

# ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТРАНСПОРТНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО РЕЗЕРВА ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНОГО КОМПЛЕКСА

**О.А. Рыбин, доктор технических наук;**

**В.В. Попов, кандидат военных наук, доцент.**

**Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России**

Рассмотрены пути повышения транспортной безопасности за счёт введения «функционального резерва» в элементы транспортного комплекса, что позволяет избежать дополнительных финансовых и материальных затрат при их модернизации. Предложено ввести показатель, характеризующий данную величину, которую необходимо учитывать при разработке новых и анализе существующих элементов транспортного комплекса.

*Ключевые слова:* транспортная безопасность, функциональный резерв, модернизация элементов транспортного комплекса

## WAYS OF INCREASE TRANSPORTATION SECURITY ON THE BASIS OF THE ASSESSMENT OF THE FUNCTIONAL RESERVE OF THE ELEMENTS OF THE TRANSPORT COMPLEX

O.A. Rybin; V.V. Popov. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia

Disclosed ways to improve transportation security, through the introduction of a «functional reserve» in the elements of the transport complex, that will allow to avoid additional financial and material costs in their modernization. With this purpose it is proposed to introduce an indicator characterizing the value that should be considered when designing new and analysis of existing elements of the transport tcomplex.

*Keywords:* transport safety, functional reserve, modernization of transport complex elements

Обеспечение транспортной безопасности является одним из приоритетных направлений деятельности государства в области национальной безопасности России. Разрабатываемые при этом мероприятия носят долгосрочный характер и определяют основные цели, стратегические и текущие задачи внутренней и внешней политики государства.

Транспортная безопасность достигается проведением единой государственной политики в области ее обеспечения, системой мер экономического, политического, организационного и иного характера, адекватных существующим угрозам и рискам в транспортной сфере.

Один из путей обеспечения требуемого уровня транспортной безопасности заключается в техническом перевооружении и модернизации транспортного комплекса (ТК), а также приведении его к уровню международных стандартов.

В свою очередь, транспортный комплекс состоит из отдельных элементов, построение (создание) которых включает (должно включать) следующие этапы жизненного цикла (ЖЦ):

- исследование и обоснование разработки;
- разработку;
- производство (внедрение);
- эксплуатацию;
- обслуживание.

Очевидно, что в процессе эксплуатации изменяются и характеристики элементов и условия, в которых они функционируют. В целях поддержания транспортного комплекса на необходимом уровне необходима либо модернизация, либо замена её элементов. Однако, как показывает практика, модернизация оказывается актуальнее замены, что связано с возрастающими требованиями к элементам структуры.

Модернизация включает те же стадии ЖЦ, что и при создании. В современных условиях, при нынешнем экономическом состоянии государства такой подход – это непозволительная роскошь.

Вполне логичный выход из сложившейся ситуации заключается в том, чтобы на ранних стадиях ЖЦ (исследования и обоснования разработки) провести дополнительные виды работ, позволяющие сформировать исходные требования и выдать техническое задание (ТЗ) на элемент ТК с учетом возможности его дальнейшей модернизации [1]. При этом регламентируются объем и сроки проведения будущей модернизации и нарабатываются возможные ее направления для того, чтобы поддержать требуемый (актуальный) технический уровень элемента ТК и предупредить его моральное и физическое старение. Основным инструментом здесь может служить оценка функциональных способностей элементов ТК, то есть качественная и количественная величина, характеризующая способность элемента ТК выполнять своё функциональное назначение в течении определённого периода времени с учётом изменяющихся условий функционирования.

В качестве примера, иллюстрирующего актуальность данного подхода, можно привести один из элементов транспортной безопасности – спутниковую систему мониторинга автотранспорта. Первоначально для этих целей применялись системы, работающие с зарубежными навигационными спутниками системы NAVSTAR, которыми оснащались многие транспортные предприятия и организации. Данные системы были как импортного, так и отечественного производства. Однако с появлением аналогичной отечественной системы ГЛОНАСС возникла задача перевода всех государственных и муниципальных предприятий на данную систему. Данная задача свелась фактически к переоснащению новым оборудованием, сопровождаемым временными и финансовыми затратами, однако есть примеры, когда существующие системы мониторинга функционально оказались способными работать с ГЛОНАСС без дополнительных доработок и финансовых вложений, что свело затраты предприятий практически к нулю. Фактически, к существующему оборудованию, без изменения его конструкции, добавился небольшой блок, позволивший выполнять данную задачу. Таким образом, производители данного оборудования ещё на начальном этапе ЖЦ заложили функциональный резерв в данное оборудование, что привело к экономическому эффекту для потребителей.

Ещё в качестве примера, где необходимо учитывать функциональный ресурс, можно привести транспортную инфраструктуру какого-либо региона (района) и её пропускную способность. Если ещё на этапе проектирования учесть, что условия её эксплуатации постепенно будут усложняться в плане необходимости увеличения пропускной способности, то в будущем можно будет лишь продолжить её дальнейшее запланированное развитие, исключив из ЖЦ этап исследования и проектирования проектной документации, либо принять обоснованное решение о полной перестройке этой инфраструктуры. Очевидно, что данные примеры наглядно иллюстрируют актуальность рассматриваемой задачи.

Преимущества указанного подхода заключаются в следующем:

- при модернизации элемента ТК нет необходимости проходить целиком ранние стадии ЖЦ;
- проведенные дополнительно научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы позволяют оценить динамику технического уровня конкретного элемента ТК и мирового технического уровня, отследить сроки предпочтительной модернизации, заложить конкретные ее направления и объемы проводимых работ исходя из реальной потребности в этом процессе и в виде конкретных технических требований (ТТ) на дальнейшую модернизацию;

– увеличивается эффективная продолжительность ЖЦ элемента ТК, и снижается стоимость разработки модернизированного варианта по сравнению с созданием новой системы.

ОАО «РЖД России» частично реализует аналогичный подход, но только к оценке надёжности и функциональной безопасности к системам, устройствам и оборудованию путевого хозяйства, разработав и внедрив стандарт СТО РЖД 02.041–2011 «Управление ресурсами, рисками и надёжностью на этапах жизненного цикла (УПРАН) системы, устройства и оборудование путевого хозяйства» [2]. Данный стандарт позволяет обосновать требования к надёжности и функциональной безопасности и ориентирован на взаимосвязь показателей надёжности и функциональной безопасности объектов путевого хозяйства со стоимостью их жизненного цикла.

Таким образом, становится актуальной задача определения показателя, характеризующая временные и функциональные возможности элемента ТК к модернизации, с учётом динамики изменения внешней среды.

Общая постановка задачи в этом случае выглядит следующим образом: в моменты времени  $t=0$  и  $t=1$  имеется потребность в системах с проектными параметрами  $x_0$  и  $x_1$  соответственно. Стоимости создания элементов ТК с этими параметрами, определяемые затратами различных видов ресурсов (времени, денег, материалов, труда и т.п.) на все этапы жизненного цикла, составляют  $c_0(x_0)$  и  $c_1(x_1)$ , причем имеется суммарное ограничение  $c$  на эти ресурсы [3].

Как правило, а при сегодняшнем состоянии бюджета и финансирования – это уже превращается в систему,  $c_0(x_0)+c_1(x_1)>c$ , и, следовательно, создание  $x_0$  и  $x_1$  независимо друг от друга невозможно. В таком случае поступают следующим образом: сначала создают базовую систему  $x_0$ , а затем модернизируют ее в систему  $x_1$ . Обычно стоимость проектирования  $x_1$  на базе  $x_0$  меньше величины  $c_1(x_1)$ . Затраты в этом случае определяются функцией  $r_0(x_0, x_1)$ , при которой выполняются ресурсные ограничения  $c_0(x_0)+r_0(x_0, x_1)\leq c$ .

Модификация представляет собой естественный этап в ЖЦ элементов ТК, направленный на ее совершенствование. Причем она целесообразна и осуществима, когда в  $x_0$  либо закладываются соответствующие возможности по дальнейшей трансформации ее в  $x_1$ , либо когда  $x_0$  и  $x_1$  незначительно отличаются друг от друга. Если это не так, то модернизация невозможна, и требуется создание принципиально новой системы.

Пусть известно, что множества технически реализуемых элементов ТК в моменты  $t=0$  и  $t=1$  – конечные множества  $X_0$  и  $X_1$ . Естественно предположить, что  $X_0\subseteq X_1$ , то есть технические возможности со временем не уменьшаются. Описание  $X_1$  может быть получено в момент  $t=0$  на основе, например, прогноза научно-технического прогресса, роста (уменьшения) объемов имеющихся ресурсов.

В качестве показателей, характеризующих способность элементов ТК к модификации, рассматриваются коэффициенты, характеризующие результаты оценивания бинарных отношений  $\Phi_i$  с их эталонными значениями. В свою очередь, бинарные отношения  $\Phi_i$  задаются на множествах  $X_i$  и определяют целевые назначения систем в моменты  $t=0, 1$ . Бинарные отношения  $\Phi_i$  должны учитывать также экономические и временные факторы (критерии типа «стоимость-эффективность»), связанные с созданием и эксплуатацией систем.

В квалиметрии же широко используется относительная мера качества – уровень качества. Следовательно, понятие уровня, затрагивая все множество показателей, охватывает и эффективность как меру качества. Необходимо различать формальное и неформальное содержание этого понятия. В формальном смысле уровень качества является результатом оценивания, всегда носящим сравнительный характер. Система значений мер качества объекта (процесса, технологии), определенная на основе соотнесения с базовыми (эталонными) значениями мер, называется сравнительным уровнем качества.

В зависимости от класса свойств и показателей качества могут различаться технический, экономический, технико-экономический, экологический, эргономический, потребительский и т.п. уровни.

Особое место в содержании сравнительного (относительного) уровня принадлежит базе оценки. В зависимости от ее типа сравнительный уровень качества может на оценочной шкале характеризовать или приближение к эталону качества (прогрессивный эталон, абстрактно возможный, идеальный эталон, потенциальное качество), или опережение (в случае отставания – приближение к базе) базы оценки (прототип, аналог, достигнутый абсолютный уровень качества работы, достигнутый мировой техникой уровень и т.д.).

В содержательном плане особое место занимает понятие технического уровня объектов техники и технологии. Оно приобретает смысл такой характеристики качества, которая отражает уровень принятых технических решений, использование в них достижений научно-технического прогресса на некоторый фиксированный момент времени, обеспечивающих удовлетворение возросших потребностей и экономическую целесообразность. Таким образом, понятие технического уровня приобретает статус категории, в которой реализуется единство управления качеством, научно-техническим прогрессом – обновлением (инновациями) качества объектов техники и технологий, потребностями и интенсификацией производства. При этом можно оперировать показателем технического уровня еще на этапах создания элемента ТК, задания требований на его разработку, не имея априорных полных данных о дальнейших стадиях ЖЦ.

Такой подход позволит с единой точки зрения рассмотреть модернизацию элементов ТК, как процесс, направленный на изменение их функционального назначения в целях сохранения их эффективности, в течение рассматриваемого периода времени.

Итак, для оценки, прогнозирования и обеспечения качества разрабатываемых элементов ТК необходимо выбрать показатели качества, то есть параметры, характеризующие их качество и позволяющие в дальнейшем определить требования по способности к модификации. Сделать оптимальный выбор очень трудно, так как параметры должны не только отражать основные функциональные и качественные характеристики, но и удовлетворять определенным региональным потребностям, «моду и вкусам» покупателей. Кроме того, обычно вначале необходимо выбрать параметры качества и лишь затем, организовать сбор и обработку информации об их значениях, связях между различными параметрами и т.д. Поэтому на практике выбор параметров качества часто осуществляется при недостатке информации, а применять громоздкие процедуры выбора невыгодно или невозможно.

Проблема рационального выбора параметров, характеризующих качество оборудования и элементов ТК, является одной из важнейших технико-экономических проблем современности. С задачей выбора и ограничения номенклатуры показателей качества приходится сталкиваться каждый раз, когда решаются самые различные вопросы: оценки и сравнения аналогичных элементов по совокупности показателей, задания технических требований к новым элементам ТК, оценивается эффективность уже созданных и т.д. Многообразие таких задач обуславливает и необходимость разработки новых подходов к выбору конкретных показателей и ограничению их номенклатуры или в переработке старых подходов, исходя из конкретных постановок решаемых задач. Неправильный выбор параметров на реализационных стадиях ЖЦ при элементах ТК ведет к большим непроизводительным расходам при производстве и эксплуатации элементов ТК. При этом наличие излишних параметров для оценки качества приносит такой же огромный вред, как и их недостаточное количество.

Обычно при выборе параметров, как правило, применяют экспертные оценки или формальные методы уменьшения числа параметров [4].

Экспертные оценки проводят в два этапа. Вначале составляют общий список возможных параметров. Для этого каждому эксперту предлагают перечислить значимые, с его точки зрения, параметры. При назначении параметров эксперты учитывают

возможности их измерения, важность соответствующих свойств объектов ТК для потребителей, соображения безопасности и другие факторы. По результатам опроса составляют общий перечень  $N$  возможных параметров. Затем проводят экспертную оценку значимости параметров, содержащихся в данном перечне.

Статистические данные нормализуются сначала по каждому  $i$  эксперту. При этом вычисляют:

$$q_{ij} = C_{ij} / \sum_{j=1}^N C_{ij},$$

где  $N$  – общее число параметров.

Затем находят среднюю для  $k$  экспертов оценку по  $j$  параметру:

$$\bar{q}_j = (\sum_{i=1}^k q_{ij}) / k, \sum_{j=1}^k \bar{q}_j = 1.$$

Как и в подавляющем большинстве формальных методов выбора параметров предполагается наличие некоторой первоначальной совокупности параметров, из которой нужно сделать выбор.

Одним из наиболее эффективных приемов, позволяющим сформировать эту совокупность, сократив число рассматриваемых параметров, считается учет статистической связи между параметрами изделий. Если обнаружена сильная корреляционная связь между двумя параметрами, то можно отказаться от измерения одного из них.

В ряде случаев задачу выбора параметров можно решить в два этапа. Сначала все параметры разбивают на группы так, чтобы каждая группа характеризовала элемент ТК с какой-то одной стороны. В каждой группе должны быть объединены близкие (сильно связанные между собой) параметры, а в разных группах – слабо связанные параметры. После завершения группирования в каждой из групп выбирают наиболее важные параметры или в группе формируют более общий частный показатель, включающий сильно связанные.

Существующие методы для решения данной задачи требуют предварительного задания каких-либо величин: числа групп параметров, значения энтропии и др. Кроме того, все эти методы требуют очень больших объемов статистической информации о значениях параметров для вычисления оценок вероятностных характеристик. Все это ограничивает возможности практического применения формальных методов разбиения параметров на группы.

Вопрос о задании излишних параметров особенно остро возникает при оценке качества функционирования больших систем, которыми, безусловно, являются элементы ТК, в которых общее число параметров, характеризующих качество групп параметров, может достигать нескольких тысяч. Однако только часть параметров несет информацию, необходимую для оценки качества функционирования системы в целом. В рассматриваемом случае общий путь выбора параметров состоит в анализе потерь, связанных с отсутствием сведений о значениях того или иного параметра. При этом перечисленные выше трудности выбора параметров для больших систем увеличиваются.

Обзор работ, посвященных минимизации перечня параметров, которые характеризуют работоспособность больших систем, имеется в литературе [5], где описаны три процедуры выбора параметров (схематично, без анализа трудностей).

Таким образом, выбор номенклатуры показателей качества – эвристическая процедура. Очевидно, что немаловажную роль при ее проведении будут играть: задание целей оценки; выделение ограниченной совокупности показателей качества; систематизация

совокупности показателей, определяемых целью исследования (необходимо исключить дублирование единичных показателей).

Следующим шагом для оценки функционального резерва элементов ТК является обоснование и выбор комплексного показателя, который бы оценивал данную величину. Сведение многокритериальной задачи к однокритериальной за счет введения подобного обобщенного показателя позволяет избавиться от многих логических проблем, имеющих место при отыскании оптимальных решений в многокритериальном пространстве. Однако радикальные результаты применения данного принципа требуют проанализировать обоснованность самого этого принципа.

В настоящее время одним из наиболее распространенных является аддитивный тип таких показателей, однако, главное уязвимое место показателя данного вида состоит в том, что он никак не вытекает из объективной роли частных показателей в функционировании системы, объекта ТК и выступает поэтому как формальный прием, придающий задаче удобный для решения вид.

Несмотря на свои слабые стороны, обобщенный аддитивный показатель позволяет, в ряде случаев, успешно решать многокритериальные задачи и получать полезные результаты. Введение при этом весовых коэффициентов  $\alpha_i^n$  лишь создает видимость большей объективности формулы, так как их определение сталкивается с серьезными трудностями и обычно сводится к экспертной оценке.

Анализ и изучение аддитивной формы комплексного показателя позволяет выделить следующие существенные недостатки:

- слабая связь весовых коэффициентов с действительной ролью частных показателей (характеристик) в выполнении системой своих функций;
- трудность отыскания объективного способа нормирования частных показателей для приведения их к безразмерному виду;
- малая чувствительность обобщенного показателя к изменениям величины отдельных частных показателей, особенно если их общее число велико, компенсация малой величины одного показателя избыточной величиной другого.

Чтобы их устранить, можно воспользоваться подходом, предложенным в работе [6]. Нормированные значения характеристик определять по формуле:

$$x_{ij}^n = \left( \frac{x_{ij}^n}{x_i^{\bar{0}}} \right)^{-\xi},$$

где  $x_{ij}$  – значение  $i$ -й характеристики  $j$ -го элемента ТК в абсолютных единицах;  
 $x_i^{\bar{0}}$  – значение  $i$ -ой характеристики базового элемента ТК в абсолютных единицах.

$$\xi = \begin{cases} -1, & \text{если } \uparrow x_{ij} \text{ ведет к } \uparrow Q_j, \\ 1, & \text{если } \uparrow x_{ij} \text{ ведет к } \downarrow Q_j. \end{cases}$$

Трудностей в отыскании базового элемента ТК и его характеристик можно избежать, если в качестве значений  $x_i^{\bar{0}}$  принять их прогнозные оценки  $\mathcal{E}_i^n$ , определяемые на рассматриваемый период эксплуатации, равный горизонту планирования  $t$ .

В работе [7] предлагается вычислять  $\mathcal{E}_i^n$  по линейной модели вида  $\mathcal{E}_i^n = a + bt$ , что правомерно, правда на небольших отрезках времени. Привлекательность такого подхода, кроме того, обуславливается тем, что он дает возможность определять нормированные веса характеристик по зависимости:

$$\alpha_i^n = \frac{\alpha_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i},$$

где  $\alpha_i = \frac{b_i}{a_i}$  – вес  $i$ -й характеристики.

В этом случае больший вес имеет та характеристика или параметр, которые имеют больший относительный рост, то есть самыми быстрыми темпами совершенствуются параметры, которые наиболее важны для удовлетворения потребностей заказчика на данный период.

Несмотря на все достоинства описанного подхода, нельзя не отметить его существенные недостатки. Прежде всего, в качестве прогнозной модели используется только линейная. Это обстоятельство не всегда может быть оправдано ретроспективным анализом исходных данных. Причиной же отклонений является то, что в каждой реальной системе неизбежно существуют ограничения. Другой недостаток заключается в том, что в качестве «веса» рассматривается функция относительного роста (ФОР), которая рассчитывается на момент времени  $t_0=0$ . Нетрудно увидеть, что для линейной модели

$$\alpha_i = \varphi_i(t) = \frac{dx_i}{x_i dt} = \frac{b_i}{a_i + b_i t}$$

не учитываются изменения «веса» характеристики во времени, в то время как темп совершенствования параметров является динамической характеристикой.

Перечисленных недостатков можно избежать вводом в рассмотрение всей гаммы прогнозных моделей и отождествлением «веса» характеристики с ФОР как функцией времени  $\alpha_i \equiv \varphi_i(t)$ . Тогда нормированное значение будет равно:

$$\alpha_i^* = \frac{\varphi_i(t)}{\sum_{i=1}^n \varphi_i(t)}, \quad \text{где} \quad \varphi_i(t) = \frac{dx_i}{x_i dt}.$$

При необходимости дополнительно могут решаться задачи восстановления неизвестных характеристик аналогов рассматриваемых элементов ТК (это характерно при использовании в качестве исходных данных статистических материалов о зарубежных и перспективных элементах ТК), а также ограничения номенклатуры показателей, входящих в комплексный показатель способности к модернизации. Последние задачи могут решаться любым известным методом. Например, восстановление – методом многомерной линейной экстраполяции, ограничение – с помощью функций чувствительности или методом корреляционных плеед.

Таким образом, ретроспективное формирование «весовых» коэффициентов характеристик элементов ТК позволяет устранить наиболее существенные недостатки аддитивного показателя и получить достаточно наглядные данные о сравнительных свойствах образцов по совокупности единичных показателей качества элементов ТК практически на всем протяжении их ЖЦ. Эти обстоятельства являются важной предпосылкой проведения обоснованной модернизационной политики. Кроме того, применение характеристических параметров технического прогресса – удобное практическое средство анализа тенденций мирового технического уровня, позволяющих исследовать изменение показателей качества не как «вещь в себе», а в сравнении их с мировыми перспективами развития в данных областях. Это помогает определить их перспективные значения для планируемых этапов обновления и модернизации элементов ТК, обосновать основные направления модернизации и оценить период их ЖЦ, а также целесообразные сроки модернизации.

## Литература

1. Глыбовский П.А. Выбор параметров, характеризующих качество разрабатываемых вычислительных систем: Всерос. науч.-практ. конф. СПб.: Гос. ун-т авиаприборостроения, 2000. С. 156–161.
2. СТО РЖД 02.041–2011. Управление ресурсами, рисками и надежностью на этапах жизненного цикла (УРРАН) системы, устройства и оборудование путевого хозяйства требования надежности и функциональной безопасности: Стандарт ОАО «РЖД». Ч. 1. // СЦБИСТ. URL: <http://scbist.com/scb/uploaded/raspor-rzd/1949-sto-rzhd-02-041-2011-1.htm> (дата обращения: 12.09.2013).
3. Бернштейн Л.С., Коровин С.Я., Мелихов А.Н. Проектирование инструментальных средств экспертных систем с нечеткой логикой // Известия АН СССР. 1989. № 2.
4. Диагностика социально-психологических характеристик малых групп с внешним статусом / С.А. Багрецов [и др.]. СПб.: Лань, 1999. 640 с.
5. Медницкий В. Г. Оптимизация перспективного планирования. М.: Наука, 1984. 152 с.
6. Загоруйко Н.Г. Методы распознавания и их применение. М.: Радио и связь, 1993. 247 с.
7. Кини Р.Л., Райфа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / под ред. И.Р. Шахова; пер. с англ. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.