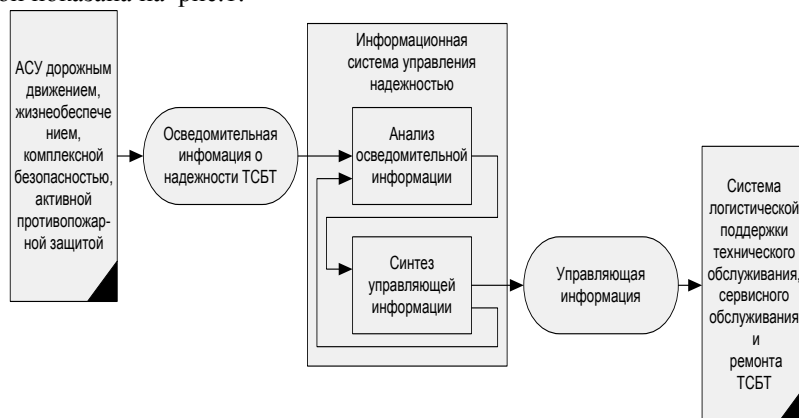


**В.Р. Антоненц,\* С.В. Дворянкин,\*\* В. К. Екимов\*\*\***  
 Россия, г. Москва, ВНИИИАС,\* ООО «Сигма - интегрированные системы»,\*\*  
 ГУП «ГОРМОСТ»\*\*\*

### УПРАВЛЕНИЕ НАДЕЖНОСТЬЮ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТОННЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ МЕГАПОЛИСА

Внедрение системы менеджмента качества в эксплуатацию технических средств, обеспечивающих безопасность эксплуатации тоннельных сооружений крупных городов (далее по тексту – ТСБТ), изначально предполагает создание информационной системы управления надежностью (ИСУН), обобщенная схема которой показана на рис.1.



*Рис. 1. Обобщенная схема информационной системы управления надежностью ТСБТ*

Целевая функция ИСУН (рис.1) заключается в сборе текущей информации о надежности функционирования ТСБТ, поступающей из АСУ нижнего уровня автоматизированной системы обеспечения безопасности тоннеля (АСУ-Н), ее многоуровневом анализе и синтезе по критерию «уровень надежности технических средств», комплекса корректирующих и предупреждающих действий (мероприятий) по поддержанию уровня надежности на проектном уровне. Входом системы является осведомительная информация из АСУ-Н, характеризующая уровень надежности ТСБТ, выходом - управляющая информация для системы логистической поддержки технического и сервисного обслуживания (ремонта) ТСБТ. Основным выходным продуктом ИСУН является программа обеспечения надежности и данные для оптимизации сроков технического обслуживания, сервисного обслуживания и межремонтных сроков.

Качество функционирования ИСУН зависит от выбранных методов обработки осведомительной информации, и, в частности, от примененных методов клас-

сификации объектов (устройств, блоков, узлов и их отказов, угроз, чрезвычайных ситуаций) [1]. Поэтому в данной работе предложены методы классификации объектов, ориентированные на повышение экономического эффекта от применения ИСУН. Место и роль классификации объектов в ИСУН пояснены на рис. 2.

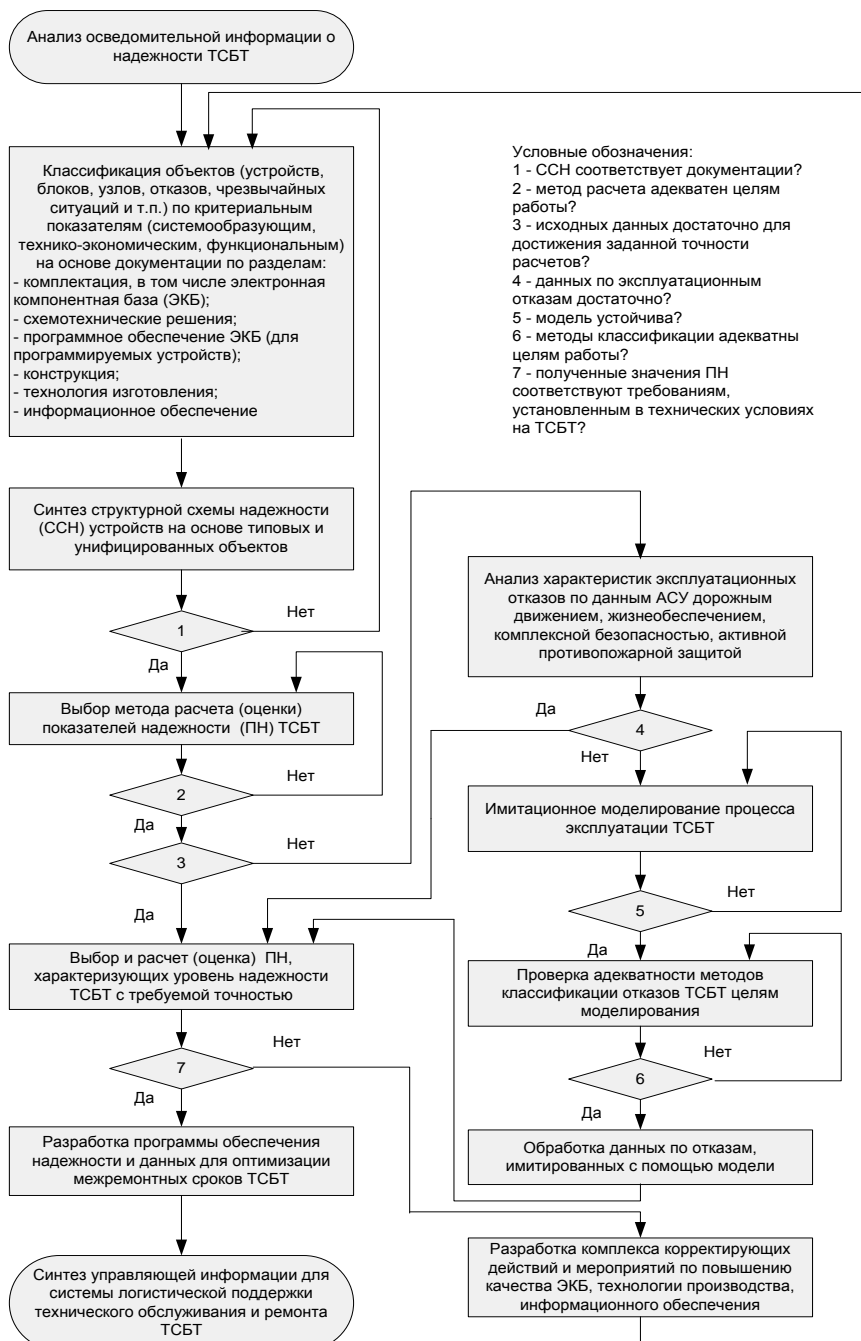


Рис. 2. Классификация объектов в ИСУН

Здесь взаимосвязанные процессы многоуровневого анализа и синтеза, протекающие при переработке осведомительной информации в управляющую информацию, раскрыты более подробно в виде блок-схемы.

Сократить объем и содержание работ по формированию структурной схемы надежности (ССН) - наиболее трудоемкой части работы - можно за счет использования унифицированных классификационных группировок. Унификация ССН позволяет повысить точность расчетов показателей надежности (ПН) за счет пополнения статистических данных об отказах с помощью имитационного моделирования [2] и разработать комплекс точно позиционированных предупреждающих и корректирующих действий (мероприятий), направленных на устранение слабых мест в надежности пространственно-разнесенных ТСБТ [3]. Степень соответствия унифицированных ССН требованиям ИСУН определяется главным образом выбранными методами классификации объектов. В данной работе при выборе методов классификации объектов принят подход, основанный на минимизации объема и содержания работ по формированию ССН и выбору метода расчета ПН по двум критериям: (1) эффективность степени детализации модели и (2) порог различимости цены отказа. Для детального расчета ПН даже малозначительной ССН может потребоваться определение или задание и использование многих параметров, что влечет за собой значительную трудоемкость расчетов в процессе функционирования системы управления надежностью. Рекомендовать столь детальные расчеты не всегда целесообразно еще и потому, что увеличение степени детальности модели не всегда влечет за собой ощутимый эффект, как это пояснено на рис. 3. То есть использование чрезмерно громоздких моделей и чрезмерно точных методов при расчете ПН по сути снизит эффективность ИСУН. В самом деле, первыми всегда учитываются наиболее значимые факторы, что дает наибольший эффект. Дальнейшая детализация описания модели происходит за счет учета все менее значительных факторов, что дает соответственно незначительный прирост эффективности. Трудоемкость же, или затраты, при увеличении размерности описания существенно возрастают. В качестве критерия оценки степени детализации может использоваться отношение [4]:

$$D_{\Delta N} = \frac{\Delta \mathcal{E}}{\Delta \mathcal{Z}}, \quad (1)$$

где  $\Delta \mathcal{E}$  - приращение эффективности модели,  $\Delta \mathcal{Z}$  - приращение затрат на применение такой модели при увеличении числа используемых факторов на  $\Delta N$ .

Если  $D_{\Delta N} \geq 1$ , то включение дополнительных факторов эффективно (эффективная область на рис. 3). Если  $D_{\Delta N} < 1$ , то дальнейшее увеличение степени детализации не дает соразмерного повышения эффективности и потому чаще всего оно не имеет смысла (критическая область на рис. 3 отделена от эффективной области вертикальной чертой в обоих рассматриваемых случаях: при работе обычным порядком и при работе с использованием предложенных методов классификации).

Чем шире область эффективной детализации модели расчета ПН, тем точнее расчеты, тем большее количество нормативных документов принимается во внимание и меньше эксплуатационные расходы. Качество услуги повышается благодаря тому, что при классификации объектов использованы методы, позволяющие детализировать исходные данные наиболее рациональным способом и получать экономический эффект в информационной технологии, аналогичный экономическому эффекту от унификации и типизации конструктивных элементов в аппаратных разработках.

Второй критерий выбора методов классификации объектов - порог различимости - позволяет связать цену отказа оборудования с характеристиками процесса

эксплуатации ТСБТ следующим образом. Цена отказа ТСБТ определяется эффективным параметром  $C_{\Sigma}(\Delta t)$ :

$$C_{\Sigma}(\Delta t) = C_{scb}(\Delta t) + C_{sv}(\Delta t) + C_{inf}(\Delta t), \quad (2)$$

где -  $C_{scb}(\Delta t)$ ,  $C_{sv}(\Delta t)$ ,  $C_{inf}(\Delta t)$  - расходы, связанные со снижением безопасности эксплуатации тоннеля (снижение качества услуги); на обеспечение процедур ремонта и восстановления; на проведение процедур анализа и устранения причин отказов ТСБТ соответственно.

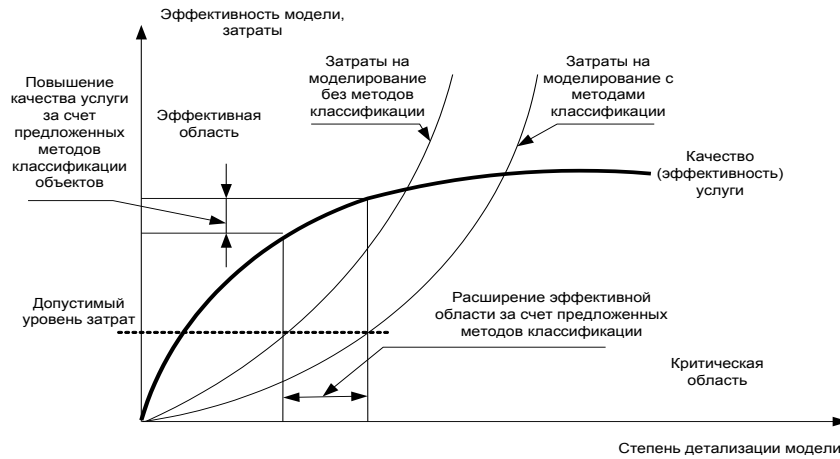


Рис. 3. К определению эффективной детализации модели

Расчет значений параметра  $C_{\Sigma}(\Delta t)$  выполняется следующим образом.

Для процесса эксплуатации ТСБТ устанавливаются классификационные группировки - состояния, различающиеся по значениям ряда определенных признаков, например, ремонт и восстановление оборудования, анализ и устранение причин отказа и т.д. В табл.1 приведен пример такой классификации (при этом использованы следующие обозначения:  $p_{ui}^z$  - удельная прибыль от услуги в том месте, где произошел отказ;  $z_r, z_a$  - среднемесячная заработная плата персонала, занятого на ремонтных работах и участвующего в работах по анализу и устранению причин отказов;  $p_{ai}, p_{ri}, p_{ui}^z$  - поправочные коэффициенты,  $t_i$  - время пребывания системы в  $i$ -м состоянии).

На ТСБТ воздействуют внутренние и внешние дестабилизирующие факторы  $F_x^a$ . Верхний индекс в обозначении воздействующего фактора – идентификационный, относящий его к одной из классификационных группировок, представленных в табл.1, нижний – показывает сколько раз зафиксировано воздействие данного фактора на протяжении выбранного интервала наблюдения. Множество дестабилизирующих факторов:  $F = \{F_x^a\}$ .

Множество признаков изменения состояния процесса эксплуатации, вызванных дестабилизирующими факторами  $F_x^a, M_x^a = \{a_i\}$ .

Проявление каждого признака  $a_i$  приводит к расходам  $r_i$  на устранение последствий (в том числе и компенсацию материальных потерь), вызванных его проявлением. Эти расходы образуют множество расходов  $M_r = \{r_i\}$ .

Порог различимости  $p(\Delta t)$ , как критерий классификации отказов, вводится для того, чтобы с помощью логической функции

$$a_i = \begin{cases} 1, & \text{если } \frac{r_i}{\sup M_r} \geq p(\Delta t), \\ 0, & \text{если } \frac{r_i}{\sup M_r} < p(\Delta t) \end{cases}$$

определить, проявляется признак  $a_i$  при данном воздействии  $F_x^a$  или нет, и представляет собой число, значение которого постоянно на всем интервале наблюдения  $\Delta t$ . Если признак присутствует, то в соответствующей ячейке табл. 1 ставится 1, если признак отсутствует - 0. В результате появляется возможность классификации объектов (отказов) по величине причиненных ими убытков.

В качестве примера рассмотрим порядок классификации объектов, к которым отнесены отказы ТСБТ, вызванные низким качеством покупных комплектующих изделий (ПКИ). К ПКИ относятся типовые элементы замены (узлы, модули, блоки), номенклатура которых определена эксплуатационной документацией на ТСБТ. Пусть  $N_o(\Delta t)$  - количество отказов ТСБТ по причине отказов ПКИ, зарегистрированное в установленном порядке за интервал наблюдения  $\Delta t$ . Тогда осведомительную информацию можно структурировать следующим образом:

$$\begin{cases} O_e \subseteq O \\ O_z \cap O_r = \emptyset & O_z \cap O_a = \emptyset & O_a \cap O_r = \emptyset, \\ O_e = O_z \cup O_r \cup O_a & O_e| = k_e N_o(\Delta t) \\ O_z = \{o_i : 1 \leq i \leq l\} & O_z| = k_z l \\ O_r = \{o_i : l+1 \leq i \leq m\} & O_r| = k_r [m - (l+1)] \\ O_a = \{o_i : m+1 \leq i \leq k_e N_o(\Delta t)\} & O_a| = k_a [k_e N_o(\Delta t) - m - 1] \end{cases} \quad (3)$$

где  $O$ ,  $O_e$  - множества отказов ТСБТ и отказов ТСБТ по причине отказов ПКИ;  $O_z$ ,  $O_r$ ,  $O_a$  - множества отказов, структурированных по статьям расходов: убытки из-за снижения качества услуги, расходы на ремонт и восстановление, расходы на анализ причин отказов и их устранение, соответственно;  $l$ ,  $m$  - условные номера отказов, присвоенные им при разбиении на классификационные группы;  $i$  - текущий индекс, соответствующий номеру рассматриваемого отказа;  $k_e$  - поправочный коэффициент, учитывающий удельный вес парциальной составляющей отказов аппаратуры по причине применения не сертифицированных ПКИ, приобретенных у неквалифицированных поставщиков;  $k_z$ ,  $k_r$ ,  $k_a$  - поправочные коэффициенты для структурирования по статьям расходов.

Разбиение отказов на классификационные группировки связано с процедурами выявления, анализа, устранения последствий и причин, после осуществления которых подсчитываются расходы, связанные с проявлением отказа, определяются по заданному порогу различимости значения признаков  $a_i$  и значения многомерного двоичного классификационного вектора  $A_p$ , по которым осуществляется сортировка и затем классификация отказов, зарегистрированных в течение периода наблюдения.

По окончании периода наблюдения классификационные группировки оказываются в той или иной мере заполненными, что позволяет найти количественные значения условных номеров  $l$  и  $m$  отказов. К моменту выполнения подсчета не всегда удастся закончить физико-технический анализ всех отказавших ПКИ, однозначно отнести их к той или иной группе, получить их для исследований. Поэтому

вводятся поправочные коэффициенты  $k_z$ ,  $k_r$ ,  $k_a$ , учитывающие объем работ, выполненных по анализу отказов и количество сомнительных случаев.

Таблица 1

## Состояния процесса эксплуатации

| Номер состояния | Снижение качества услуги | Ремонт, восстановление | Анализ и устранение причин | Формула для расчета цены отказов за период наблюдения для каждого состояния процесса                                | Краткая характеристика классификационной группировки - состояния процесса эксплуатации              |
|-----------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|---|---|
| 1               | 0                        | 0                      | 0                          | -   | Отказы отсутствуют  |
| 2               | 0                        | 0                      | 1                          | $Z_a(1 + p_{ai}) \sum_{i=m+1}^{N_0(\Delta t)} t_i$  | Отказов нет, ведется работа по анализу и устранению причин отказов                                  |
| 3               | 0                        | 1                      | 0                          | $Z_r(1 + p_{ri}) \sum_{i=l+1}^m t_i$  | Идет ремонт оборудования без снижения качества услуги   |
| 4               | 0                        | 1                      | 1                          | $Z_r(1 + p_{ri}) \sum_{i=l+1}^m t_i + Z_a(1 + p_{ai}) \sum_{i=m+1}^{N_0(\Delta t)} t_i$                             | Идет ремонт оборудования без снижения качества услуги, проводится анализ отказа                     |
| 5               | 1                        | 0                      | 0                          | $P_{ui}^z \sum_{i=1}^l t_i$   | Снижение качества услуги, работы по восстановлению не начаты  |
| 6               | 1                        | 0                      | 1                          | $P_{ui}^z \sum_{i=1}^l t_i + Z_a(1 + p_{ai}) \sum_{i=m+1}^{N_0(\Delta t)} t_i$                                      | Снижение качества услуги, ведется анализ отказа и устраняются его причины                           |
| 7               | 1                        | 1                      | 0                          | $P_{ui}^z \sum_{i=1}^l t_i + Z_r(1 + p_{ri}) \sum_{i=l+1}^m t_i$  | Снижение качества услуги, ведется ремонт оборудования   |
| 8               | 1                        | 1                      | 1                          | $P_{ui}^z \sum_{i=1}^l t_i + Z_r(1 + p_{ri}) \sum_{i=l+1}^m t_i + Z_a(1 + p_{ai}) \sum_{i=m+1}^{N_0(\Delta t)} t_i$ | Снижение качества услуги, ведется ремонт оборудования, проводится анализ и устранение причин отказа |

Смысл выражения (3) состоит в подготовке информации для принятия решений при определении доминирующей составляющей цены отказов.

На основе (3) ИТУН формирует формализованную в виде состояний и целей процедуру внедрения (согласно требованиям стандартов ИСО 9000 к системам менеджмента качества) управляющей информации в процесс функционирования системы логистической поддержки технического обслуживания, сервисного обслуживания и ремонта:

$$\begin{aligned} \text{Состояния: } & O \subseteq O_e \quad O_e \subseteq O_{eri}^s \quad O_e \subseteq O_{eri}^{ns} \quad . \\ \text{Цели: } & O_{eri}^s \rightarrow \max, \quad O_{eri}^{ns} \rightarrow \min, \quad O_{eri}^s \cap O_{eri}^{ns} \rightarrow \emptyset \end{aligned} \quad (4)$$

Выражение (4), по своей сути, является руководством для разработки программы обеспечения надежности ПКИ, используемых в процессе эксплуатации ТСБТ. Для того, чтобы уровень надежности соответствовал уровню, заложенному при проектировании и изготовлении, необходимо применять сертифицированные ПКИ (множество  $O_{eri}^s$ ), приобретенные у квалифицированных поставщиков ( $O_{eri}^s \rightarrow \max$ ), избегать применения не сертифицированных ПКИ (множество не сертифицированных ПКИ -  $O_{eri}^{ns}$ ,  $O_{eri}^{ns} \rightarrow \min$ ), осуществлять предупреждающие действия по выявлению ПКИ низкого качества ( $O_{eri}^s \cap O_{eri}^{ns} \rightarrow \emptyset$ ). Проведенные теоретические исследования показали, что предложенные методы классификации объектов по критериям эффективности степени детализации модели и порог различимости цены отказа позволяют ожидать сокращение затрат на моделирование при управлении надежностью ТСБТ на 15 - 20 %. Экспериментальное подтверждение этого результата планируется показать в следующих работах.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шмытинский В.В., Котов В.К., Лабецкая Г.П., Антонец В.Р. Подготовка исходных данных для построения информационной модели службы организационно-технической эксплуатации. Информационные технологии на железнодорожном транспорте: Доклады VIII международной научно-практической конференции "ИНФОГРАНС-2003" – СПб, 2003. – С.320, 157.
2. Безродный Б.Ф., Антонец В.Р., Зоровцов И.А. Имитационная модель для расчета коэффициента готовности линейного участка ВОЛП МЦСС. "Проблемы обеспечения эффективности и устойчивости функционирования сложных технических систем". Сборник трудов. XXII межведомственная научно-техническая конференция. ВИРВ, Серпухов, 2003, С.249 – 252.
3. И.А.Здоровцов, В.Р.Антонец и др. Информационные системы принятия решений при технической эксплуатации цифровой сети связи. "Автоматика, связь, информатика", № 12, 2003., - С.13 – 16, № 2, 2004., - С. 17 - 21.
4. Костров А.В., Александров Д.В. Уроки информационного менеджмента. Практикум. Учебное пособие. - М.: Финансы и статистика, 2005. – 304 с.