

Модель обеспечения безопасности и управления риском эксплуатации автодорожной транспортной развязки тоннельного типа

Авторы:

к.т.н. Антонец В.Р.,

д.т.н. Дворянкин С.В.,

Екимов В.К.,

к.т.н. Чухно В.И

Согласно федеральному закону «О техническом регулировании» под безопасностью эксплуатации понимается состояние, 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 и растений. Как следует из этого определения, главным критерием безопасности эксплуатации является отсутствие недопустимого риска. Поскольку объективно риск причинения вреда зависит не только от характера и качества технических средств и качества процессов, но также от поведения человека, требования по безопасности эксплуатации не могут быть абсолютными, а должны устанавливать допустимую степень риска. Следовательно, понятие «риск» неразрывно связано с понятием безопасности регулируемых объектов и отражает степень вероятности причинения вреда, то есть допустимый риск (безопасность) или недопустимый риск, а технические средства, обеспечивающие безопасность эксплуатации автодорожной транспортной развязки тоннельного типа (ТСБТ) должны способствовать удержанию риска в допустимых пределах.

Как следует из приведенного выше определения риска, существует вероятность $p(h_i)$ причинения вреда от воздействия h_i , вызванного некоторым явлением (событием, случаем) или вероятность $p(h_i, h_j, \dots, h_k)$ причинения вреда от нескольких воздействий h_i, h_j, \dots, h_k одновременно, вызванных рядом явлений (событий, случаев), которые могут произойти в интересующий интервал времени (интервал наблюдения), и следствием которых может стать выход параметров (в том числе и риска) процесса эксплуатации автомобильной развязки тоннельного типа (АРТТ) из допустимых пределов: нарушение (или опасность нарушения) физической целостности металлоконструкций, технических сооружений, оборудования, кабельной системы; превышение предельно допустимой концентрации вредных для здоровья или взрывоопасных веществ (газов) в тоннеле; затопление, вызванное сильным ливнем и т.п.

- множество $R = \{r_i\}$ решений, связанных с выбором мер и мероприятий по устранению последствий нежелательных воздействий на процесс эксплуатации АРТТ;

- множество $M = \{m_i\}$ мер и мероприятий по устранению последствий нежелательных воздействий на процесс эксплуатации АРТТ;

- множество $U = \{u_i\}$ технических средств, задействованных в работе по устранению последствий нежелательных воздействий на процесс эксплуатации АРТТ;

- множество временных интервалов $T = \{\Delta t_i\}$, отведенных на проведение работ по устранению последствий нежелательных воздействий на процесс эксплуатации АРТТ.

Каждое из множеств H, R, M, U, T делится на два подмножества по признаку «ситуация штатная или нештатная»:

$$\begin{array}{llll}
 H = \{h_i\} & H^s \subset H & H^{ns} \subset H & |H| = f_H(t) \\
 R = \{r_i\} & R^s \subset R & R^{ns} \subset R & |R| = f_R(t) \\
 M = \{m_i\} & M^s \subset M & M^{ns} \subset M & |M| = f_M(t), \\
 U = \{u_i\} & U^s \subset U & U^{ns} \subset U & |U| = f_U(t) \\
 T = \{\Delta t_i\} & T^s \subset T & T^{ns} \subset T & |T| = f_T(t)
 \end{array} \quad (6)$$

где t - текущее время, а подмножества штатных (предусмотренных в технической документации на систему) воздействий, решений, мер и мероприятий, задействованных технических средств и временных интервалов отмечены верхним индексом s . Подмножества случившихся воздействий, принятых решений, предпринятых мер, задействованных технических средств, показателей временных затрат в нештатных и чрезвычайных ситуациях за время эксплуатации АРТТ отмечены верхним индексом ns . Мощность каждого из множеств H, R, M, U, T , как это следует из (6), зависит от текущего времени потому, что модель предполагает накопление, обработку и использование опыта эксплуатации АРТТ. Это означает, что после устранения последствий явления h_i вся информация, полученная в ходе выполнения работ, связанных с их устранением, анализируется с целью разделения ее на информационные единицы и распределения их по множествам H, R, M, U, T . В результате количество элементов в множествах растет или, другими словами, увеличивается их мощность (кардинальное число) /2/.

В штатной ситуации явлениям h_i, h_j, \dots, h_k в выбранном интервале наблюдения соответствует один или несколько элементов множества $M^s = \{m_i\}$ мер по устранению нежелательных воздействий на процесс эксплуатации

АРТТ в штатных ситуациях. Если параметры процесса ухудшаются вследствие воздействий h_i, h_j, \dots, h_k , то принимаются предписанные меры, проводятся соответствующие мероприятия и риск снижения безопасности эксплуатации ниже проектного уровня остается в заданных пределах.

В нештатной или чрезвычайной ситуации явлениям h_i, h_j, \dots, h_k в выбранном интервале наблюдения соответствует один или несколько элементов множеств $M^s = \{m_i\}$, $M^{ns} = \{m_i\}$ мер по устранению нежелательных воздействий на процесс эксплуатации АРТТ. Число используемых технических средств может возрасти за счет привлечения дополнительной техники, причем в ряде случаев необходимо учитывать условие

$$U_i^s \cap U_i^{ns} \neq \emptyset. \quad (7)$$

Выражения (5) - (7) позволяют построить следующую теоретико-множественную модель функционирования АРТТ:

$$\begin{aligned} h_i^s &\Leftrightarrow A = R^s \cap M^s \cap U^s \cap T^s \\ h_i^{ns} &\Leftrightarrow A \cap R^{ns} \cap M^{ns} \cap U^{ns} \cap T^{ns}, \end{aligned} \quad (8)$$

где h_i^s - воздействия, влекущие штатную ситуацию, h_i^{ns} - воздействия, грозящие нештатной или чрезвычайной ситуацией.

Модель (8) позволяет перейти, с учетом результатов работы /3/, от теоретико-множественных представлений к вероятностной модели: воздействие h_i^s , связано с событием, которое состоит в том, что одновременно произойдут события, характеристики которых содержатся в элементах $r_i, m_i, u_i, \Delta t_i$, содержащихся в пересечении множеств (8). При этом вероятность $p(h_i^s)$ устранения последствий воздействия h_i^s на процесс эксплуатации в штатной ситуации равна

$$p(h_i^s) = \prod_{j=r, m, u, \Delta t} p_{ij}^s, \quad (9)$$

а вероятность $p(h_i^{ns})$ устранения последствий воздействия h_i^{ns} на процесс эксплуатации в нештатной ситуации составит

$$p(h_i^{ns}) = \prod_{j=r, m, u, \Delta t} p_{ij}^{ns}, \quad (10)$$

где индексы $r, m, u, \Delta t$ присвоены вероятностям принятия решений, выбора мер, технических средств и выполнения временных нормативов адекватно ситуации. Выражения (9), (10) представляют собой модель, отражающую вероятность причинения вреда воздействиями h_i^s и h_i^{ns} . Эта модель позволяет делать количественные оценки возможных негативных последствий от проявления h_i^s и h_i^{ns} известными методами /4,5/ и на основе этих оценок с

помощью неравенств (1) - (4) определять обеспечена безопасность эксплуатации АРТТ или нет.

Кроме того, из (9), (10) вытекает, что если отсутствует технология оперативного вычисления каждого члена произведений в правой части (в том числе и вероятности того, что в момент проявления воздействия ТСБТ будут работоспособны), то оценка уровня безопасности эксплуатации будет недостаточно верной вследствие неполноты описания процесса восстановления. Этот вывод отражает важную особенность модели (9), (10): она позволяет оценивать уровень надежности ТСБТ во взаимосвязи с другими факторами, определяющими качество и устойчивость обеспечения безопасности эксплуатации АРТТ, то есть в ней выдержана системность подхода к оценке уровня надежности.

Парциальные составляющие p_{iu}^s , p_{iu}^{ns} правой части формул (9), (10), характеризующие уровень надежности ТСБТ, представляют собой оценку вероятности того, что в момент проведения работ по устранению нежелательных последствий воздействия h_i, h_j, \dots, h_k технические средства будут работоспособны, то есть по определению /6/ они соответствуют комплексному показателю надежности - коэффициенту готовности и могут быть рассчитаны стандартными методами /7/.

При количественной оценке парциальных составляющих p_{ir}^s , p_{im}^s , $p_{i\Delta t}^s$, p_{ir}^{ns} , p_{im}^{ns} , $p_{i\Delta t}^{ns}$ в правой части выражений (9), (10) необходимо иметь однозначное описание тех структурных элементов АРТТ, которые подлежат защите от воздействий h_i^s , h_i^{ns} и далее именуются защищаемыми элементами.

Множество защищаемых элементов модели функционирования АРТТ $M_{эз}$ характеризуется следующим семейством множеств:

$$\begin{aligned}
 M_{эз} &= M_p \cup M_\delta \\
 M_p &= M_{лс} \cup M_{инф} \cup M_{мц} & M_\delta &= M_{уд} \cup M_{эксн} \cup M_{об} \\
 M_{лс} &= M_{тп} \cup M_{вод} & M_{уд} &= M_{уди} \cup M_{уднс} \cup M_{удчс} , \\
 M_{инф} &= M_{сои} \cup M_{опо} & M_{эксн} &= M_{эш} \cup M_{энс} \cup M_{эчс} \\
 M_{мц} &= M_{тс} \cup M_{кс} \cup M_{тп} & M_{об} &= M_{охр} \cup M_{нж} \cup M_{тх}
 \end{aligned} \tag{11}$$

обозначение и краткое описание которых приведены в таблице 1.

Таблица 1. Обозначения подмножеств семейства множеств $M_{эз}$ защищаемых элементов и их краткие описания.

| Обозначение | Наименование предметной области, соответствующей подмножеству | Обозначение | Наименование предметной области, соответствующей подмножеству |
|-------------|---|-------------|---|
| M_p | Ресурсы | $M_{экс}$ | Эксплуатация технических средств |
| M_d | Деятельность | $M_{об}$ | Обеспечение безопасности |
| $M_{лс}$ | Личный состав | $M_{удш}$ | Управление дорожным движением в штатном режиме |
| $M_{инф}$ | Элементы информационных технологий | $M_{уднс}$ | Управление дорожным движением в нештатной ситуации |
| $M_{мц}$ | Материальные ценности | $M_{удчс}$ | Управление дорожным движением в чрезвычайной ситуации |
| $M_{тп}$ | Технический персонал | $M_{эш}$ | Эксплуатация технических средств в штатном режиме |
| $M_{вод}$ | Водители автотранспорта | $M_{энс}$ | Эксплуатация технических средств в нештатной ситуации |
| $M_{сои}$ | Системы обработки информации | $M_{эчс}$ | Эксплуатация технических средств в чрезвычайной ситуации |
| $M_{доп}$ | Документация и программное обеспечение | $M_{охр}$ | Обеспечение охранной безопасности |
| $M_{тс}$ | Технические средства, $U \subset M_{тс}$ | $M_{пжс}$ | Обеспечение пожарной безопасности |
| $M_{кс}$ | Конструкции и сооружения | $M_{тх}$ | Обеспечение технологической безопасности |
| $M_{тп}$ | Транспорт | $M_{уд}$ | Управление дорожным движением |

Для того, чтобы сделать количественные оценки вероятностей p_{ir}^s , p_{im}^s , $p_{i\Delta t}^s$, p_{ir}^{ns} , p_{im}^{ns} , $p_{i\Delta t}^{ns}$ с помощью (11) известными методами [1], необходимо точно определить процедуру декомпозиции (11) на терминальные информационные единицы [1], количество которых определяет размерность задачи расчета вероятностей и, соответственно, ее практическую осуществимость. Для определения процедуры декомпозиции (11), необходимо ввести понятие «угроза безопасной эксплуатации АРТТ» как явление (событие, случай), которое может произойти в интересующий интервал времени (интервал наблюдения), и следствием которого могут быть нежелательные воздействия на процесс эксплуатации АРТТ вообще и защищаемые элементы АРТТ в частности.

Поиск, отбор и классификация угроз для каждого элемента защиты осуществляется в два этапа: на первом определяется множество источников угроз M_{uy} , на втором - множество угроз $M_y = \{q_i\}$. Множество источников угроз формируется на основе результатов проведенного поиска источников угроз из трех подмножеств: подмножество источников угроз $M_{чф}$, обусловленных человеческим фактором; подмножество источников угроз $M_{ня}$, вызванных природными явлениями; подмножество источников угроз $M_{тя}$, причиной которых служат техногенные явления:

$$M_{uy} = M_{чф} \cup M_{ня} \cup M_{тя}. \quad (12)$$

Элементы этих подмножеств классифицируются по определенному (конечному, счетному) множеству M_{np}^y классификационных признаков или критериев угроз в соответствии с выражением:

$$M_{uy} \Leftrightarrow M_{np}^y \times \{\psi_i^y(\Delta t_j^y) : i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m\} \rightarrow M_y, \quad (13)$$

правая часть которого представляет собой декартово произведение множества признаков угроз M_{np} на множество порогов ψ_i^y различимости этих угроз и интервалов наблюдения Δt_j^y процесса проявления угроз (предполагается, что задано n значений порога и m значений интервала наблюдения). Применение классификационного правила (13) позволяет однозначно определить множество угроз $M_y = \{q_i\}$ для определенного набора интервалов наблюдения (этот набор выбирается на основе имеющегося опыта эксплуатации отечественных и зарубежных АРТТ).

Выбор порогов различимости является сложной многокритериальной задачей, для упрощения решения которой в данной работе предлагается следующая методика определения порога различимости по единственному критерию: величине убытков, полученных в результате устранения последствий, вызванных реализацией угрозы. Краткое описание этой методики представлено ниже.

На АРТТ воздействуют внутренние и внешние дестабилизирующие факторы F_x^a , являющиеся внешним проявлением угроз. Верхний индекс в обозначении воздействующего фактора – идентификационный, относящий его к одному из элементов M_{np} , нижний – показывает сколько раз зафиксировано воздействие данного фактора на протяжении выбранного интервала наблюдения. Множество дестабилизирующих факторов является подмножеством множества угроз: $M_y \supset F = \{F_x^a\}$.

Множество M_x^a признаков, характеризующих изменение состояния процесса эксплуатации АРТТ (штатная, нештатная, чрезвычайная ситуация и т.п.), появление которых вызвано воздействием дестабилизирующих факторов F_x^a , $M_{np} \supset M_x^a = \{a_i\}$.

Проявление каждого признака a_i сопряжено с расходами c_i на устранение последствий (в том числе и компенсацию моральных и материальных потерь), вызванных его проявлением. Эти расходы образуют множество расходов $M_{расх} = \{c_i\}$.

Порог различимости $\psi(\Delta t)$, как критерий классификации объектов при проведении декомпозиции семейства множеств (11), вводится для того, чтобы с помощью индикаторной функции

$$b_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{c_i}{\sup M_{расх}} \geq \psi(\Delta t) \\ 0, & \text{если } \frac{c_i}{\sup M_{расх}} < \psi(\Delta t) \end{cases}, \quad (14)$$

определить, проявляется признак a_i при данном воздействии F_x^a или нет, и представляет собой число, значение которого постоянно на всем интервале наблюдения Δt . С учетом этой функции множество классификационных признаков или критериев преобразуется к виду

$$M_{np} \supset bM_x^a = b_i\{a_i\} \supset M_x^{ab} = \{a_i b_i\}. \quad (15)$$

Согласно (15), если признак проявляется на выбранном интервале наблюдения с превышением порога различимости, то он учитывается в выражении (13), а если его проявление не превышает заданного порога, то он не принимается во внимание, поскольку в этом случае произведение $a_i b_i$ равно нулю. В результате появляется возможность классификации объектов модели (9), (10) на единой методологической основе: по величине причиненных проявлениями дестабилизирующего фактора убытков.

По такой же методике осуществляется выбор и классификация мероприятий по обеспечению безопасности защищаемых элементов АРТТ от возможных угроз:

$$M_y \Leftrightarrow M_{np}^{M3} \times \{\psi_i^{M3}(\Delta t_j^{M3}): i=1,2,\dots,k; j=1,2,\dots,l\} \rightarrow M_3 \supset U = \{u_i\}, \quad (16)$$

где M_{np}^{M3} - множество классификационных признаков, по которым осуществляется классификация мер и мероприятий по обеспечению безопасности защищаемых элементов от возможных угроз; ψ_i^{M3} , Δt_i^{M3} - пороги различимости и интервалы наблюдения, используемые при выборе и классификации мер защиты, составляющих множество мероприятий по обеспечению безо-

пасности защищаемых элементов АРТТ от возможных угроз (мер нейтрализации угроз) M_3 .

Множество M_3 мер защиты АРТТ от возможных угроз разделяется на четыре классификационные группы по критерию «способ реализации»:

$$M_3 = M_3^{opz} \cup M_3^{tex} \cup M_3^{физ} \cup M_3^{oper}, \quad (17)$$

где M_3^{opz} , M_3^{tex} , $M_3^{физ}$, M_3^{oper} - множества информационных элементов, характеризующие организационные, технические, физические и оперативные меры защиты тоннельных сооружений от возможных угроз, соответственно.

Модель (11) - (17) позволяет обобщить порождающие правила (5) на этап эксплуатации АРТТ, и, таким образом, сделать их пригодными для использования на всех этапах жизненного цикла ТСБТ. В этом еще одно отличие модели (9), (10) от известных моделей. Необходимость и практическая целесообразность построения такой модели показаны на полукачественном уровне в работе /8/. В данной работе модель разработана в виде теоретико-множественных положений и имеет вид:

$$M_{uy} \Leftrightarrow M_{np}^y \times \{\psi_i^y(\Delta t_j^y): i=1,2,\dots,n; j=1,2,\dots,m\} \rightarrow M_y \cap R \supset H, \quad (18)$$

$$M_y \Leftrightarrow M_{np}^{m3} \times \{\psi_i^{m3}(\Delta t_j^{m3}): i=1,2,\dots,k; j=1,2,\dots,l\} \rightarrow M_3 \cap R \supset M, \quad (19)$$

$$U \Leftrightarrow H \times M \times R \times \{\psi_i^{mc}(\Delta t_j^{mc}): i=1,2,\dots,g; j=1,2,\dots,q\}, \quad (20)$$

$$T \Leftrightarrow H \times M \times R \times \{\psi_i^{su}(\Delta t_j^{su}): i=1,2,\dots,v; j=1,2,\dots,w\}, \quad (21)$$

$$H \Rightarrow R \Rightarrow M \Rightarrow U \Rightarrow T, \quad (22)$$

где n, m, k, l, g, q, v, w - текущие индексы порога различимости и интервала наблюдения, характеризующие количество классификационных уровней по критерию величины материальных и моральных потерь, вызванных проявлением дестабилизирующих факторов.

Задавая значения n, m, k, l, g, q, v, w можно уже на этапе стратегического маркетинга оценить размерность задач, которые необходимо решить при обеспечении безопасности эксплуатации АРТТ, и научно обоснованно выработать технические требования к ТСБТ, предназначенным для решения этих задач, сводя таким образом к минимуму проявление несогласованности проектов ТСБТ с планами развития АРТТ - одного из достаточно значимых дестабилизирующих факторов.

Для того, чтобы придать теоретико-множественному описанию (18) – (22) законченность и практический смысл, необходима привязка полученных моделей к топологии тех технических помещений, в которых могут быть размещены ТСБТ и обслуживающий их персонал. В данной работе предлага-

ется задавать топологию технических средств с помощью бинарного отношения ρ в двухэлементном базисе: оборудование и кабели:

$$\rho = (U \times U)_\rho \subset (U \times U), \quad (23)$$

$$u_1 \rho u_2 \Leftrightarrow \{(u_1, u_2) \in (U \times U)_\rho\}, \quad (24)$$

а топологию (план) технических помещений АРТТ, в которых по проектной документации разрешена установка технических средств, - с помощью бинарного отношения σ :

$$\sigma = (K \times K)_\sigma \subset (K \times K), \quad (25)$$

$$k_1 \sigma k_2 \Leftrightarrow \{(k_1, k_2) \in (K \times K)_\sigma\}, \quad (26)$$

где $K = \{k_i\}$ – множество технических помещений АРТТ, в которых возможно (разрешено) размещение оборудования ТСБТ.

На основании соотношений (23) – (26) можно задать план технических помещений в виде отображения f_1 :

$$f_1 : \{(k_i, k_j) \in (K \times K)_\sigma\} \rightarrow K, \quad (27)$$

порядок размещения оборудования в технических помещениях в виде отображения f_2 :

$$f_2 : \{(u_i, u_j) \in (U \times U)_\rho\} \rightarrow K, \quad (28)$$

разделить оборудование на две категории - установленные в помещениях и вне помещений - с помощью отображения f_3 :

$$f_3 : U \rightarrow K. \quad (29)$$

Тогда объединение $f = f_1 f_2 f_3$ отображений:

$$f : U \cup \{(k_i, k_j) \in (K \times K)_\sigma\} \cup \{(u_i, u_j) \in (U \times U)_\rho\} \rightarrow K \quad (30)$$

даст однозначное описание топологии оборудования, привязанное к плану помещений АРТТ, местам расположения аварийно-восстановительных бригад и маршрутам их следования к месту аварии (далее по тексту это объединение называется функцией технического обслуживания). При этом каждому элементу $K = \{k_i\}$ можно поставить в соответствие точку на плоскости и соединить k_r с k_s направленным отрезком. Направление отрезков определяется направлением движения технического персонала (аварийно-восстановительной бригады) от места его дислокации (расположения) к месту обнаружения отказа (аварии). Образованное таким образом геометрическое изображение является направленным графом отношения σ . Число ребер, связанных с одним узлом, является степенью узла (внешняя степень – число ребер, выходящих из узла; внутренняя степень – число ребер, входящих в узел). Далее можно определить дуги, циклы и деревья графа отношения σ пользуясь известными /9/ методами и точно описать пути следования

структуры осведомительной и управляющей информации, обрабатываемой в процессе эксплуатации АРТТ. На рис. 2 в качестве примера представлены результаты расчета параметров процесса функционирования ТСБТ с помощью формул (6), (8), (11), (18) – (22) и (30). На этом рисунке приведены зависимости кардинальных чисел множеств H , R , M , U , T от длительности этапа эксплуатации ТСБТ.

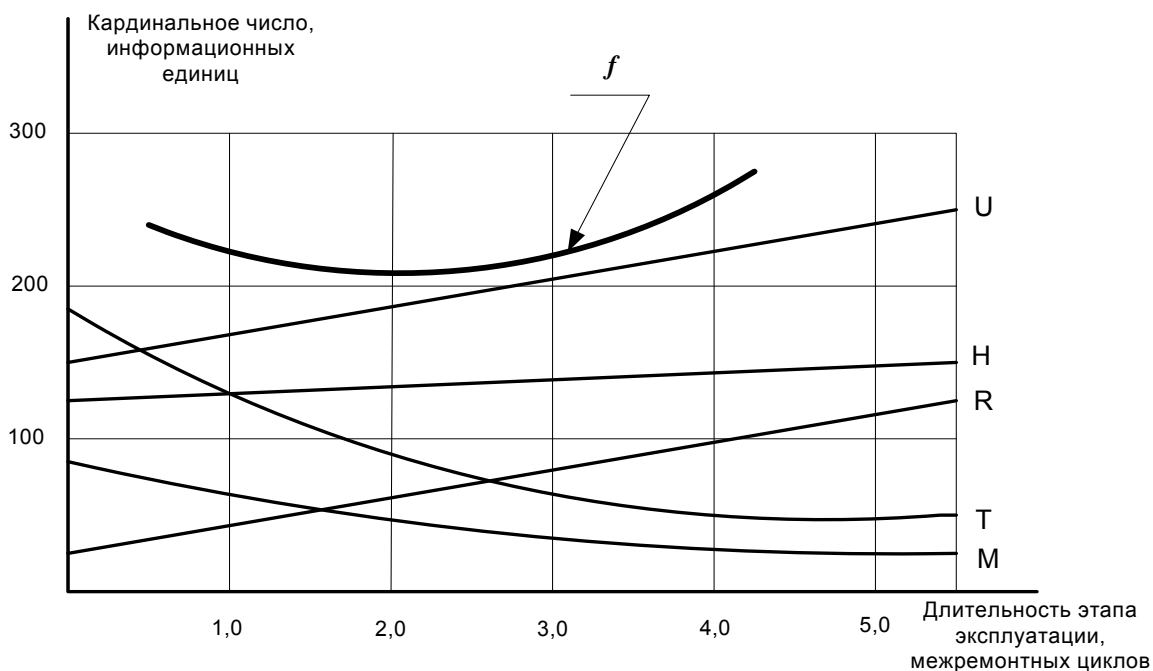


Рис. 2. Результаты моделирования процесса функционирования ТСБТ (для наглядности кривые даны непрерывными).

Длительность эксплуатации определена в межремонтных циклах, планируемых по критерию "уровень надежности". Кривые, относящиеся к множествам H , R , M , U , T , отмечены на рисунке соответствующими буквами. На этом же рисунке приведена зависимость функции (30) технического обслуживания (на рисунке отмечена буквой f) от длительности эксплуатации, на которой просматривается достаточно четко выраженный минимум. Это говорит о том, что проведенное моделирование позволяет найти наиболее рациональную форму организации информации, поскольку снижение информационной избыточности облегчает условия работы технического персонала и снижает вероятность ошибок, вызванных человеческим фактором. Повышение информационной избыточности может привести к превышению проектного уровня объема перерабатываемых данных и, как следствие, к нарушению проектных пропорций процесса обработки информации.

Кроме того, функция технического обслуживания f позволяет определить проектные пропорции процесса обработки осведомительной и управляющей информации и оценить их изменение как с течением времени, так и в зависимости от характера изменений мощности множеств H, R, M, U, T . Так, например, на рис. 3 показано влияние изменения ΔU кардинального числа множества U (далее по тексту - изменение оснащенности АРТТ) на характер зависимости функции технического обслуживания от длительности этапа эксплуатации. Из приведенного рисунка видно, что под воздействием уменьшения оснащенности АРТТ техническими средствами ΔU , проектный срок эксплуатации увеличился на Δf .

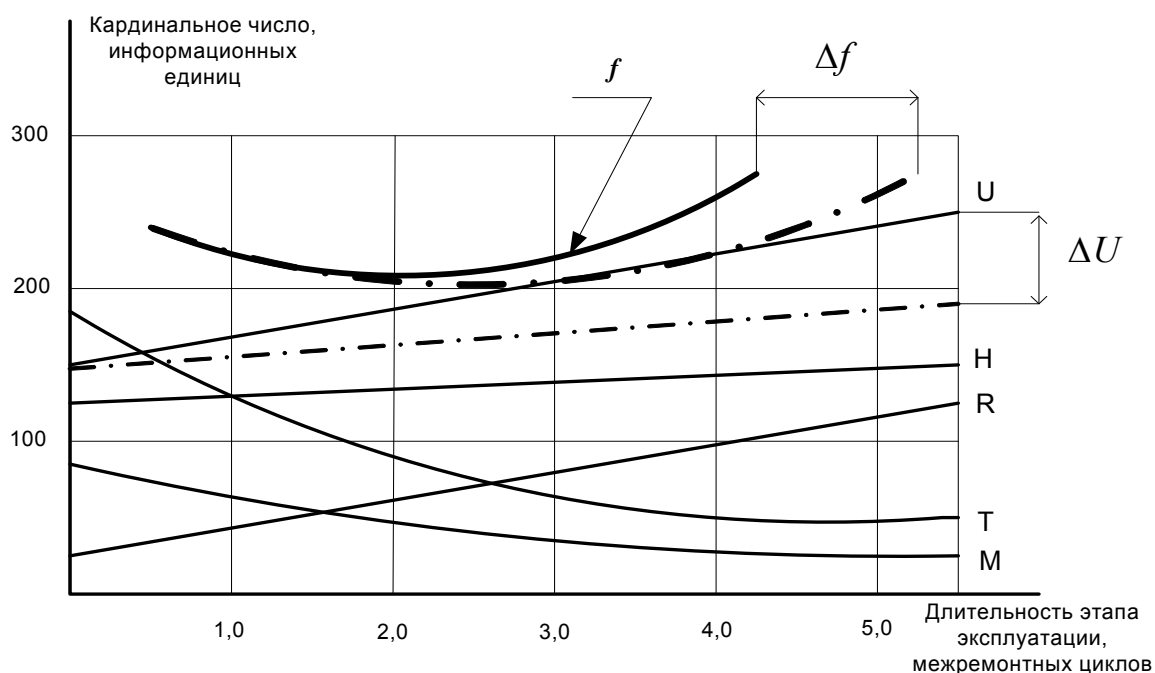


Рис. 3. Влияние изменения оснащенности АРТТ техническими средствами на характер зависимости функции технического обслуживания от длительности этапа эксплуатации (кривые даны непрерывными для наглядности).

Для проверки сделанных выводов было проведено вероятностное моделирование функционирования ТСБТ в штатных ситуациях, результаты которого приведены на рис. 4.

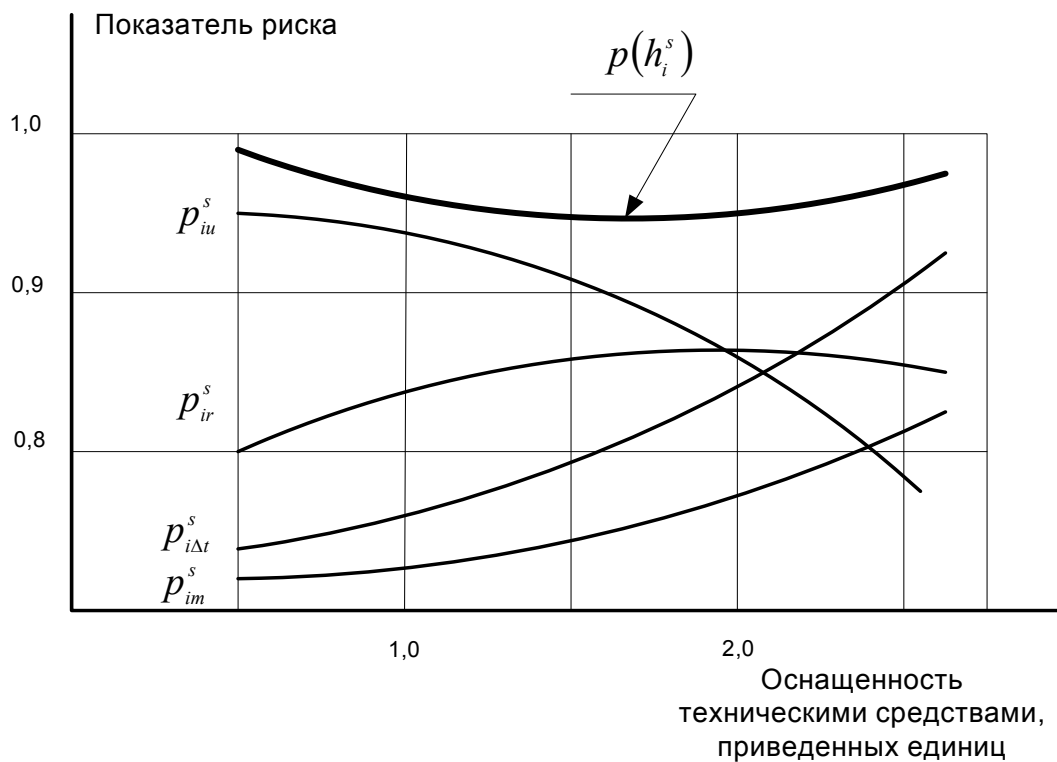


Рис. 4. Результаты вероятностного моделирования процесса функционирования ТСБТ в штатных и нештатных ситуациях (кривые даны непрерывными для наглядности).

На рис. 4 представлена зависимость показателя риска $p(h_i^s)$ от оснащенности АРТТ техническими средствами, которая имеет заметный минимум. Это говорит о том, что, как и на рис. 2, имеется некоторая наиболее рациональная по критерию "показатель риска" (менее всего зависящая от человеческого фактора) информационная структура, найти которую можно с помощью представленной в данной работе модели. На этом же рисунке приведены зависимости парциальных составляющих показателя риска, по которым можно судить о чувствительности элементов предметной области к увеличению числа технических средств, размещенных на АРТТ.

В качестве примера на рис. 5 приведена зависимость показателя риска, характеризующего безопасность эксплуатации АРТТ, от изменения вероятности того, что технические средства будут работоспособны в течение периода наблюдения, то есть (как это показано выше) от надежности ТСБТ.

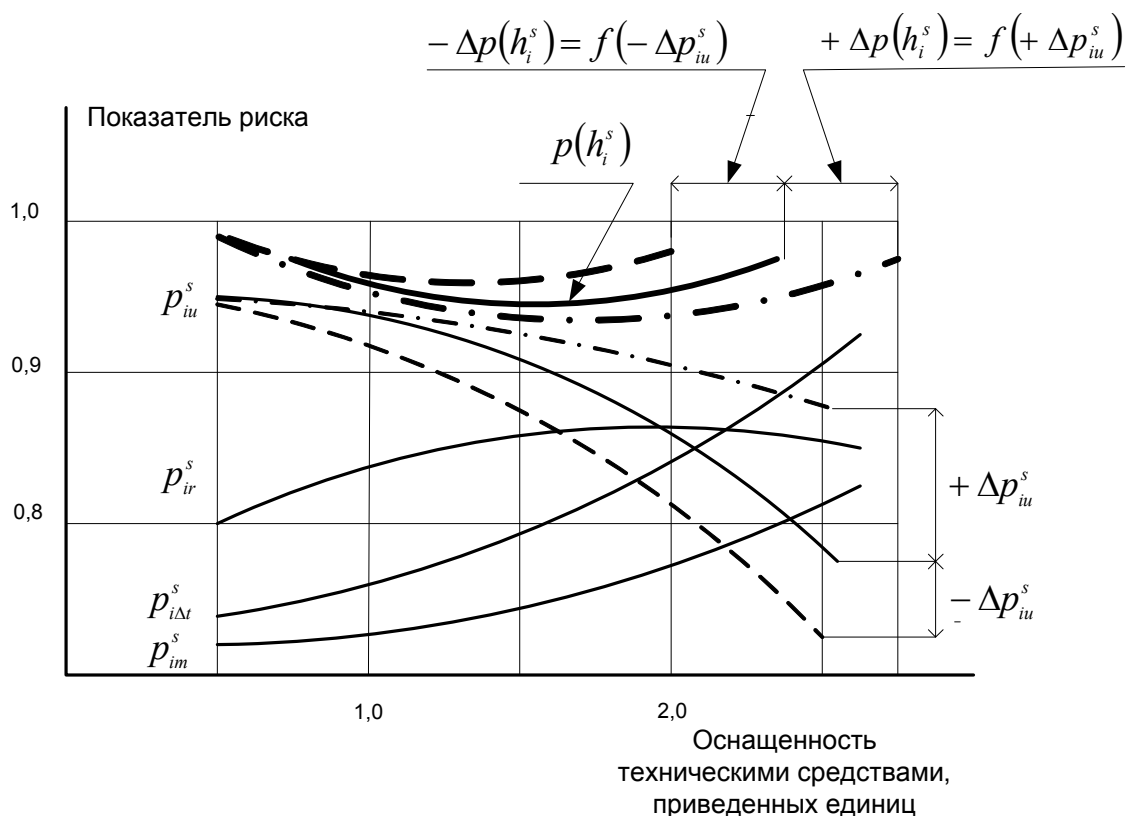


Рис. 5. Изменение характеристики уровня безопасности эксплуатации АРТТ от надежности ТСБТ (кривые даны непрерывными для наглядности).

Из этого рисунка видно, что если зависимость вероятности p^s_{iu} от оснащенности упадет на $-\Delta p^s_{iu}$, то безопасность эксплуатации уменьшится на $-\Delta p(h^s) = f(-\Delta p^s_{iu})$. Если зависимость p^s_{iu} от оснащенности увеличится на $+\Delta p^s_{iu}$, то безопасность эксплуатации возрастет на $+\Delta p(h^s) = f(+\Delta p^s_{iu})$.

Таким образом, проведенные теоретические исследования и моделирование показали, что безопасность эксплуатации АРТТ и уровень риска достаточно сильно связаны с уровнем надежности ТСБТ и, управляя надежностью ТСБТ, можно управлять уровнем безопасности эксплуатации АРТТ.

Библиографический список

1. Змитрович А.И. Интеллектуальные информационные системы. – Мн.: НТООО "ТетраСистемс", 1997. – 368 с.
2. Г. Корн, Т. Корн Справочник по математике (для научных работников и инженеров) : М., "Наука", 1974. – 831 с.

3. Ширяев А.Н. Вероятность. В 2-х кн. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МЦМНО, 2004.
4. Буянов В.П. Управление рисками (рискология) / Буянов В.П., Кирсанов К.А., Михайлов Л.А. – М.: Экзамен, 2002. – 384 с.
5. ГОСТ Р 51901-2002. Управление надежностью. Анализ риска технологических систем.
6. Беляев Ю.К., Богатырев В.А., Болотин В.В. и др.; под ред. Ушакова И.А.. Надежность технических систем: справочник. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
7. Дружинин Г.В. Надежность автоматизированных производственных систем. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 480 с.: ил.
8. В.Р. Антонец, С.В. Дворянкин, В.К. Екимов. Управление надежностью технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации тоннельных сооружений мегаполиса. Известия ТРТУ. Тематический выпуск. "Информационная безопасность". Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2006, № 7 (62), с. 47 – 53.
9. Вунш Г. Теория систем: Пер. с нем. Т.Э. Кренкеля. – М., «Сов. Радио», 1978. – 288 с., ил.

Источник: Технологии гражданской безопасности. Научно-технический журнал МЧС России. 2006, №3.