторы подразделяются на следующие виды:

опасный функциональный дестабилизирующий фактор транспортной системы – функциональный дестабилизирующий фактор транспортной системы, в результате воздействия которого транспортная система переходит в опасное неработоспособное состояние;

опасный параметрический дестабилизирующий фактор транспортной системы – параметрический дестабилизирующий фактор транспортной системы, в результате воздействия которого происходит превышение значений одного или нескольких параметров, характеризующих безопасность перевозочного процесса, предельных норм, установленных в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

По наличию взаимосвязи между отказами транспортной системы и явлениями внешней среды различают опасные собственные и опасные вынужденные дестабилизирующие факторы:

опасный собственный дестабилизирующий фактор транспортной системы – собственный дестабилизирующий фактор транспортной системы, в результате воздействия которого транспортная система переходит в неработоспособное опасное состояние;

опасный вынужденный дестабилизирующий фактор транспортной системы – вынужденный отказ транспортной системы, в результате воздействия

которого транспортная система переходит в неработоспособное опасное состояние.

Если грузы и пассажиров отнести к транспортной системе, то их опасные соответственно отказы и действия следует отнести к собственным опасным дестабилизирующим факторам транспортной системы:

опасный отказ груза — отказ груза, в результате воздействия которого на перевозочный процесс последний переходит в опасное состояние;

опасное действие пассажира — действие пассажира, в результате которого перевозочный процесс переходит в опасное состояние.

Приведенные выше определения относятся ко всем транспортным системам и перевозочным процессам. Их, однако, легко конкретизировать к любому виду транспортной системы путем добавления соответствующего определения: железнодорожная транспортная система, автодорожная транспортная система, авиационная транспортная система и т.д.

Понятие «дестабилизирующий фактор» в приведенных определениях при необходимости также конкретизируется: опасный собственный отказ технического средства транспортной системы, опасная собственная ошибка технического персонала, опасный вынужденный отказ технического средства транспортной системы, опасная вынужденная ошибка технического персонала и т.п. Кроме того, отказы технических средств классифицируются по их принадлежности к конкретным техническим средствам: опасный отказ погрузчика, локомотива, вагона и т.п.

Опасные ошибки технического персонала классифицируются также по признаку их принадлежности: опасная ошибка машиниста локомотива, осмотрщика вагонов, поездного диспетчера и т.п.

1.4 Безопасность перевозочного процесса и риски потерь

Определение безопасности перевозочного процесса и рисков потерь при его реализации сформулированы следующим образом:

безопасность перевозочного процесса — свойство перевозочного процесса находиться в неопасном состоянии за расчетное время;

безопасность транспортной системы — свойство транспортной системы находиться в работоспособном или в неработоспособном неопасном состоянии за расчетное время;

безопасность технического средства транспортной системы — свойство технического средства транспортной системы не иметь опасных отказов за расчетное время;

безопасность аппаратного средства транспортной системы — свойство аппаратного средства транспортной системы не иметь опасных отказов за расчетное время;

безопасность программного средства транспортной системы — свойство программного средства транспортной системы не иметь опасных ошибок за расчетное время;

безопасность технического персонала транспортной системы — свойство технического персонала транспортной системы не совершать опасных ошибок за расчетное время;

безопасность пассажира — свойство пассажира не совершать опасных действий за расчетное время;

безопасность груза — свойство груза не создавать опасных дестабилизирующих факторов за расчетное время;

риск потери M при реализации перевозочного процесса — возможность потери вследствие перехода перевозочного процесса в опасное состояние за расчетное время;

риск экономического ущерба N при реализации перевозочного процесса — возможность экономического ущерба N , вследствие перехода перевозочного процесса в опасное состояние за расчетное время;

показатель безопасности перевозочного процесса — вероятность нахождения перевозочного процесса в неопасном состоянии за расчетное время;

показатель безопасности транспортной системы – вероятность нахождения транспортной системы в работоспособном или неработоспособном неопасном состоянии за расчетное время;

показатель безопасности технического средства транспортной системы – вероятность отсутствия опасных отказов у технического средства транспортной системы за расчетное время;

показатель безопасности аппаратного средства транспортной системы - вероятность отсутствия опасных отказов у аппаратного средства транспортной системы за расчетное время;

показатель безопасности программного средства транспортной системы – вероятность отсутствия опасных ошибок программного средства транспортной системы за расчетное время;

показатель безопасности технического персонала транспортной системы – вероятность отсутствия опасных ошибок в действиях технического персонала транспортной системы за расчетное время;

показатель безопасности пассажира – вероятность не совершать пассажиром опасных действий за расчетное время;

показатель безопасности груза – вероятность того, что груз не создаст опасных дестабилизирующих факторов за расчетное время;

показатель риска потерн M , при реализации перевозочного процесса – вероятность потери M , вследствие перехода перевозочного процесса в опасное состояние за расчетное время;

показатель риска экономического ущерба N при реализации перевозочного процесса – вероятность экономического ущерба N вследствие перехода перевозочного процесса в опасное состояние за расчетное время.

2 ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДА

2.1 Состояния процесса движения поезда

Железнодорожная транспортная система отличается от многих других технологических систем тем, что ее технические средства и технический персонал распределены на огромном пространстве и выполняют одновременно множество технологических процессов и операций. Поэтому транспортная система может быть работоспособна относительно выполнения одних технологических операций и неработоспособна относительно других, она может быть работоспособна в одном месте и неработоспособна в другом. Например, в пределах одной и той же станции грузовая работа может проходить нормально, а маневровая работа не выполняться вследствие отказа тягового двигателя маневрового локомотива. В пределах одного и того же перегона движение поездов в одном направлении может происходить в соответствии с установленным графиком, а движение поездов по другому пути в обратном направлении может происходить с существенным нарушением его вследствие отказа какого-либо элемента пути и последующего ограничения скорости движения.

При движении поезда напольные и станционные устройства, обеспечивающие его движение, меняются по мере продвижения поезда из одного пункта в другой. Периодически меняются и локомотивы поездов за время движения их по достаточно протяженному маршруту. Поэтому работоспособность транспортной системы при поездной работе следует рассматривать в смысле работоспособности тех ее частей, которые обеспечивают движение конкретного поезда в конкретном месте. Это же утверждение остается справедливым и относительно движения поезда при маневровой работе.

В связи с этим в определениях состояний движения поезда используются понятия работоспособного и неработоспособного состояний транспортной системы или ее подсистем по параметрам движения конкретного поезда.

Состояния движения поезда, как и всего перевозочного процесса, подразделяются на опасные и неопасные:

опасное состояние движения поезда – состояние движения поезда, соответствующее неработоспособному опасному по параметрам движения поезда состоянию железнодорожной транспортной системы;

неопасное состояние движения поезда – состояние движения поезда, реализуемого железнодорожной транспортной системой в работоспособном состоянии или соответствующее неработоспособному неопасному по параметрам движения поезда состоянию;

работоспособное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы – состояние железнодорожной транспортной системы, при котором значения параметров и (или) показателей качества движения поезда соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации;

неработоспособное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы – состояние железнодорожной транспортной системы, при котором значение хотя бы одного параметра и (или) показателя качества движения поезда не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации;

неработоспособное неопасное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы – неработоспособное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы, при котором не возникают поражающие факторы:

неработоспособное опасное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы – неработоспособное по параметрам движения поезда состояние железнодорожной транспортной системы, при котором возникают поражающие факторы.

Началом движения любого объекта считается момент времени, когда скорость становится отличной от нуля на величину сколь угодно малую; окончание движения соответствует моменту времени, когда скорость становится равной нулю. Остановка поезда – это заключительная фаза его движения, когда прекращение движения запланировано заранее. Но прекращение движения может быть и вынужденным в результате отказа технического средства или ошибки технического персонала. В результате этого происходит вынужденная остановка на перегоне с последующим сбоем графика движения и всеми вытекающими из этого последствиями. Другой возможный вариант развития процесса движения после отказа технического средства и ошибки технического персонала – это переход его в фазу неуправляемого движения. Эта фаза движения заканчивается вынужденной остановкой в результате столкновения с другим поездом, с другим объектом или сходом с рельсового пути. Именно на этой фазе движения поезда и возникают поражающие факторы в виде неуправляемой механической энергии, резко увеличившейся силы инерции и т.д. Эту фазу движения уже трудно считать составляющей перевозочного процесса, как некоторого управляемого технологического процесса. Она скорее относится к начальной фазе чрезвычайной ситуации, которой вынужденно заканчивается неуправляемое движение. Именно поэтому в определении опасного состояния движения оно рассматривается не как процесс, реализуемый транспортной системой в неработоспособном опасном состоянии, а как процесс, соответствующий этому состоянию.

Как и у перевозочного процесса в целом, неопасные состояния движения подразделяются на штатные и нештатные неопасные, а последние, кроме того, включают и защищенные состояния. Опасное состояние движения поезда называется еще нештатным опасным.

Защищенное состояние процесса движения – состояние процесса движения, соответствующего неработоспособному неопасному по параметрам движения поезда состоянию железнодорожной транспортной системы, переход которой в неработоспособное опасное по параметрам движения поезда состояние под

влиянием отказов технических средств исключен с вероятностью, установленной в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

На рисунке 1 изображены множества различных состояний процесса движения поезда: $S_{шт}$ - множество штатных состояний; $S_{О}$ — множество опасных состояний; $S_{з}$ - множество защищенных состояний; $S_{Н}$ - множество незащищенных состояний; $S_{НН}$ — множество нештатных неопасных состояний.

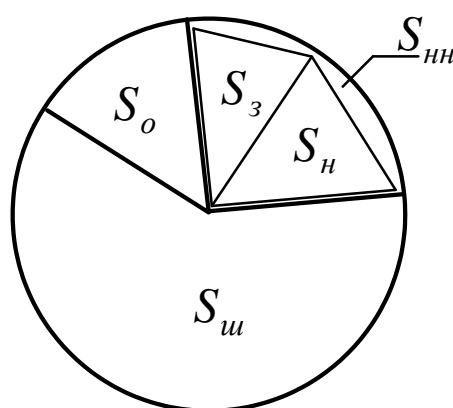


Рисунок 1 – Множества состояний процесса движения поезда

Из штатного состояния процесс движения может перейти в нештатное неопасное состояние и в нештатное опасное состояние; из нештатного неопасного состояния процесс может перейти обратно в штатное состояние или в нештатное опасное состояние; из нештатного опасного состояния процесс не может перейти ни в одно другое состояние.

2.2 Дестабилизирующие факторы процесса движения

Дестабилизирующий фактор движения поезда – явление, в результате воздействия которого на движение значения параметров и (или) показателей качества последнего не соответствуют требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской документации.

К показателям качества движения поезда относятся точность выполнения графика движения, расход энергии, безопасность и др.; к параметрам движения относятся скорость, ускорение.

Дестабилизирующие факторы движения поезда классифицируются по тем же признакам, что и дестабилизирующие факторы перевозочного процесса в целом.

По природе происхождения дестабилизирующие факторы подразделяются на отказы технических средств, ошибки в действиях технического персонала, ошибки программных средств и отказы аппаратных средств систем управления с программируемой логикой функционирования, отказы груза и ошибочные действия пассажиров.

По степени влияния на безопасность движения поезда дестабилизирующие факторы подразделяются на опасные и неопасные:

опасный дестабилизирующий фактор движения поезда – дестабилизирующий фактор, в результате воздействия которого движение поезда переходит в опасное состояние;

неопасный дестабилизирующий фактор движения поезда – дестабилизирующий фактор движения поезда, в результате воздействия которого движение поезда не переходит в опасное состояние (переходит в нештатное неопасное состояние).

По природе происхождения опасные дестабилизирующие факторы подразделяются на следующие виды:

опасный по параметрам движения поезда отказ технического средства транспортной системы – отказ технического средства транспортной системы, в результате воздействия которого движение поезда переходит в опасное состояние;

опасный по параметрам движения поезда отказ аппаратного средства транспортной системы – отказ аппаратного средства транспортной системы, в результате воздействия которого движение поезда переходит в опасное состояние;

опасная по параметрам движения поезда ошибка программного средства транспортной системы – ошибка программного средства транспортной системы,

в результате воздействия которой движение поезда переходит в опасное состояние;

опасная по параметрам движения поезда ошибка технического персонала транспортной системы - ошибка технического персонала транспортной системы, в результате воздействия которой движение поезда переходит в опасное состояние;

опасный по параметрам движения поезда отказ груза — отказ груза, в результате воздействия которого движение поезда переходит в опасное состояние;

опасное по параметрам движения поезда действие пассажира – действие пассажира поезда, в результате которого движение поезда переходит в опасное состояние.

По характеру нарушения работоспособности транспортной системы опасные дестабилизирующие факторы подразделяются на следующие виды:

опасный по параметрам движения поезда функциональный дестабилизирующий фактор транспортной системы – функциональный дестабилизирующий фактор транспортной системы, в результате воздействия которого транспортная система переходит в опасное по параметрам движения поезда неработоспособное состояние;

опасный по параметрам движения поезда параметрический дестабилизирующий фактор транспортной системы – параметрический дестабилизирующий фактор транспортной системы, в результате воздействия которого происходит превышение значений одного или нескольких параметров, характеризующих безопасность движения поезда, предельных норм, установленных в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

По характеру влияния на параметры побочных продуктов дестабилизирующие факторы подсистемы поездной работы подразделяются на следующие:

опасный по параметрам побочных продуктов дестабилизирующий фактор подсистемы поездной работы – дестабилизирующий фактор подсистемы поездной работы, в результате воздействия которого хотя бы один параметр какого-либо побочного продукта движения поезда не соответствует требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации, вследствие чего он приобретает свойства поражающего фактора;

неопасный по параметрам побочных продуктов дестабилизирующий фактор подсистемы поездной работы – дестабилизирующий фактор подсистемы поездной работы, в результате воздействия которого параметры побочных продуктов движения поезда остаются соответствующими требованиям, установленным в нормативно-технической и (или) конструкторской и технологической документации.

Аналогичным образом формулируются опасные по параметрам побочных продуктов состояния подсистемы маневровой работы.

По наличию взаимосвязи между отказами транспортной системы и явлениями внешней среды различают опасные собственные и опасные вынужденные отказы:

опасный по параметрам движения поезда собственный отказ транспортной системы – собственный отказ транспортной системы, в результате воздействия которого транспортная система переходит в неработоспособное опасное по параметрам движения поезда состояние;

опасный по параметрам движения поезда вынужденный отказ транспортной системы – вынужденный отказ транспортной системы, в результате воздействия которого транспортная система переходит в неработоспособное опасное по параметрам движения поезда состояние.

Возникновение опасного дестабилизирующего фактора не всегда приводит к крушениям и авариям поездов. *Самого факта возникновения опасного дестабилизирующего фактора еще недостаточно для перехода движения в опасное состояние. Необходимо, чтобы дестабилизирующий фактор при его*

возникновении повлиял на движение поезда. Например, самопроизвольный перевод стрелки под движущимся с большой скоростью поездом вследствие отказа системы электрической централизации несомненно вызовет крушение поезда. Но самопроизвольный перевод стрелки в результате того же отказа электрической централизации (ЭЦ) не приведет к крушению, если на ней не будет движущегося поезда. Для возникновения крушения поезда необходимо, чтобы поезд находился в зоне влияния устройства, в котором произошел опасный отказ. Иначе говоря, необходимо, чтобы устройство, в котором возник опасный отказ, находилось в активном состоянии относительно движения поезда, безопасность которого рассматривается.

В зависимости от функционального назначения технических средств различают опасные отказы пути и искусственных сооружений, подвижного состава, систем сигнализации, централизации и блокировки, систем электроснабжения. Опасные ошибки персонала железных дорог подразделяются на опасные ошибки персонала хозяйства пути и искусственных сооружений, вагонного, пассажирского и т. д.

К опасным отказам рельсового пути относятся изломы рельсов, изломы острижков, подвижных сердечников, крестовин стрелочных переводов, сверхнормативные изменения параметров рельсовой колеи по ширине, по уровню, в плане, выбросы пути и деформация земляного полотна. Одним из самых распространенных опасных отказов является излом рельса под движущимся составом. Существует много причин излома рельса: буксование или юз, проход колес с большими ползунами или выбоинами, под действием которых в рельсах появляются трещины, способные привести к хрупкому излому. Вследствие нарушения технологии закалки рельсов в закаленном слое металла головки появляются закалочные трещины. Всего в классификаторе дефектов рельсов, которые могут привести к их изломам, насчитывается около 40 различных видов дефектов. Изломы рельсов происходят из-за образования трещин в шейке от болтовых отверстий, явившихся следствием неудовлетворительного содержания рельсовых стыков, а именно из-за больших

растянутых зазоров и разнотипности прокладок. Имели место изломы по свежему вследствие превышения допустимой нагрузки в сочетании с неудовлетворительным состоянием пути, большими растягивающими напряжениями в бесстыковых рельсовых плетях, а также хрупкость и хладоломкость рельсовой стали; вследствие смятия и вертикального износа рельса из-за недостаточной прочности металла; вследствие пропуска поездов сверхнормативного тоннажа.

Опасными отказами подвижного состава, приводящими к крушениям и авариям поездов, являются отказы элементов тележек - изломы шеек и осей колесных пар, изломы дисков, сдвиги колес по оси, изломы боковин тележек, надрессорных балок, падение деталей вагонов на путь, изломы хребтовых и шкворневых балок, остроконечный накат.

Перевозимый груз, даже неопасный сам по себе, может быть причиной перехода движения поезда в опасное состояние. Известны многочисленные случаи, когда из-за недостаточного крепления груза или отказов крепежных устройств груз падал на путь и служил причиной крушения и аварий.

Опасные ошибки локомотивных бригад приводят к проездам под запрещающими сигналами и, в конечном счете, к столкновениям поездов или к их сходам с рельсов. Ошибки такого рода возникают из-за рассеяния внимания членов локомотивной бригады (59%), если машинист и помощник заснули во время движения поезда (14%), в результате недостаточно профессионального управления тормозами при приближении к напольному светофору с запрещающим показанием (15%), из-за несогласованности действий машиниста и дежурного по станции (6%), вследствие низкой трудовой дисциплины, когда, например, локомотивная бригада на остановке покидает локомотив, а в ее отсутствие происходит самопроизвольный уход поезда (4%), из-за нетрезвого состояния или резкого ухудшения здоровья членов локомотивной бригады (2%).

Большое влияние на безопасность движения поездов оказывают опасные ошибки дежурных по станциям. Известно немало крушений и аварий из-за перевода стрелки под движущимся поездом, в результате отправления поезда на

занятый перегон, из-за приема поезда по неготовому маршруту, пропуска поезда по пути, находящемуся в неудовлетворительном состоянии.

Причиной крушений, аварий поездов могут быть и опасные ошибки персонала станций при закреплении вагонов на станционных путях (основная причина самопроизвольного ухода вагонов), в том числе ошибки, допущенные при укладке тормозных башмаков под порожние вагоны, полное отсутствие закрепления вагонов, ошибки при расчете необходимых средств закрепления вагонов, изъятие тормозных башмаков до прицепки локомотива.

Опасные ошибки совершают и другие технические работники, в частности персонал, выполняющий путевые работы. Их ошибками является, например, неограждение места путевых работ, неудовлетворительное проведение ремонтных или выправочных работ с применением путевых машин. Так, грубые нарушения персоналом вагонных депо и пунктов технического обслуживания технологии монтажа колесных пар с роликовыми буксами и технического обслуживания буксового узла приводят часто к излому шеек колесных пар, к катастрофе поезда. Низкий профессиональный уровень или слабая трудовая дисциплина работников, выполняющих работы по текущему содержанию или ремонту технических средств, являются основной причиной крушений и аварий на железнодорожном транспорте.

2.3 Поражающие факторы

Поражающим фактором называется явление, способное вызвать смерть человека или потерю им здоровья, существенно изменить свойства объектов окружающей среды. Поражающие факторы, обусловленные переходом движения поезда в опасное состояние, подразделяются на две группы: поражающие факторы движущегося поезда, или первичные поражающие факторы, и поражающие факторы опасных грузов, или вторичные поражающие факторы.

Поражающий фактор движущегося поезда – явление, вызванное движущимся поездом и обладающее свойством наносить вред здоровью и жизни

пассажирам, технического персонала и населения, товарным качествам перевозимых грузов, транспортной системе и окружающей среде.

Поражающий фактор груза – явление, вызванное изменением состояния опасного груза и обладающее свойством наносить вред здоровью и жизни пассажиров, технического персонала и населения, товарным качествам других грузов, транспортной системе и окружающей среде.

К первичным поражающим факторам относятся инерция тела пассажира или груза и механические воздействия на них конструкций подвижного состава. Сила этих воздействий при переходе движения поезда в опасное состояние, т. е. при столкновении поезда с другим поездом или каким-либо объектом, или при сходе подвижного состава с рельсового пути, резко увеличивается. Инерция воздействует только на пассажиров и грузы, находящиеся в движущемся поезде, а механические воздействия неуправляемого подвижного состава наносят вред не только пассажирам и грузам, но и здоровью населения и персонала железных дорог, а также объектам окружающей среды.

К вторичным поражающим факторам относятся ударная волна взрыва, радиация, высокая температура, токсичность химического ядовитого вещества, распространение болезнетворных бактерий, биологически опасных веществ. Как правило, вторичные поражающие факторы возникают при взрыве, пожаре, после разрушения контейнеров, содержащих взрывчатые, радиоактивные, биологические и пр. вещества, силами инерции или механическим воздействием конструкций подвижного состава.

2.4 Безопасность движения поезда и риски потерь

Безопасность движения поезда – свойство процесса движения поезда находиться в неопасном состоянии за расчетное время;

безопасность транспортной системы по параметрам движения поезда – свойство транспортной системы находиться в работоспособном или в неработоспособном неопасном по параметрам движения поезда состоянии за расчетное время;

безопасность технического средства транспортной системы по параметрам движения поезда – свойство технического средства транспортной системы не иметь опасных по параметрам движения поезда отказов за расчетное время;

безопасность аппаратного средства транспортной системы по параметрам движения поезда – свойство аппаратного средства транспортной системы не иметь опасных по параметрам движения поезда отказов за расчетное время;

безопасность программного средства транспортной системы по параметрам движения поезда – свойство программного средства транспортной системы не иметь опасных по параметрам движения поезда опасных ошибок за расчетное время;

безопасность технического персонала транспортной системы по параметрам движения поезда – свойство технического персонала транспортной системы не совершать опасных по параметрам движения поезда ошибок за расчетное время;

безопасность пассажиров по параметрам движения поезда – свойство пассажиров поезда не совершать опасных по параметрам движения поезда действий за расчетное время;

безопасность груза по параметрам движения поезда – свойство груза не создавать опасных дестабилизирующих факторов при движении поезда за расчетное время;

риск потери M_i при движении поезда – возможность потери M_i вследствие перехода движения поезда в опасное состояние за расчетное время;

риск экономического ущерба N_i при движении поезда – возможность экономического ущерба N_i вследствие перехода движения поезда в опасное состояние за расчетное время.

В качестве количественных показателей безопасности движения на сети железных дорог используются лишь статистические показатели в виде чисел крушений, аварий, особых случаев брака в работе и просто случаев брака в работе

за определенный период работы железных дорог. Такие показатели определяются за каждый квартал и за год для всей сети железных дорог и для отдельных железных дорог, в том числе с отнесением их к различным службам. Использование в статистической теории безопасности движения только этих показателей недостаточно по следующим соображениям.

Во-первых, для целей анализа прогнозируемой безопасности движения при сертификации транспортных услуг на их соответствие требованиям безопасности необходим вероятностный показатель. При этом нормативные значения вероятностного показателя безопасности движения должны отличаться от 0 и 1, так как абсолютная безопасность движения поезда нереализуема.

Во-вторых, показатели безопасности движения должны достаточно четко отображать интересы всех субъектов, имеющих отношение к перевозочному процессу, и, прежде всего, потребителей транспортных услуг, т.е. пассажиров и грузоотправителей.

В-третьих, выражения показателей безопасности движения должны иметь такую форму, которая позволяла бы рассчитывать их через параметры технических средств транспортной системы, характеристики технического персонала, участвующего в реализации движения поездов, а также через характеристики внешней среды, в которой реализуется процесс движения поездов.

В этой связи вводится ряд дополнительных показателей безопасности:

показатель безопасности движения поезда – вероятность нахождения движения поезда в неопасном состоянии в течение расчетного времени;

показатель безопасности транспортной системы по параметрам движения поезда – вероятность нахождения транспортной системы в работоспособном или в неработоспособном неопасном по параметрам движения поезда состоянии в течение расчетного времени;

показатель безопасности технического средства транспортной системы по параметрам движения поезда – вероятность отсутствия у технического средства опасных по параметрам движения поезда отказов за расчетное время;

показатель безопасности аппаратного средства транспортной системы по параметрам движения поезда – вероятность отсутствия у аппаратного средства транспортной системы опасных по параметрам движения поезда отказов за расчетное время;

показатель безопасности программного средства транспортной системы по параметрам движения поезда – вероятность отсутствия у программного средства транспортной системы опасных по параметрам движения поезда ошибок за расчетное время;

показатель безопасности технического персонала транспортной системы по параметрам движения поезда – вероятность того, что технический персонал транспортной системы не совершит опасных по параметрам движения поезда ошибок за расчетное время;

показатель безопасности пассажиров по параметрам движения поезда – вероятность того, что пассажиры поезда не совершат опасных по параметрам движения поезда действий за расчетное время;

показатель безопасности груза по параметрам движения поезда – вероятность того, что груз не создаст за расчетное время опасных по параметрам движения поезда дестабилизирующих факторов;

показатель риска M_i потери при движении поезда – вероятность потери M_i вследствие перехода движения поезда в опасное состояние за расчетное время;

показатель риска экономического ущерба N_i при движении поезда – вероятность экономического ущерба N_i вследствие перехода движения поезда в опасное состояние за расчетное время.

3 АНАЛИЗ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОЕЗДОВ

3.1 Цель и методы анализа

Анализ безопасности движения поездов проводится с целью получения данных об уровне фактической или прогнозируемой безопасности движения поездов. Эти данные необходимы для сертификации транспортных услуг и технических средств ж.-д. транспорта по показателям безопасности, для оценки достаточности мероприятий, направленных на обеспечение нормативного уровня безопасности, для минимизации ресурсов, выделяемых на решение задач безопасного движения поездов, в т. ч. для обоснования приоритетов при распределении ресурсов.

Анализ безопасности движения проводится на всех этапах жизненного цикла технического средства - от составления технического задания на его разработку до изготовления и эксплуатации. Процедура анализа включает следующие основные этапы: определение области анализа; идентификация опасных дестабилизирующих факторов; частотный анализ опасных дестабилизирующих факторов; идентификация опасных состояний процесса движения; частотный анализ опасных состояний; идентификация поражающих факторов, возникающих при опасных состояниях; частотный анализ поражающих факторов; идентификация видов и размеров потерь от поражающих факторов; частотный анализ потерь от поражающих факторов; расчет показателей рисков конкретных видов потерь; расчет показателей рисков ущербов; расчет показателей безопасности движения; документирование; проверка результатов анализа; надзор за ходом анализа. Аналогичные этапы должна содержать и процедура анализа безопасности движения с учетом ошибок персонала железных дорог.

Все методы анализа безопасности движения подразделяются на три группы - апостериорные, априорные и байесовские. *Апостериорные методы* анализа основаны на использовании данных, полученных экспериментальным путем; при

априорных методах используются данные, полученные в результате суждений, высказываний экспертов; в случае применения *байесовских методов* имеется возможность использования всей информации.

Апостериорный анализ опирается на данные, получаемые в ходе определительных испытаний. Поскольку на железнодорожном транспорте в процессе эксплуатации находятся сотни и тысячи устройств одного и того же назначения, целесообразно при анализе безопасности движения поездов получать необходимые статистические данные в результате эксплуатационных определительных испытаний. В процессе испытаний фиксируются следующие данные: шифр и заводской номер технического средства; шифр и заводской номер объекта испытаний (функционального узла); вид опасного отказа; причина опасного отказа; начало испытания объекта; время возникновения опасного отказа; время безопасной работы; отличительные признаки опасного отказа; параметры внешней среды; параметры режима работы объекта; параметры процесса технического обслуживания объекта; параметры процессов различных видов ремонтов; вид опасного состояния движения; виды и количества потерь; объемы ущербов.

Информация, используемая при априорном анализе, может быть представлена в виде закона распределения времени безопасной работы элемента или системы в целом, о значении параметров этого закона распределения, о виде и параметрах модели процесса, приводящего к появлению опасного отказа определенного вида, о причине крушения и т. д. Необходимость использования априорной информации возникает, когда имеются недостаточно полные или достоверные статистические данные об анализируемом явлении. Степень влияния на безопасность движения социальных факторов, таких, как война, забастовка, криминогенная обстановка и т. п., можно оценить экспертным путем.

Байесовский метод анализа основывается на применении теоремы Байеса, называемой также теоремой гипотез. Эта теорема позволяет использовать для достижения более высокой достоверности результатов анализа как апостериорную информацию, полученную в результате определительного

эксперимента, так и априорную, известную еще до его проведения. Совокупность принципов и идей применения теоремы Байеса для решения задач анализа и образует методическую основу байесовских методов анализа безопасности движения.

3.2 Процедура анализа

В результате анализа должны быть определены значения количественных показателей безопасности движения поезда $P_T(S_o)$ или $Q_T(S_o) = 1 - P_T(S_{ok})$, показателя риска потери $Q_T(M_i)$ и показателя риска экономического ущерба $Q_T(N_i)$ в соответствии с их расчетными формулами:

$$Q_T(S_o) = \sum_{k=1}^s Q_T(S_{ok}),$$

где $Q_T(S_o)$ – вероятность нахождения процесса движения в одном из опасных состояний за расчетное время;

$Q_T(S_{ok})$ – вероятность нахождения процесса движения в опасном состоянии S_{ok} , несовместном с другими состояниями за расчетное время T ;

s – общее число опасных состояний;

$$Q_T(M_i) = \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^s Q_T(S_{ok}) Q_T(H_j / S_{ok}) Q_T(M_i / H_j),$$

где M_i - потеря i -го вида;

$Q_T(M_i)$ - вероятность потери вида M_i , обусловленной поражающими факторами H_1, \dots, H_h , возникающими при переходах процесса движения в опасные состояния S_{o1}, \dots, S_{ok} за расчетное время T ;

$Q_T(H_j / S_{ok})$ - условная вероятность возникновения поражающего фактора H_j при переходе движения в опасное состояние S_{ok} за расчетное время T ;

$Q_T(M_i / H_j)$ - условная вероятность возникновения потери вида M_i от действия поражающего фактора H_j за расчетное время T ;

$$Q_T(N_i) = \sum_{j=1}^h \sum_{k=1}^s Q_T(S_{ok}) Q_T(H_j / S_{ok}) Q_T(N_i / H_j);$$

где $Q_T(N_i)$ - вероятность экономического ущерба N_i , обусловленного поражающими факторами H_1, \dots, H_n , возникающими при переходах процесса движения в опасные состояния S_{o1}, \dots, S_{ok} за расчетное время T ;

$Q_T(N_i / H_j)$ - условная вероятность возникновения экономического ущерба от действия поражающего фактора за расчетное время T .

Следует особо рассмотреть физический смысл расчетного времени T . В общем случае это может быть время движения по маршруту в целом, к примеру, между двумя станциями, находящимися на расстоянии в несколько сот километров, или время движения по его отдельному элементу - по одному перегону, блок-участку, по главным или боковым путям станции. Каждый из участков пути, строго говоря, характеризуется своими условиями движения и, как следствие, своим уровнем безопасности движения. Для сопоставления безопасности движения при различных видах технических средств целесообразно выбрать участок эталонной длины. Если время движения по маршруту в целом обозначить через T_M , а время движения по его j -му участку через T_j , то при условии

$$T_M = \sum_j T_j$$

показатель безопасности движения по маршруту в целом выражается через показатели безопасности отдельных участков следующим образом:

$$P_{T_M}(S_o) = \prod_j P_{T_j}(S_o).$$

В дальнейшем на смысловом содержании расчетного времени внимание не акцентируется, оно проясняется при постановке задачи анализа.

В основу процедуры анализа положены рекомендации, изложенные в проекте документа МЭК «Требования и руководящие указания по анализу технологических рисков». Процедурой предусмотрена следующая последовательность основных этапов анализа:

- определение области анализа;
- идентификация опасных состояний процесса движения;
- частотный анализ опасных состояний;

идентификация поражающих факторов, возникающих при различных опасных состояниях;

частотный анализ поражающих факторов;

идентификация видов и размеров потерь от различных поражающих факторов;

частотный анализ потерь от различных поражающих факторов;

расчет показателей рисков конкретных видов потерь;

расчет показателей рисков ущерба экономического характера;

расчет показателей безопасности движения;

документирование;

проверка результатов анализа;

надзор за ходом анализа.

Объем отчетной документации зависит от целей и области анализа. Отчет об анализе рисков должен содержать следующие разделы:

обложку или титульный лист;

реферат;

выводы и рекомендации;

оглавление;

цели и область анализа;

ограничения и допущения;

описание системы;

методологию анализа;

результаты идентификации нештатных опасных состояний и их частотного анализа;

результаты идентификации поражающих факторов и их частотного анализа;

результаты идентификации потерь и их частотного анализа;

результаты расчета показателей безопасности движения;

результаты расчета показателей рисков потерь;

результаты расчета показателей рисков экономического ущерба;

анализ чувствительности и погрешности методов;

обсуждение результатов;

ссылки, таблицы, рисунки и приложения.

Для подтверждения полноты и правильности анализа должен использоваться формализованный процесс внутренней и внешней проверок с привлечением специалистов, не участвующих в процессе анализа.

Проверка результатов анализа должна осуществляться путем:

проверки соответствия области анализа его объявленным целям;

проверки соответствия всех важных допущений и доступной для анализа информации;

проверки адекватности моделей, применяемых методов и исходных данных;

проверки воспроизводимости результатов анализа при его повторении другими аналитиками;

проверки нечувствительности анализа к способам форматирования исходных данных или результатов.

При возможности проведения адекватных натуральных экспериментов в условиях эксплуатации проверка осуществляется путем сравнения результатов анализа с результатами прямых наблюдений. Если для проверки используется сравнение с результатами анализа по альтернативным моделям, то альтернативная модель должна быть более простой.

При необходимости осуществляется надзор за процессом анализа с тем, чтобы гарантировать его эффективность и соответствие требованиям нормативного документа. Если анализ рисков проводится в рамках существующей системы качества, надзор за его проведением осуществляется в соответствии с порядком и методами надзора за системой качества. Когда подобная система отсутствует, то надзор за проведением анализа осуществляется в соответствии со стандартом ИСО 10011 «Руководство по надзору за системами качества» лицами, прямо не участвующими в его проведении.

Анализ риска должен быть выполнен и задокументирован таким образом, чтобы его результаты можно было сохранить на протяжении всего срока функционирования оборудования, если такая необходимость возникает для

поддержания непрерывного процесса управления риском. При этом проводится как регулярное обновление результатов анализа по мере поступления новой информации и данных, так и периодическое, от случая к случаю, в зависимости от потребностей процесса управления.

3.3 Концепция частотного анализа S_{ok} , H_j , M_i и N_i

В результате частотного анализа опасных состояний S_{ok} должны быть определены частоты переходов процесса движения поезда в опасные состояния $Q_T(S_{ok})$ за расчетное время T . При этом частота того, что движение поезда не перейдет в опасное состояние S_{ok} за это время, определится выражением, упомянутым выше:

$$P_T(S_{ok}) = 1 - Q_T(S_{ok}).$$

Переходы движения в опасные состояния S_{ok} происходят под воздействием опасных дестабилизирующих факторов F_{kn} . Анализ причин крушений и аварий поездов позволяет сделать заключение, что F_{kn} являются событиями независимыми.

Возникновение опасного дестабилизирующего фактора еще не является достаточным условием для перехода движения поезда в какое-либо опасное состояние. Дополнительно необходимо, чтобы опасный дестабилизирующий фактор повлиял на движение поезда. Поэтому вероятность перехода движения в опасное состояние S_{ok} под действием опасного дестабилизирующего фактора F_{kn} за расчетное время T определяется выражением:

$$Q_T(S_{ok}^n) = Q_T(S_{ok}^n / F_{kn}) Q_T(F_{kn}),$$

где $Q_T(S_{ok}^n / F_{kn})$ - условная вероятность перехода движения поезда в состояние S_{ok}^n , если возник опасный дестабилизирующий фактор F_{kn} ;

$Q_T(F_{kn})$ - вероятность возникновения n -го опасного дестабилизирующего фактора, способного перевести движение поезда в k -е опасное состояние.

Вероятность того, что движение поезда не перейдет в k -е опасное состояние под действием n -го дестабилизирующего фактора за расчетное время, определяется выражением:

$$P_T(S_{ok}^n) = 1 - Q_T(S_{ok}^n),$$

так как движение поезда в определенный момент времени может находиться или не находиться в опасном состоянии S_{ok} .

Если под F_{kn} понимать опасные дестабилизирующие факторы отдельных структурных составляющих подсистем маневровой или поездной работы, то взаимосвязи между $P_T(S_{ok})$ и $P_T(S_{ok}^n)$ определяются, как при последовательном соединении этих структурных составляющих. Ниже полагается также, что все опасные дестабилизирующие факторы являются независимыми. Тогда движение не перейдет в k -е опасное состояние за расчетное время, если в течение этого времени на него не окажет воздействия ни один дестабилизирующий фактор, способный перевести его в это опасное состояние, поэтому

$$P_T(S_{ok}) = \prod_{n=1}^{N_k} P_T(S_{ok}^n),$$

где N_k - общее число опасных дестабилизирующих факторов, способных перевести движение в k -е опасное состояние.

Все множество опасных дестабилизирующих факторов может быть разбито на ряд подмножеств в соответствии с их классификацией. В соответствии с этим разбивается на подмножества и N_k .

Решение задачи частотного анализа опасных состояний, т.е. решение задачи определения величин $P_T(S_{ok})$, сводится, таким образом, к решению задачи частотного анализа дестабилизирующих факторов и возможности их влияния на процесс движения поезда.

В результате частотного анализа поражающих факторов должна быть определена условная вероятность $Q_T(H_j/S_{ok})$ возникновения поражающего фактора H_j при переходе процесса движения в нештатное опасное состояние S_{ok} .

Появление того или иного поражающего фактора H_j , в конкретном опасном состоянии S_{ok} возможно только при определенных условиях G_l . Отсюда

$$Q_T(H_j / S_{ok}) = 1 - P_T(H_j / S_{ok});$$

$$P_T(H_j / S_{ok}) = \prod_{l=1}^{L_j} P_T(G_{jl} / S_{ok});$$

где $P_T(G_{jl} / S_{ok})$ - вероятность того, что в результате перехода процесса движения в состояние S_{ok} не будет иметь место l -е условие возникновения поражающего фактора H_j ;

L_j - общее число условий возникновения j -го поражающего фактора.

Таким образом, частотный анализ поражающих факторов H , сводится к частотному анализу условий их возникновения.

Частотный анализ потерь от поражающих факторов H_j заключается в определении условных вероятностей $Q_T(M_i / H_j)$.

Частотный анализ экономического ущерба N_i от поражающих факторов H_j заключается в определении условных вероятностей $Q_T(N_i / H_j)$.

Для проведения частотного анализа величин S_{ok} , H_j , M_i , N_i используются одни и те же методы апостериорного, априорного и байесовского анализа.

3.4 Концепция определения потерь и экономического ущерба

Поражающие факторы, возникающие при переходе движения поезда из неопасного в опасное состояние, являются главной причиной потерь и ущербов на ж.-д. транспорте. От характера и размеров поражающего фактора зависят жизнь и здоровье людей, повреждение или полная утрата груза и технических средств транспортной системы, объектов хозяйствования, экологические и моральные потери.

При оценке последствий переходов движения поезда в опасные состояния следует учитывать виды потерь и экономического ущерба, приведенные в таблице 1. Они характерны для всех видов транспорта и отличаются лишь уровнями. Наиболее полным учетом всех видов потерь и ущерба отличаются методики, разработанные для учета последствий дорожно-транспортных происшествий, основные положения которых и принимались во внимание при составлении таблицы 1.

Таблица 1 - Виды потерь и ущерба

Вид потери	Прямой ущерб	Косвенный ущерб
1	2	3
1. Смерть человека (из категории пассажиров - M_{11} ; технического персонала - M_{12} ; населения - M_{13})	1. Стоимость доставки в больницу; 2. Расходы больницы; 3. Расходы морга; 4. Расходы на похороны; 5. Выплата пособий пенсий семье погибшего; 6. Страховые выплаты	1. Ущерб от временно нарушения производственных связей предприятия, где работал пострадавший; 2. Стоимость потерянного рабочего времени у родственников; 3. Ущерб от потери части национального дохода; 4. Социально – моральный ущерб
2. Инвалидность человека (из категории пассажиров - M_{21} ; технического персонала - M_{22} ; населения - M_{23})	1. Стоимость доставки в больницу; 2. Расходы больницы; 3. Оплата бюллетеня; 4. Выплата пособий и пенсий 5. Страховые выплаты	1. Ущерб от временного нарушения производственных связей предприятия, где работал пострадавший; 2. Ущерб от потери части национального дохода; 3. Социально-моральный ущерб
3. Тяжелое ранение человека (из категории пассажиров - M_{31} ; технического персонала - M_{32} ; населения - M_{33})	1. Стоимость доставки в больницу; 2. Расходы больницы; 3. Оплата бюллетеня; 4. Выплата пособий и пенсий; 5. Страховые выплаты	1. Ущерб от временного нарушения производственных связей, где работал пострадавший; 2. Ущерб от потери части национального дохода; 3. Социально-моральный ущерб
4. Легкое ранение человека (из категории пассажиров - M_{41} ; технического персонала - M_{42} ; населения - M_{43})	1. Расходы больницы; 2. Оплата бюллетеня; 3. Страховые выплаты	1. Ущерб от времени нарушения производственных связей предприятия, где работал пострадавший; 2. Ущерб от потери части национального дохода; 3. Социально-моральный ущерб
5. Потеря груза - M_5	1. Стоимость груза; 2. Страховые выплаты	1. Ущерб от нарушения производственных связей
6. Потеря технического средства транспортной системы (полная утрата или повреждение) - M_6	1. Стоимость технического средства; 2. Стоимость утилизации; 3. Стоимость ремонта; 4. Страховые выплаты	1. Ущерб от нарушения производственных связей предприятий, пользующихся услугами транспортной системы; 2. Ущерб от снижения эффективности работы транспортной системы Продолжение таблицы 1
1	2	3
7. Потеря объектов хозяйствования (полная утрата или повреждение) - M_7	1. Стоимость объекта хозяйствования; 2. Стоимость утилизации; 3. Стоимость ремонта;	1. Ущерб от нарушения производственных связей; 2. Снижение эффективности работы поврежденного объекта

	4. Страховые выплаты	хозяйствования
8. Потери экологического характера - M_8	1. Стоимость утраченных природных ресурсов; 2. Стоимость ликвидации последствий	1. Ущерб из-за ухудшения экологической обстановки
9. Потери, обусловленные ликвидацией поражающих факторов - M_9	1. Стоимость работ по ликвидации пожара; 2. Стоимость работ по ликвидации химического заражения; 3. Стоимость работ по ликвидации биологического поражающего фактора; 4. Стоимость работ по ликвидации радиации; 5. Стоимость работ по ликвидации опасности взрыва	
10. Потери, связанные с разбором и ведением дел об опасных состояниях процесса движения (о крушениях поездов) - M_{10}	1. Стоимость работ ЦРБ МПС; 2. Стоимость затрат железных дорог; 3. Стоимость затрат юридических органов	

Результаты оценки количества летальных исходов при переходах движения в опасные состояния зависят от времени их регистрации. Установлено, что на первые семь суток после крушения или аварии приходится 90-93 % погибших от общего числа скончавшихся в результате крушения или аварии. По этой же причине следует учитывать это время и при оценке прогнозируемых последствий результатов перехода движения поезда в опасные состояния. При оценках последствий дорожно-транспортных происшествий в различных странах это время изменяется в широких пределах. Так, в Бельгии учитываются лишь смертельные исходы, которые зарегистрированы на месте происшествия, в Великобритании - на месте происшествия и в течение 30 дней после него, в Российской Федерации - в течение 7 дней.

При оценке фактического или прогнозируемого количества раненых следует их классифицировать по степени тяжести ранения, так как в зависимости от этого должны использоваться различные методики оценки ущерба от ранений пассажиров, технического персонала, населения. В Российской Федерации все виды потерь здоровья (ранений) подразделяются на три группы:

легкое телесное повреждение, когда перерыв в работе не превышает семи дней;

тяжелое телесное повреждение, когда перерыв в работе превышает семь дней, но не приводит к инвалидности;

тяжелое телесное повреждение, приведшее к инвалидности.

В США потери здоровья подразделяются на легкие ранения и тяжелые увечья, в Швейцарии - на легкие ранения и увечья.

При фактических или прогнозируемых потерях объектов хозяйствования следует учитывать полную утрату или частичные повреждения всех видов объектов производственной и других видов деятельности: заводов, ферм, центров торговли, театров и т.п.

Необходимо учитывать также фактические или прогнозируемые потери экологического характера, удельный вес которых среди других видов потерь на железнодорожном транспорте может быть достаточно высоким.

На железнодорожном транспорте должны учитываться потери, обусловленные необходимостью ликвидации поражающих факторов, возникающих при переходах движения поездов в опасные состояния, при этом должны учитываться расходы соответствующих материалов, износ технического оборудования и т.п.

При оценке экономического ущерба от потерь следует учитывать прямой (непосредственный) ущерб и косвенный ущерб, который проявляется, как правило, в течение некоторого времени после возникновения опасного состояния. Оценка прямого ущерба не сопряжена с какими-либо методическими сложностями, чего нельзя сказать об оценке косвенного ущерба. Для последней разрабатываются специальные методики. При этом оценка косвенного ущерба от смерти или ранения человека сопряжена с наибольшими методологическими сложностями.

Прямой ущерб от гибели человека, независимо от того, относится ли он к пассажирам, техническому персоналу или населению, определяется одними и теми же составляющими. К ним относятся: стоимость доставки тела в больницу,

расходы больницы, расходы морга, расходы на похороны, выплата пособий и пенсий семье погибшего, страховые выплаты семье погибшего. Следует учитывать ущерб всех физических и юридических лиц, имеющих то или иное отношение к переходу движения в опасное состояние.

К составляющим косвенного ущерба относятся:

ущерб от временного нарушения производственных связей предприятия, где работал пострадавший, стоимость потерянного рабочего времени у родственников, участвующих в похоронах; ущерб от потери части национального дохода, который мог быть создан потерпевшим,

и социально-моральный ущерб. Величина косвенного ущерба существенно зависит от продолжительности восстановления производственных связей, которые выполнялись потерпевшим, а также от времени, в течение которого потерпевший участвовал бы в создании национального дохода.

Ущерб от нарушения производственных связей определяется стоимостью продукции, которую не произведет предприятие из-за этого нарушения, и стоимостью дополнительных ресурсов, увеличение которых обусловлено нарушением производственных связей. В случае, когда пострадавший относится к техническому персоналу железной дороги, это, как правило, связано с дополнительными материальными затратами за сверхурочную работу той категории технического персонала, к которой относился пострадавший. Сложна оценка социально-морального ущерба от смерти человека. Так, например, в некоторых методиках, разработанных в Великобритании, ущерб на одного человека от потерь производственных связей оценивается около 37 тыс. фунтов стерлингов, а моральные потери - около 64 тыс. фунтов стерлингов.

Прямой ущерб при тяжелом телесном повреждении, приведшем к инвалидности, зависит от продолжительности нахождения пострадавшего в больнице, продолжительности потери трудоспособности до заключения об инвалидности, периода инвалидности, величины средней ежемесячной выплаты пенсии по инвалидности и других факторов.

Прямой ущерб при тяжелом телесном повреждении, не приведшем к инвалидности, зависит от стоимости доставки пострадавшего в больницу, продолжительности нахождения пострадавшего в больнице, ежедневных расходов больницы на одно койко-место, продолжительности потери трудоспособности.

При оценке ущерба при легком телесном повреждении не учитывается стоимость его доставки в больницу.

Косвенный ущерб от потери груза определяется стоимостью нарушения ритмичности работы предприятия, которое должно было получить груз. Обусловленный этим простой предприятия может вызвать достаточно большие убытки. Перевозимый груз может представлять большую материальную ценность, утрата которого сопряжена с возможностью разорения его владельца.

При оценке экономического ущерба из-за утраты природных ресурсов, например, лесных массивов, плодородных почв, сельскохозяйственных угодий, следует учитывать и косвенный ущерб от ухудшения экологической обстановки. Ухудшение экологической обстановки приводит к ухудшению здоровья населения, а, следовательно, к потере рабочего времени. Более того, оно влияет и на генофонд соответствующей части населения, а, следовательно, и на его эффективность в создании национального дохода.

В зависимости от целей анализа безопасности движения и рисков потерь число учитываемых видов потерь и видов экономического ущерба изменяется.

3.5 Расследование причин возникновения опасных состояний

Расследование причин крушений, аварий, особых случаев брака и других опасных состояний имеет целью идентификацию опасных отказов и ошибок, вследствие которых они произошли. Для идентификации применяют (с различной степенью формализации) методы сравнения, предварительного анализа опасностей, анализа видов и последствий отказов, исследование работоспособности и опасностей.

Идентификация опасных дестабилизирующих факторов методом сравнения включает следующие этапы:

- определение системы-аналога, близкой по своим характеристикам к анализируемой, опасные дестабилизирующие факторы которой известны;
- оценка достоверности данных об опасных дестабилизирующих факторах системы-аналога;
- определение различий в параметрах и характеристиках анализируемой системы и системы-аналога, оценка их влияния на набор опасных дестабилизирующих факторов;
- определение различий в условиях эксплуатации сравниваемых систем;
- определение набора опасных дестабилизирующих факторов анализируемой системы.

Предварительный анализ опасностей также выполняется в несколько этапов:

- определение опасных состояний системы;
- определение тех частей системы, которые могут вызвать эти опасные состояния;
- введение ограничений на анализ;
- рассмотрение последовательности событий, которые приводят от опасного отказа к чрезвычайной ситуации;
- разработка мероприятий по предотвращению чрезвычайных ситуаций или уменьшению уровня потерь.

Для упорядочения процесса определения элементов и частей системы, отказы которых могут вызвать опасные состояния, составляют список ключевых выражений, позволяющих выявить тенденции в изменении параметров устройств, приводящих к опасным состояниям:

- *больше, чем;*
- *меньше, чем;*
- *ни один из;*
- *часть из;*

- *чем другие;*
- *так же, как;*
- *наоборот;*
- *позже, чем;*
- *скорее, чем.*

Анализ видов и последствий отказов является индуктивным методом анализа, основанным на использовании вопросов типа: «Что случится, если...?» В соответствии с этим методом систематически, на основе последовательного рассмотрения одного элемента за другим анализируются все возможные виды отказов и опасные состояния системы, возникающие в результате этих отказов. Так, например, для идентификации опасных отказов электромагнитного реле рассматривают следующие виды отказов: контакты не разомкнулись; запаздывание в размыкании контактов; контакты не замкнулись; запаздывание в замыкании контактов; короткое замыкание контактов на корпус, на источник питания, между собой; короткое замыкание в цепях управления реле; «дребезжание» контактов вследствие их неустойчивости; образование электрической дуги; разрыв обмотки; короткое замыкание обмотки; перегрев обмотки; короткое замыкание в цепях питания; чрезмерное намагничивание, высокая остаточная намагниченность магнитопровода; заклинивание оси якоря; излом пружины.

Метод исследования работоспособности и опасностей включает следующие этапы:

- определение области анализа;
- формирование группы экспертов для проведения анализа;
- сбор необходимой документации, в том числе рабочих чертежей, схем, монтажных чертежей, правил эксплуатации и обслуживания, правил поведения технического персонала в опасных состояниях движения и др.;
- описание с помощью ключевых слов возможных изменений параметров технических средств;

- выявление и документирование в виде рабочих листов тех изменений параметров, которые могут вызвать переходы процесса движения в опасное состояние.

Группа экспертов должна включать разработчиков технических комплексов, проектировщиков и эксплуатационников, обладающих достаточной квалификацией для оценки возможных последствий отклонений параметров технических средств от нормативных значений. Для получения объективной информации, необходимой при определении причин нарушения безопасности движения поездов, проводится служебное расследование. На железнодорожном транспорте Российской Федерации служебное расследование в зависимости от вида нарушения (крушение, авария, особый случай брака в работе, случай брака в работе) выполняют руководители дорог, служб, отделений, аппарата по безопасности движения поездов дорог и отделений, а также руководители линейных предприятий. В служебном расследовании крушений поездов с тяжелыми последствиями (погибли или получили тяжкие телесные повреждения люди, произошло катастрофическое загрязнение окружающей среды, нанесен значительный материальный ущерб) участвуют руководители и специалисты ОАО «РЖД», представители прокуратуры и других причастных ведомств РФ действуют в этих случаях в соответствии со своими полномочиями и инструкциями.

При служебном расследовании выявляются все обстоятельства, при которых произошло нарушение безопасности движения поезда, его причины и последствия, а также лица, ответственные за данное происшествие. На основе материалов расследования и проведенных одновременно проверок разрабатываются и осуществляются мероприятия по предупреждению повторения подобных нарушений безопасности движения.

4. ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ Поездов

4.1 Методы повышения безопасности

Методы повышения безопасности функционирования технических средств, как и работы персонала железнодорожного основываются на 3 принципах: уменьшение интенсивности опасных отказов технических средств или опасных ошибок специалистов; уменьшение числа видов опасных отказов или опасных ошибок; увеличение коэффициента парирования опасных отказов или опасных ошибок.

Уменьшение интенсивности опасных отказов технических средств достигается путем создания необходимых запасов прочности их элементов при изготовлении и последующего восполнения этих запасов в процессе эксплуатации. При увеличении запаса прочности технических средств одновременно повышается их надежность. Запас прочности создается как за счет повышения механической прочности конструкций, так и за счет увеличения электрической прочности элементов электротехнических устройств. На этапе конструирования необходимый запас прочности обеспечивается за счет подбора соответствующих материалов и способов их использования; на этапе производства - путем применения соответствующей технологии и последующего выходного контроля с целью отбраковки элементов с дефектами; на этапе эксплуатации - за счет восполнения запасов прочности, уменьшающихся в процессе эксплуатации технических средств, что достигается главным образом в результате профилактики при текущем содержании и своевременных ремонтах.

Уменьшение числа видов опасных отказов достигается путем выбора соответствующей структуры технического средства. Принципы и методы, позволяющие синтезировать новую структуру с наименьшим числом видов опасных отказов, получили название структурных. Структурные методы весьма многочисленны, их применяют для повышения безопасности как механических конструкций, так и электротехнических устройств.

Принципы и методы повышения безопасности технического средства путем увеличения коэффициента парирования называются соответственно принципами и методами парирования опасных отказов. Эти методы включают две операции: обнаружение опасного отказа и перевод устройства в защищенное состояние. По степени автоматизации этих операций методы подразделяются на автоматические, автоматизированные и неавтоматизированные. Например, обнаружение техническим работником станции во время профилактических работ опасного отказа в виде излома рельса и последующее запрещение движения по участку пути с поврежденным рельсом является примером парирования опасного отказа без каких-либо автоматических устройств. Примером автоматической системы парирования того же отказа является автоматическая блокировка, в которой излом рельса автоматически обнаруживается с помощью рельсовой цепи, а приостановка движения по соответствующему блок-участку осуществляется с помощью автоматически управляемых огней напольного светофора.

Для реализации микропроцессорных систем управления движением поездов, удовлетворяющих требованиям обеспечения безопасности движения, используются многоканальные методы парирования. Они отличаются тем, что опасные отказы обнаруживаются в результате сравнения либо параметров сигналов нескольких каналов в ряде контрольных точек, либо промежуточных результатов обработки входной информации в различных каналах. Обнаружение опасных ошибок программного обеспечения осуществляется путем сопоставления промежуточных результатов обработки входной информации в соответствии с различными версиями программы. В тех случаях, когда обнаруживаются различия в параметрах сопоставляемых сигналов, вырабатывается команда на перевод системы в защищенное состояние.

Многоканальные системы парирования подразделяются на системы с физическими и временными каналами. Системы с физическими каналами имеют несколько параллельно работающих комплектов аппаратуры. Они подразделяются на системы с жесткой синхронизацией работающих комплектов и системы с мягкой синхронизацией. Жесткой называется синхронизация, когда

работа нескольких комплектов синхронизируется с точностью до такта. Мягкой называется синхронизация, когда работа нескольких комплектов синхронизируется по началам частных циклов обработки входной информации.

Системы с временными каналами отличаются от систем с физическими каналами тем, что они содержат только один комплект аппаратуры, а для обнаружения его отказов сопоставляются параметры сигналов, вырабатываемые этим комплектом в различные временные интервалы (каналы), но при одной и той же входной информации. В данной системе промежуточные результаты обработки информации в различные временные интервалы предварительно записываются в память, а затем сопоставляются между собой для обнаружения отказов аппаратных средств.

4.2 Обеспечение безопасности деятельности персонала

Уменьшение интенсивности опасных ошибок человека, как части транспортной системы, достигается путем повышения требований к его психологическим и физиологическим качествам и совершенствования методов психологического и медицинского отбора специалистов; путем воспитания у них необходимых навыков, умений, технологической дисциплины, усвоения ими необходимых знаний и совершенствованием методов обучения специалистов; поддержанием перечисленных выше их свойств в процессе трудовой деятельности, повышением качества контроля соответствия качеств специалистов предъявляемым к ним требованиям.

Психологи выделяют четыре психофизиологических качества человека, которые являются профессионально необходимыми качествами машиниста: экстравертность психики; умение концентрировать сознание; эмоциональная устойчивость; сенсорная координация. Эти качества не могут быть выработаны посредством специальных тренировок и не могут быть компенсированы за счет развития других способностей оператора. Если отсутствует хотя бы одно из этих качеств, то человек не может работать оператором, в частности, водителем транспортного средства. Оператор с удовлетворительным здоровьем,

психофизиологическими данными, знаниями, навыками и умениями, тем не менее, может совершать опасные ошибки при утомлении, в случаях стресса, приема лекарства, наркотика или алкоголя, а также вследствие влияния ряда природных, техногенных или социальных факторов. В этой связи для снижения интенсивности опасных ошибок оператора необходимо осуществлять в процессе его деятельности непрерывный контроль за его физическим и моральным состоянием в данный момент, за способностью обеспечивать безопасное движение.

Уменьшение числа видов опасных ошибок человека достигается путем перераспределения функций между человеком и машиной (техническим средством) в эрратической системе. Человек и машина обладают различными способностями выполнять одни и те же функции. Следовательно, для технического средства с определенными параметрами и человека-оператора с определенными свойствами возможно оптимальное распределение функций по обеспечению безопасности движения, при котором достигается максимальная безопасность. Совершенствование интерфейсов между оператором и машиной также ведет к уменьшению ошибок, допускаемых оператором при приеме информации от машины, и к снижению числа ошибок оператора при вводе им команд в машину. Методы, которые при этом используются, относятся также к структурным и являются предметом эргономических исследований.

Парирование опасных ошибок человека реализуется двумя способами: либо действия одного человека-оператора контролирует другой оператор и вовремя исправляет опасные ошибки первого, либо за человеком-оператором «наблюдает» автоматическое устройство и в случае необходимости парирует опасные ошибки человека. Так, например, для парирования опасных ошибок при управлении движением поезда локомотивная бригада состоит из двух человек, которые контролируют действия друг друга и при необходимости корректируют их. Другой пример - автостоп, который останавливает поезд, если машинист по ошибке не тормозил перед светофором с запрещающим сигналом.

4.3 Методы снижения потерь

Уменьшение потерь при крушениях, авариях, других опасных состояниях движения поездов достигается путем снижения уровня поражающих факторов и защиты от их воздействия пассажиров, грузов, объектов внешней среды.

Среди методов снижения уровня первичных поражающих факторов наибольшее распространение получили методы, направленные на уменьшение (компенсацию) силы инерции тел пассажиров и грузов, возникающей при столкновении поездов. Методы отличаются природой сил, используемых для гашения инерции, а также конструктивными особенностями элементов вагонов, предназначенных для компенсации сил инерции. Например, в вагонах высокоскоростного поезда применяются упругие конструкции торцевых частей, в частности тамбуру придают форму гармошки. При столкновении такого вагона с препятствием (например, с соседним вагоном) сила его инерции частично компенсируется силой упругости конструкции торцевой части вагона.

В результате скорость соударения салонов вагонов, где находятся пассажиры, уменьшается по сравнению со скоростью соударения торцевых частей.

Проблема снижения скорости соударения актуальна и для грузовых вагонов и цистерн, особенно для тех, в которых перевозятся опасные грузы. Для этого в элементах межвагонных связей используются специальные, т. н. поглощающие аппараты. В зависимости от вида носителя упругой силы они подразделяются на пружинно-фрикционные, гидрорезиновые и эластомерные. Применяются также устройства, которые плавно снижают скорость неуправляемого движения поезда в целом, а не отдельных его вагонов. Так, в случае отказа тормозной системы поезд даже с отключенными тяговыми двигателями способен, двигаясь под уклон, развивать скорость, превышающую допустимую по условиям безопасности движения. Для снижения скорости неуправляемых поездов строят специальные улавливающие тупики. Профиль тупика выбирается таким, чтобы поезд в пределах тупика двигался в гору. В этом случае сила инерции поезда

компенсируется составляющей гравитационной силы, направленной вдоль состава.

Снижение уровня потерь от вторичных поражающих факторов обеспечивается прежде всего защитой опасных грузов от воздействия на них первичных поражающих факторов. Например, основными причинами повреждения котлов цистерн с опасными веществами являются удары устройств автосцепки или длинномерных грузов соседних вагонов в днища котлов, а также повреждения сливо-наливной арматуры при сходе цистерны с рельсов и опрокидывании на землю. Снижение вероятности разгерметизации котла достигается за счет рационального размещения арматуры на котле и уменьшения размеров ее выступающих частей, а также путем защиты арматуры и днища котла дополнительными техническими средствами.

5 ПРАКТИКУМ

5.1 Исходные данные для задания

С помощью одного из известных методов произведен анализ дестабилизирующих факторов F_{kn} и возможности их влияния на переход процесса движения поезда в некоторое опасное состояние $S_{ок}$. Полученные данные представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 - Вероятность возникновения опасного дестабилизирующего фактора

Опасный дестабилизирующий фактор, F_{kn}	Последняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_{k1}	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$	---	---	$5,5 \cdot 10^{-7}$	---	$1,5 \cdot 10^{-7}$	---	---
F_{k2}	---	$2,5 \cdot 10^{-6}$	---	$3,5 \cdot 10^{-7}$	---	$6,5 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	---	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,7 \cdot 10^{-6}$
F_{k3}	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$	$9,6 \cdot 10^{-7}$	$0,4 \cdot 10^{-7}$	---	---	$5,1 \cdot 10^{-7}$	$8,2 \cdot 10^{-6}$	---
F_{k4}	---	$4,2 \cdot 10^{-6}$	$3,4 \cdot 10^{-6}$	$3,3 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	---	$1,5 \cdot 10^{-7}$		$2,9 \cdot 10^{-6}$	$3,9 \cdot 10^{-6}$
F_{k5}	$1,5 \cdot 10^{-6}$	---	$9,8 \cdot 10^{-6}$	---	$0,9 \cdot 10^{-7}$	$1,5 \cdot 10^{-7}$	---	$2,4 \cdot 10^{-7}$	---	---
F_{k6}	---	$8,3 \cdot 10^{-6}$	---	$1,8 \cdot 10^{-7}$	---	$2,5 \cdot 10^{-7}$	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$4,2 \cdot 10^{-7}$	$6,3 \cdot 10^{-6}$	$7,6 \cdot 10^{-6}$
F_{k7}	$7,45 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$9,1 \cdot 10^{-6}$	---	$9,2 \cdot 10^{-7}$	---	---	$8,9 \cdot 10^{-7}$	---	---
F_{k8}	---	$3,6 \cdot 10^{-6}$	$2,5 \cdot 10^{-6}$	---	$8,6 \cdot 10^{-7}$	$3,2 \cdot 10^{-7}$	$8,1 \cdot 10^{-7}$	---	$5,0 \cdot 10^{-6}$	$2,6 \cdot 10^{-6}$
F_{k9}	$2,9 \cdot 10^{-6}$	---	$6,5 \cdot 10^{-6}$	$5,9 \cdot 10^{-7}$	$4,1 \cdot 10^{-7}$	---	---	$7,2 \cdot 10^{-7}$	$8,3 \cdot 10^{-6}$	---
F_{k10}	---	---	---	$3,4 \cdot 10^{-7}$	---	$3,9 \cdot 10^{-7}$	$0,4 \cdot 10^{-7}$	$2,7 \cdot 10^{-7}$	---	$4,2 \cdot 10^{-6}$

Таблица 3 - Условная вероятность перехода движения поезда в опасное состояние при возникновении дестабилизирующего фактора

Опасный дестабилизирующий фактор, F_{kn}	Предпоследняя цифра шифра студента									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_{k1}	0,099	0,057	0,039	0,122	0,016	0,117	0,074	0,024	0,046	0,008
F_{k2}	0,062	0,041	0,049	0,04	0,051	0,01	0,068	0,032	0,06	0,027
F_{k3}	0,025	0,058	0,05	0,141	0,144	0,072	0,027	0,04	0,013	0,014
F_{k4}	0,049	0,025	0,061	0,042	0,079	0,083	0,005	0,047	0,148	0,017
F_{k5}	0,067	0,151	0,018	0,073	0,002	0,023	0,04	0,027	0,006	0,028
F_{k6}	0,113	0,13	0,009	0,021	0,036	0,083	0,048	0,047	0,066	0,007
F_{k7}	0,072	0,018	0,128	0,073	0,08	0,016	0,081	0,019	0,086	0,012
F_{k8}	0,056	0,054	0,016	0,05	0,005	0,193	0,005	0,024	0,048	0,022
F_{k9}	0,009	0,023	0,098	0,121	0,103	0,003	0,047	0,067	0,025	0,022
F_{k10}	0,013	0,074	0,121	0,01	0,122	0,257	0,082	0,086	0,025	0,013

В таблице 2 представлены вероятности возникновения n -го опасного дестабилизирующего фактора F_{kn} , способного перевести движение поезда в k -е опасное состояние. Выбор дестабилизирующих факторов и вероятностей их появления осуществляется по последней цифре шифра студента.

В таблице 3 представлены значения условных вероятностей перехода движения поезда в состояние S_{ok}^n , если возник опасный дестабилизирующий фактор F_{kn} . Выбор значений условных вероятностей осуществляется по предпоследней цифре шифра студента.

Если в ячейке таблицы 2 стоит «прочерк», это означает, что соответствующий дестабилизирующий фактор не может перевести процесс движения поезда в рассматриваемое опасное состояние S_{ok} и поэтому не рассматривается, т.е. условная вероятность перехода движения поезда в опасное состояние равняется 0 (хотя в таблице 3 представлено не нулевое значение).

Необходимо определить частоту переходов процесса движения поезда в рассматриваемое опасное состояние $Q_T(S_{ok})$ за расчетное время T и частоту того, что движение поезда не перейдет в данное опасное состояние S_{ok} за это время.

5.2 Методические указания для выполнения задания

Вероятность перехода движения поезда в опасное состояние S_{ok} под действием опасного дестабилизирующего фактора F_{kn} за расчетное время T определяется выражением:

$$Q_T(S_{ok}^n) = Q_T(S_{ok}^n / F_{kn}) Q_T(F_{kn}),$$

где $Q_T(S_{ok}^n / F_{kn})$ - условная вероятность перехода движения поезда в состояние S_{ok}^n , если возник опасный дестабилизирующий фактор F_{kn} ;

$Q_T(F_{kn})$ - вероятность возникновения n -го опасного дестабилизирующего фактора, способного перевести движение поезда в k -е опасное состояние.

Используя данную формулу определить все значения $Q_T(S_{ok}^n)$ для соответствующих опасных дестабилизирующих факторов.

Вероятность того, что движение поезда не перейдет в k -е опасное состояние под действием n -го дестабилизирующего фактора за расчетное время, определяется выражением:

$$P_T(S_{ok}^n) = 1 - Q_T(S_{ok}^n).$$

Используя данную формулу определить все значения $P_T(S_{ok}^n)$ для соответствующих опасных дестабилизирующих факторов.

Результаты расчетов представить в виде таблицы 4.

Таблица 4- Результаты расчетов

Опасный дестабилизирующий фактор F_{kn}	F_{k1}	F_{k2}	...	F_{kn}	...	F_{k10}
Значение $Q_T(F_{kn})$						
Значение $Q_T(S_{ok}^n / F_{kn})$						
Значение $Q_T(S_{ok}^n)$						
Значение $P_T(S_{ok}^n)$						

Используя данные из последней строки таблицы 4 определим частоту того, что движение поезда не перейдет в опасное состояние S_{ok} за расчетное время по формуле:

$$P_T(S_{ok}) = \prod_{n=1}^{N_k} P_T(S_{ok}^n),$$

где N_k - общее число опасных дестабилизирующих факторов, способных перевести движение в k -е опасное состояние.

Тогда частоту переходов процесса движения поезда в рассматриваемое опасное состояние $Q_T(S_{ok})$ за расчетное время T можно определить как:

$$Q_T(S_{ok}) = 1 - P_T(S_{ok}).$$

5.3 Пример выполнения задания

Рассмотрим пример выполнения задания для шифра, у которого последние две цифры «00».

Исходные данные возьмем из таблиц 2 и 3 и представим их в виде таблицы 5.

Таблица 5 – Исходные данные для варианта «00»

Опасный дестабилизирующий фактор F_{kn}	F_{k1}	F_{k3}	F_{k5}	F_{k7}	F_{k9}
Значение $Q_T(F_{kn})$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$7,45 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$
Значение $Q_T(S_{ok}^n / F_{kn})$	0,099	0,025	0,067	0,072	0,009

Рассчитаем вероятность перехода движения поезда в опасное состояние S_{ok} под действием опасного дестабилизирующего фактора F_{k1} за расчетное время T :

$$Q_T(S_{ok}^1) = Q_T(S_{ok}^1 / F_{k1}) Q_T(F_{k1}) = 3,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,099 = 0,3465 \cdot 10^{-6}.$$

Рассчитаем вероятность того, что движение поезда не перейдет в k -е опасное состояние под действием первого дестабилизирующего фактора за расчетное время:

$$P_T(S_{ok}^1) = 1 - Q_T(S_{ok}^1) = 1 - 0,3465 \cdot 10^{-6} = 0,999999654.$$

Аналогично произведем расчеты для остальных опасных дестабилизирующих факторов. Результаты представим в виде таблицы 6.

Таблица 6 – Результаты расчетов для варианта «00»

Опасный дестабилизирующий фактор F_{kn}	F_{k1}	F_{k3}	F_{k5}	F_{k7}	F_{k9}
Значение $Q_T(F_{kn})$	$3,5 \cdot 10^{-6}$	$3,32 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$7,45 \cdot 10^{-6}$	$2,9 \cdot 10^{-6}$
Значение $Q_T(S_{ok}^n / F_{kn})$	0,099	0,025	0,067	0,072	0,009
Значение $Q_T(S_{ok}^n)$	$0,3465 \cdot 10^{-6}$	$0,083 \cdot 10^{-6}$	$0,1005 \cdot 10^{-6}$	$0,5364 \cdot 10^{-6}$	$0,0261 \cdot 10^{-6}$
Значение $P_T(S_{ok}^n)$	0,999999654	0,999999917	0,99999999	0,999999464	0,999999974

Далее определим частоту того, что процесс движения поезда не перейдет в опасное состояние S_{ok} за расчетное время по формуле:

$$P_T(S_{ok}) = \prod_{n=1}^{N_k} P_T(S_{ok}^n) = P_T(S_{ok}^1) \cdot P_T(S_{ok}^3) \cdot P_T(S_{ok}^5) \cdot P_T(S_{ok}^7) \cdot P_T(S_{ok}^9).$$

$$P_T(S_{ok}) = 0,999999654 \cdot 0,999999917 \cdot 0,99999999 \cdot 0,999999464 \cdot 0,999999974 = 0,999998908.$$

Тогда частоту переходов процесса движения поезда в рассматриваемое опасное состояние $Q_T(S_{ok})$ за расчетное время T определим как:

$$Q_T(S_{ok}) = 1 - P_T(S_{ok}) = 1 - 0,999998908 = 1,0925 \cdot 10^{-6}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. - М.: Наука, 1969. – 576 с.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
3. ГОСТ Р 22.0.05 - 94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Техногенные чрезвычайные ситуации. Термины и определения.
4. ГОСТ Р 22.2.08–96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасность движения поездов. Термины и определения.
5. ГОСТ Р 51901.1-2002 Менеджмент риска. Анализ риска технологических систем
6. Лисенков В.М. Безопасность ответственных технологических процессов и технических средств на транспорте // Автоматика, телемеханика и связь. - № 1. - 1992. – С. 8 – 11.
7. Лисенков В.М. Безопасность технических средств в системах управления движением поездов. – М.: Транспорт, 1992.
8. Лисенков В.М. Статистическая теория безопасности движения поездов: Учеб.для вузов. – М.: ВИНТИ РАН, 1999. – 332 с.
9. Лисенков В.М. Управление безопасностью перевозок и рисками потерь. Анализ безопасности и рисков потерь // Автоматика, связь, информатика. – 1996. - № 5. – С. 19 – 22.
10. Лисенков В.М. Управление безопасностью перевозок и рисками потерь. Штатные и нештатные состояния перевозочного процесса // Автоматика, связь, информатика. – 1996. - № 4. – С. 28 – 30.
11. Лисенков В.М., Лисенков А.В. Эффективно управлять безопасностью // Железнодорожный транспорт. – 2005. - № 10.