

УДК 72:699.8(083.7)

В.К. Екимов (Научно-производственная фирма ООО «СИГМА-ИС» г. Москва)

## СИСТЕМНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОДОРОЖНЫХ РАЗВЯЗОК ТОННЕЛЬНОГО ТИПА

*В статье представлены системы технической эксплуатации (СТЭ), примерный состав и требования к техническим средствам, обеспечивающим безопасность эксплуатации тоннельных сооружений*

В данной работе под техническими средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации автодорожных развязок тоннельного типа, понимаются программно-технические средства, осуществляющие контроль и управление технологическими процессами поддержания пропускной способности тоннеля на проектном уровне, и осуществляющие передачу информации об их состоянии по каналам связи в дежурно-диспетчерскую службу (ДДС) для последующей обработки с целью оценки, предвидения и ликвидации последствий воздействия дестабилизирующих факторов (ДФ) в реальном времени, а также для передачи информации о прогнозе и факте возникновения нештатных и чрезвычайных ситуаций (НШС и ЧС), в том числе вызванных террористическими актами, в единую дежурно-диспетчерскую систему (ЕДДС). Целевой функцией технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации автодорожных развязок тоннельного типа, является обеспечение гарантированной устойчивости и требуемого качества функционирования системы процессов жизнеобеспечения на контролируемых объектах и предоставление информационной поддержки принятия решений по предупреждению и ликвидации НШС и ЧС диспетчерами ДДС автодорожных развязок тоннельного типа и ЕДДС в условиях действия ДФ. Взаимодействие ТСБТ с указанными службами и контролируемые объектами пояснено на рис. 1, из которого видно, ДДС, ЕДДС, ДФ и контролируемые объекты являются для технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации автодорожных развязок тоннельного типа, (ТСБТ) внешней средой или средой функционирования [1].

Объектами контроля, а в ряде случаев и управления, являются подсистемы жизнеобеспечения и безопасности: теплоснабжение; вентиляция и кондиционирование; водоснабжение и канализация; электроснабжение; газоснабжение; инженерно-технический комплекс пожарной безопасности объекта; лифтовое оборудование; система оповещения; системы охранной сигнализации и видеонаблюдения; системы обнаружения повышенного уровня радиации, аварийных химически-опасных

веществ, биологически-опасных веществ, значительной концентрации токсичных и взрывоопасных концентраций газо-воздушных смесей и др.

Объектами контроля также являются инженерно-технические конструкции (конструктивные элементы) объектов автодорожной развязки.

Воздействие на ТСБТ и контролируемые объекты дестабилизирующих факторов является угрозой качественному и устойчивому функционированию транспортной развязки и безопасности ее эксплуатации. Поэтому ТСБТ должны обеспечивать возможность оценки и контроля следующих основных угроз:

- возникновения пожара;
- нарушения в системе отопления, подачи горячей и холодной воды, вызванные выходом из строя инженерного оборудования на центральных тепловых пунктах, котельных, а также авариями на трубопроводах и приборах отопления;
- нарушения в подаче электроэнергии;
- нарушения в подаче газа;
- отказа в работе противопожарного оборудования;
- несанкционированного проникновения в служебные помещения;
- повышенного уровня радиации, предельно допустимой концентрации аварийных химически опасных веществ; биологически опасных веществ; взрывоопасных концентраций газо-воздушных смесей;
- затопления помещений, дренажных систем и технологических приемков;
- утечки газа;
- отклонений от нормативных параметров производственных процессов, способных привести к возникновению чрезвычайных ситуаций;



Рис. 1. Схема взаимодействия ТСБТ с внешней средой (средой функционирования)

- изменения состояния инженерно-технических конструкций (конструктивных элементов) объектов;
- террористических актов;
- актов вандализма.

При выполнении своей целевой функции ТСБТ должны обеспечивать [2,3]:

- прогнозирование и предупреждение аварийных ситуаций путем контроля за параметрами процессов обеспечения функционирования объектов и определения отклонений их текущих значений от нормативных показателей;
- непрерывность сбора, передачи и обработки информации о значениях параметров процессов обеспечения безопасной эксплуатации объектов;
- формирование и передачу формализованной оперативной информации о состоянии технологических систем и изменении состояния инженерно-технических конструкций объектов в ДДС объекта;
- формирование и передачу формализованного сообщения о ЧС на объектах, в том числе вызванных террористическими актами, в ЕДДС;
- автоматизированный или принудительный запуск системы оповещения населения о произошедшей чрезвычайной ситуации и необходимых действиях по эвакуации;
- автоматизированное или принудительное оповещение соответствующих специалистов, отвечающих за безопасность объектов;
- автоматизированный или принудительный запуск систем предупреждения или ликвидации ЧС по определенным алгоритмам для конкретного объекта и конкретного вида ЧС, которые должны быть утверждены установленным порядком (прекращение подачи газа, воды, включение средств пожаротушения и т.п.). Алгоритмы должны обеспечивать комплексную, взаимосвязанную работу всех необходимых систем безопасности и жизнеобеспечения с целью

предупреждения и ликвидации ЧС. Для каждого вида ЧС, в т.ч. вызванных террористическими актами, должны быть разработаны свои алгоритмы предупреждения и ликвидации ЧС;

- документирование и регистрацию информации об аварийных ситуациях, а также действиях ДДС объектов.

Примерный состав ТСБТ и их системы технической эксплуатации (СТЭ) представлен на рис. 2. Как видно из этого рисунка ТСБТ рассматриваются во взаимосвязи с СТЭ и включают в себя следующие компоненты:

- комплекс измерительных средств, средств автоматизации и исполнительных механизмов;
- многофункциональная кабельная система;
- автоматизированная система диспетчерского управления инженерными системами объектов.

В комплекс измерительных средств входят: аналоговые и (или) цифровые датчики контроля технологических параметров; водо-, газо- и электросчетчики; датчики аварий с дискретными сигналами; датчики контроля изменения состояния инженерных несущих конструкций; датчики обнаружения повышенного уровня радиации, аварийных химически опасных веществ, биологически опасных веществ, значительной концентрации токсичных и взрывоопасных концентраций газо-воздушных смесей.

Комплекс средств автоматизации включает в себя программируемые логические контроллеры, обеспечивающие дистанционную передачу информации и дистанционное управление исполнительными механизмами.

В качестве исполнительных механизмов используются технические средства, обеспечивающие дистанционное управление механизмами (клапаны, задвижки, электроприводы, насосы и т.д.).

В многофункциональную кабельную систему включаются:

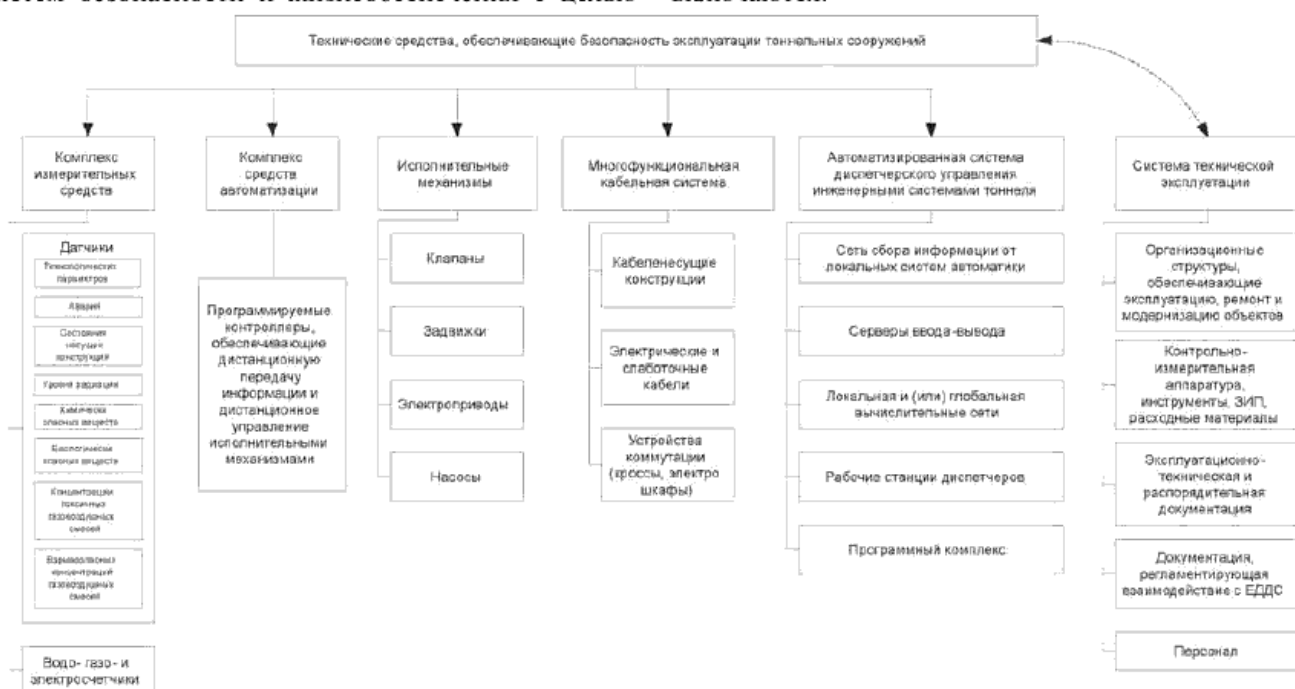


Рис. 2. Состав технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации автодорожных развязок тоннельного типа, и система их технической эксплуатации

- кабеленесущие конструкции;
- электрические и слаботочные кабели;
- коммутирующие устройства (кроссы, электрические шкафы).

В автоматизированную систему диспетчерского управления инженерными системами тоннеля входят:

- сеть сбора информации от локальных систем автоматики;
- серверы ввода-вывода;
- локальная и (или) глобальная вычислительные сети;
- рабочие станции диспетчеров;
- программный комплекс.

К системе технической эксплуатации, которую условно считают административным ресурсом, относятся:

- организационные структуры, обеспечивающие эксплуатацию объектов;
- контрольно-измерительное и тестовое оборудование, ЗИП, расходные материалы, транспорт для доставки аварийно-восстановительных бригад и ремонтников к месту аварии или поломки оборудования;
- эксплуатационно-техническая и распорядительная документация;
- документация, регламентирующая взаимодействие с ЕДДС;
- личный состав (персонал).

При решении задач, связанных с обеспечением безопасности тоннельных сооружений, ТСБТ должны вырабатывать информацию для поддержки принятия решений в момент времени, когда выполняются следующие процедуры:

- получение информации о прогнозе или возникновении ЧС, в том числе вызванной террористическим актом;
- анализ и оценка достоверности поступившей информации о ЧС, доведение ее до ДДС, в компетенцию которых входит реагирование на принятое сообщение;
- обработка и анализ данных о ЧС, определение ее масштаба и уточнение состава аварийно-восстановительной бригады ДДС, привлекаемой для реагирования на ЧС;
- оперативное управление аварийно-спасательными службами, пожарными, пожарно-спасательными и аварийно-спасательными формированиями, постановку и доведение до них задач по локализации и ликвидации последствий ЧС, принятие необходимых экстренных мер и решений (в пределах установленных вышестоящими органами полномочий);
- обобщение, оценка и контроль данных обстановки, принятых мер по ликвидации чрезвычайной ситуации, уточнение и корректировка (по обстановке) заранее разработанных и согласованных с городскими службами вариантов мероприятий по ликвидации ЧС;
- постоянное информирование ДДС, привлекаемых к ликвидации ЧС, подчиненных сил постоянной готовности об обстановке, принятых и рекомендуемых мерах;
- представление докладов (донесений) вышес-

стоящим органам управления по подчиненности об угрозе или возникновении ЧС в сложившейся обстановке, возможных вариантах решений и действиях по ликвидации ЧС (на основе ранее подготовленных и согласованных планов);

- доведение задач, поставленных вышестоящими органами до ДДС и подчиненных сил постоянной готовности, контроль их выполнения и организация взаимодействия;
- обобщение информации о произошедших за сутки дежурства ЧС, ходе работ по их ликвидации и представление соответствующих докладов по подчиненности.

Оснащение автодорожных развязок тоннельного типа техническими средствами, обеспечивающими безопасность эксплуатации, осуществляется при проведении:

- проектных, строительных и монтажных работ – для вновь строящихся объектов;
- ремонта, реконструкции и модернизации – для объектов, находящихся в эксплуатации.

ТСБТ должны удовлетворять следующим основным требованиям [2]:

- обеспечивать автоматизированный контроль и управление необходимыми для предупреждения и ликвидации ЧС инженерными системами;
- иметь модульную структуру и быть «открытыми», обеспечивать при необходимости возможность диспетчеризации и управления вновь устанавливаемым оборудованием инженерных систем;
- допускать возможность объединения с другими информационными системами мониторинга и управления;

В ТСБТ должны быть предусмотрены автоматический – ручной и дистанционный – местный режимы работы.

ТСБТ должны иметь открытую архитектуру, допускать последующее расширение, как по числу объектов автоматизации, так и по числу функций, а также быть готовыми к интеграции с другими системами мониторинга и управления.

ТСБТ должны быть ориентированы на структурированные информационные кабельные сети.

ТСБТ должны иметь иерархическую многоуровневую структуру:

уровень 1 – структурированная информационная кабельная система (использование для организации сетей связи информационной кабельной системы должно обеспечить универсальность и гибкость проектных решений, удобство администрирования и расширяемость системы в будущем);

уровень 2 – первичные датчики и исполнительные устройства, а также устройства согласования сигналов первичных датчиков с входами контроллеров сбора информации;

уровень 3 – контроллеры сбора информации (удаленные модули ввода-вывода), программируемые логические контроллеры, интеллектуальные панели управления оборудованием, рабочие станции управления инженерными системами (в качестве сети

передачи данных между этим уровнем и уровнем 4 должна использоваться сеть на базе последовательных интерфейсов EIA/TIA 232 (485), при этом следует использовать соответствующие открытые стандартные протоколы цифровой периферии MODBUS, LONTalk, SNMP и пр.);

уровень 4 – серверы ввода/вывода ТСБТ (сервер ТСБТ должен содержать средства организации обмена информацией с диспетчерскими автоматизированными рабочими местами (на базе локальной вычислительной сети) и контроллерами сбора информации (по объектовым шинам), а также специализированное программное обеспечение на базе SCADA-системы для сбора и архивирования информации, поступающей от инженерных систем, сервер ТСБТ должен передавать оперативные данные персоналу объекта через другие информационные сети);

уровень 5 – автоматизированные рабочие места диспетчеров (на этом уровне иерархии на рабочих станциях функционирует специализированное программное обеспечение для мониторинга и управления оборудованием инженерных систем, сетью связи на этом уровне является локальная сеть объекта, автоматизированные рабочие места диспетчеров должны быть оснащены общепризнанными геоинформационными системами, открытыми для интеграции с ЕДДС и другими системами (ERP, SCADA и др.) с возможностью использования различных баз данных под управлением известных систем управления базами данных (MS SQL, ORACLE, DB2).

Требования к надежности характеризуются следующими показателями. Срок службы ТСБТ должен составлять не менее 10 лет с учетом замены неисправных и выработавших свой ресурс компонент. Среднее

время наработки на отказ ТСБТ – не менее 10 000 ч. Среднее время восстановления работоспособности ТСБТ – не более 30 мин.

Для оперативного устранения неисправностей оборудования должен быть предусмотрен необходимый комплект запасных частей, инструмента и принадлежностей.

Цель функционирования ТСБТ состоит в том, чтобы обеспечить заданный уровень безопасности эксплуатации тоннельных сооружений. В данной работе понятие «безопасность эксплуатации» трактуется как состояние технологического процесса, при котором отсутствует недопустимый риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, имуществу физических или юридических лиц, государственному или муниципальному имуществу, окружающей среде, жизни или здоровью животных или растений. Уровень риска оценивается методами [4], наиболее распространенные из которых приведены в табл. 1. Из анализа данных, представленных в табл. 1, следует вывод: почти каждый из рассмотренных методов предполагает наличие при расчете параметров технологического процесса и уровня риска, связанного с эксплуатацией технических средств, априорных оценок (в том числе прогнозируемых) их надежности.

Типичный пример количественной оценки уровня риска (в соответствии с приведенным выше определением) представлен на рис. 3, где построено «дерево событий» [4] для события «возгорание бензина, пролившегося на проезжую часть вследствие аварии».

На этом рисунке под вершинами графа, соответствующими иницирующему и результирующим событиям, проставлена частота возникновения этих событий. Рядом с вершинами графа, соответствующими

Таблица 1

Наиболее распространенные методы анализа риска

Название метода	Краткое описание метода
Анализ «дерева событий»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализ частот событий, в которых используется индуктивный подход с целью перевода различных иницирующих воздействий в возможные исходы
Анализ видов и последствий (критичности) отказов	Совокупность приемов идентификации главных источников опасности и анализа частот событий, с помощью которых анализируются все аварийные состояния данной единицы оборудования на предмет их влияния как на другие компоненты, так и на систему в целом
Анализ «дерева неисправностей»	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот нежелательного события, с помощью которых определяются все пути его реализации. Используется графическое изображение
Исследование опасности и связанных с ней проблем	Совокупность приемов идентификации фундаментальной опасности, при помощи которых оценивается каждая часть системы с целью обнаружения того, могут ли происходить отклонения от назначения конструкции и какие последствия это может повлечь
Анализ влияния человеческого фактора	Совокупность приемов анализа частот событий в области воздействия людей на показатели работы системы, при помощи которых определяется влияние ошибок человека на надежность
Предварительный анализ опасности	Совокупность приемов идентификации опасности и анализа частот событий, используемых на ранней стадии проектирования с целью идентификации опасностей и оценки их критичности
Структурная схема надежности	Совокупность приемов анализа частот событий, на основе которых создается модель системы и ее резервов для оценки надежности системы

щими процедурам принятия решений, указаны оценки вероятности выбора решения. Эти оценки можно получить только в том случае, если известен уровень надежности технических средств автоматического пожаротушения и оповещения на заданный, в том числе и прогнозируемый, момент времени.

Таким образом, обеспечение безопасности эксплуатации сопряжено со сбором, анализом и обработкой, включая предсказательные функции, информации, позволяющей оценить уровень надежности технических средств, в том числе и ТСБТ, задействованных на исследуемом объекте для обеспечения его комплексной безопасности. Надежность ТСБТ можно рассматривать как один из критериев безопасности эксплуатации: чем выше уровень надежности ТСБТ, тем меньше риск, связанный с причинением вреда жизни или здоровью граждан, находящихся в тоннеле и прилегающих к нему территориях, автотранспорту, тоннельным сооружениям, окружающей среде, то есть тем выше уровень безопасности эксплуатации. Поэтому управление надежностью ТСБТ можно рассматривать как дополнительный инструмент управления указанным выше риском и удержания его в процессе эксплуатации тоннеля на заданном уровне. Для осуществления такого управления необходимо разработать технологию управления

надежностью ТСБТ в виде комплекса методик сбора, анализа и обработки информации (включая обязательное наличие предсказательных функций) позволяющего оценить уровень надежности ТСБТ.

Можно показать, что показатель, характеризующий уровень надежности ТСБТ, представляют собой оценку вероятности того, что в момент решения перечисленных выше задач по обеспечению безопасности, технические средства будут работоспособны, то есть он соответствует комплексному показателю надежности - коэффициенту готовности по определению. Коэффициент готовности  $K_r$  вычисляется по формуле:

$$K_r = \frac{T_H}{T_H + T_B}, \quad (1)$$

где  $T_H$  – время наработки объекта на отказ,  $T_B$  – время восстановления объекта после отказа.

Значение коэффициента готовности с учетом указанных выше требований к надежности ТСБТ составляет 0,99995. Если в результате ремонта, модернизации, реконструкции установлены новые или дополнительные технические средства, даже отвечающими указанным требованиям по надежности, но ресурсы СТЭ остаются неизменными (что почти всегда имеет место на практике), то коэффициент

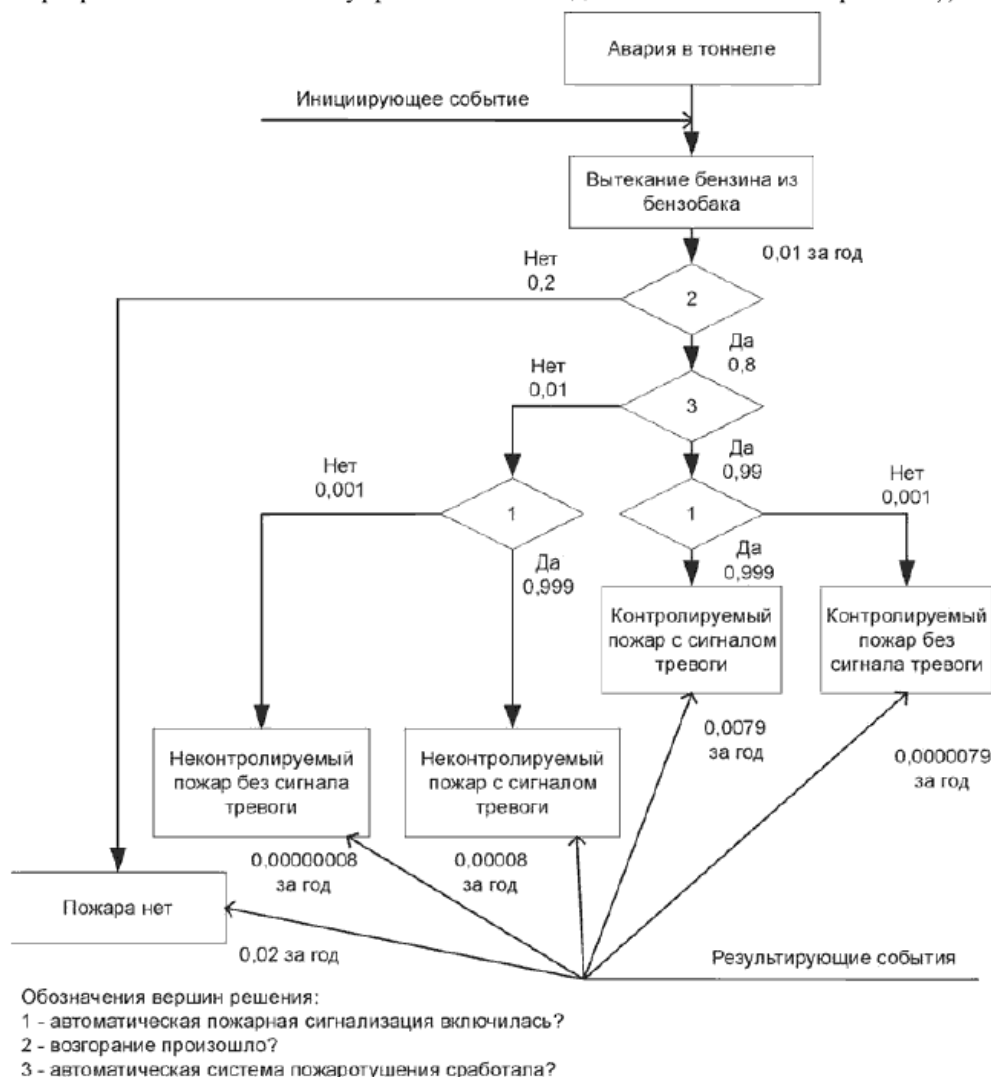


Рис. 3. Пример «дерева событий» для события «возгорание бензина, пролившегося на проезжую часть тоннеля вследствие аварии»

готовности может упасть ниже допустимого уровня. В качестве примера на рис. 4 представлен график зависимости удельного коэффициента готовности от удельной оснащённости участка тоннеля техническими средствами, обеспечивающими безопасность его эксплуатации.

Удельные коэффициент готовности  $K_g$  и оснащённость ТС рассчитываются по формулам:

$$K_g = \frac{\prod_{i=1}^N K_{gi}}{(x_2 - x_1)}, \quad (2)$$

$$TC = \frac{\sum_{i=1}^N TC_i}{(x_2 - x_1)}, \quad (3)$$

где  $K_{gi}$  – коэффициент готовности  $i$ -го технического средства, размещенного на участке тоннеля  $(x_2 - x_1)$  по состоянию на текущий момент времени;  $TC_i$  – нормированная оснащённость  $i$ -го технического средства, размещенного на участке тоннеля, приведенная к оснащённости данного технического средства на момент сдачи его в эксплуатацию;  $x_1$  – координата начала рассматриваемого участка тоннеля;  $x_2$  – координата конца рассматриваемого участка тоннеля;  $N$  – число технических средств, размещенных на участке тоннеля.

На рис. 4 видно, что с ростом оснащённости коэффициент готовности уменьшается. Если оснащённость участка тоннеля увеличить более, чем в 2,2 раза, то значение коэффициента готовности упадет ниже допустимого значения  $K_g \text{ доп}$ . Дальнейшее наращивание оснащённости, вызванное стремлением дополнительно повысить безопасность, приведет к снижению надежности ТСБТ ниже заданного уровня и желаемое повышение безопасности эксплуатации не будет достигнуто. Поэтому зависимость, представленная на рис. 4, имеет большое практическое значение при решении вопросов дооснащения тоннельных сооружений системами безопасности.

Величина оснащённости, соответствующая  $K_g \text{ доп}$ , обозначена на рис. 4 как  $TC_{гр}$  (то есть это граничное значение оснащённости). Проведенные исследования показывают, что эта граница сдвигается вправо или влево в зависимости от организационно-технических ресурсов СТЭ, которые характеризуются значением  $T_r$  технических средств, размещенных на рассматриваемом участке тоннеля. Например, от величины времени восстановления ТСБТ, являющейся основным показателем качества работы СТЭ, эта зависимость имеет вид, приведенный на рис. 5, где  $T_{B1} > T_{B2} > T_{B3}$ .

Из представленных на рис. 5 зависимостей следует, что коэффициент готовности достаточно сильно зависит от величины организационно-технического ресурса СТЭ ТСБТ: при одной и той же оснащённости участка тоннеля его граничная оснащённость может меняться более чем в три раза из-за изменения величины времени восстановления ТСБТ после отказа. Поэтому технология управления надежностью ТСБТ должна включать в состав указанного выше комплекса научно-методические средства, позволяющие определить влияние качества и устойчивости функционирования СТЭ ТСБТ на показатели надежности ТСБТ.

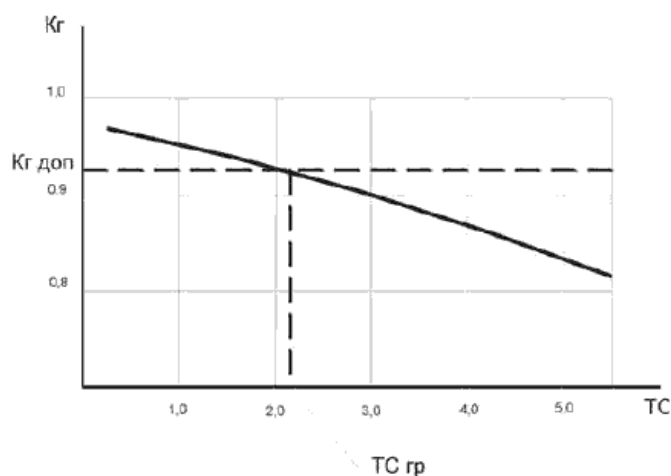


Рис. 4. Зависимость коэффициента готовности от оснащённости участка тоннеля техническими средствами, обеспечивающими безопасность его эксплуатации

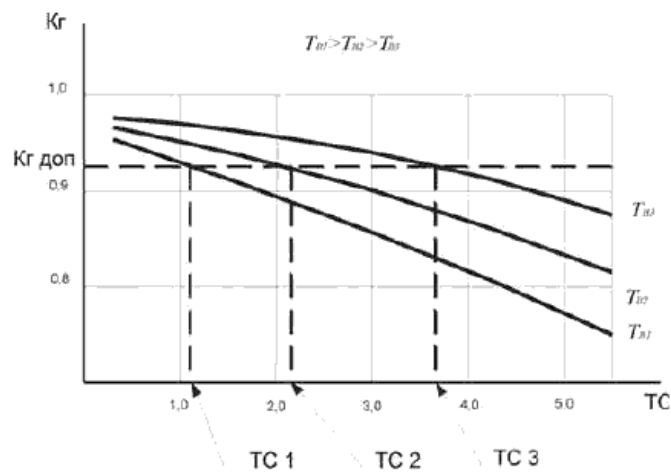


Рис. 5. Смещение граничного значения оснащённости в зависимости от величины времени восстановления ТСБТ на участке тоннеля после отказа

#### Литература

1. Вунш Г. Теория систем: Пер. с нем. Т.Э. Кренкеля. – М., «Сов. Радио», 1978. – 288 с., ил.
2. ГОСТ Р 22.1.12–2005 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Структурированная система мониторинга и управления инженерными системами зданий и сооружений. Общие требования.
3. Рекомендация МСЭ «Техническая эксплуатация: введение и общие принципы технической эксплуатации и организация технической эксплуатации». Рек. М.20, М.21, М.60, М.495 МСЭ-Т.
4. ГОСТ Р 51901-2002 Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.