

Системы и устройства автоматики и телемеханики

УДК 656.25:62-192

В. И. Шаманов, д-р техн. наук

Кафедра «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте»,
Московский государственный университет путей сообщения

УПРАВЛЕНИЕ ПРОЦЕССОМ МОДЕРНИЗАЦИИ КОМПЛЕКСОВ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ

В статье приведены результаты разработки с использованием теории множеств, способа управления процессом модернизации комплексов систем железнодорожной автоматике и телемеханики на полигонах железных дорог. Особенностью рассматриваемых работ по модернизации является то, что их выполнение не приводит к увеличению транспортной продукции, а направлено на повышение определенных показателей ее качества и/или на снижение затрат на эксплуатацию систем. Предлагаемый способ обеспечивает возможность получения максимального суммарного эффекта в поездной работе и в работе по технической эксплуатации систем при модернизации в условиях, когда на разных линиях полигона железной дороги обращаются поезда с разным весом, разной скоростью и интенсивностью движения, а наличие материальных и трудовых ресурсов ограничено. При разработке способа использовались наименее ограниченные математические структуры. При практическом использовании способа необходимо обеспечивать жесткое семантическое соответствие между оперируемыми объектами и физическими процессами, четкую интерпретацию всех вводимых понятий и семантическую конкретизацию видов требуемых для выполнения работы материальных и трудовых ресурсов, улучшаемых в результате показателей качества перевозочного процесса и/или системы технического обслуживания и ремонта.

комплексы систем железнодорожной автоматике и телемеханики; управление; модернизация; показатели качества; типы материальных и трудовых ресурсов; конечные множества и подмножества; отображения; виды работ; булеаны; кортежи; индикаторы; ограничения; целевая функция

Введение

Модернизация эксплуатируемых систем железнодорожной автоматике и телемеханики (СЖАТ) является, по сути, процессом управления качеством функционирования сложных иерархических технических систем на длительном отрезке времени. Актуальность модернизации данных систем в последние годы растет в связи с ограниченностью финансов на их замену.

Основные причины, вызывающие необходимость модернизации СЖАТ:

- физическое старение систем и их отдельных устройств [1];
- моральное старение систем и их отдельных устройств [2];
- внедрение высокоскоростного движения с асинхронными тяговыми двигателями на электровозах [3, 4];
- расширение полигонов тяжеловесного движения поездов, особенно при электротяге переменного тока [5];
- ужесточение требований к качеству передачи информации в СЖАТ [6, 7].

В теории производства для оценки эффективности традиционно используется двухфакторная производственная функция $Q = f(L, K)$, например, степенная функция Кобба – Дугласа, характеризующая зависимость между максимально возможным объемом выпуска Q и количеством применяемых ресурсов труда L (численностью работников) и капитала K (стоимостью производственных фондов).

Одной из особенностей работ по модернизации является то, что их выполнение не приводит к увеличению транспортной продукции. Эффективность этих работ определяется улучшением показателей качества перевозочного процесса и/или процесса технической эксплуатации СЖАТ, соотнесенных с затратами на модернизацию. Поэтому за объем Q здесь принимается величина эффекта в движении поездов и/или технической эксплуатации систем.

Другая особенность состоит в том, что перечень возможных работ ограничен. Следовательно, отправным пунктом при анализе эффективности процесса модернизации являются работы, на которые при планировании должны быть найдены затраты и результат которых состоит в безопасности, бесперебойности движения поездов, или работы, затраты на которые связаны с эксплуатацией СЖАТ. Затем на основании сравнения результатов с затратами принимается решение о степени эффективности работ в конкретных условиях.

Результаты анализа модернизации могут быть получены путем использования теоретико-множественных моделей, когда в качестве базовых понятий выступают множества и отношения между ними. Особый упор при этом делается на представлении систем в целом, выделении наиболее существенных аспектов их строения и функционирования. Широкие возможности языка теории множеств позволяют делать описание комплексов систем с различной степенью детализации [8]. Разработанные с итоге целевые функции дают возможность получения максимального технико-экономического эффекта от расходования материальных и трудовых затрат на техническую эксплуатацию СЖАТ после модернизации.

1 Множества параметров процесса

На вербальном уровне процесс управления качеством функционирования эксплуатируемых СЖАТ можно описать следующим образом.

Имеется множество эксплуатируемых объектов, являющихся или элементами некоторой системы, или элементами подсистем такой системы. При выполнении работ по повышению качества функционирования объектов используются определенные виды материальных и трудовых ресурсов, потребность в которых определяется характером и местом выполнения работ.

Соотношение затрат на работы и результатов от их выполнения зависит от места, объема, качества выполнения работ, а также интенсивности движения, скорости и веса поездов. Объемы ресурсов ограничены. Время выполнения разных видов работ различно.

Формализуем описание систем следующим образом. Пусть имеется комплекс модернизируемых систем, состоящих из множества объектов N_0 . Для каждого элемента множества N_0 заданы конечные множества:

– множество всех предполагаемых видов работ на s -м объекте для повышения качества его функционирования:

$$G^s = \{g_1^s, \dots, g_v^s, \dots, g_{n_1^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (1)$$

– множество показателей качества функционирования, характеризующих объект:

$$P^s = \{p_1^s, \dots, p_\rho^s, \dots, p_{n_2^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (2)$$

– множество показателей качества перевозочного процесса, зависящих от качества функционирования СЖАТ:

$$B^s = \{b_1^s, \dots, b_z^s, \dots, b_{n_3^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (3)$$

– множество показателей качества системы технического обслуживания и ремонта (СТОУиР) устройств ЖАТ:

$$U^s = \{u_1^s, \dots, u_v^s, \dots, u_{n_4^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (4)$$

– множество типов материальных ресурсов, необходимых для выполнения работ на s -м объекте, с учетом потребности в транспорте к месту выполнения работы:

$$D^s = \{d_1^s, \dots, d_l^s, \dots, d_{n_5^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (5)$$

– множество наличного объема материальных ресурсов по типам для s -го объекта:

$$A^s = \{a_1^s, \dots, a_i^s, \dots, a_{n_6^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (6)$$

– множество трудовых ресурсов, необходимых для выполнения работ на s -м объекте с учетом квалификации работников:

$$M^s = \{m_1^s, \dots, m_k^s, \dots, m_{n_7^s}^s\}, \quad s \in N_0; \quad (7)$$

– множество наличных трудовых ресурсов с учетом квалификации работников для s -го объекта:

$$L^s = \{l_1^s, \dots, l_p^s, \dots, l_{n_8^s}^s\}, \quad s \in N_0. \quad (8)$$

Для всех элементов множества K задано множество $T = \{t_1, \dots, t_{n^s}\}$ моментов времени, где t_1 – момент начала целевого функционирования объекта, t_{n^s} – момент конца функционирования s -го объекта.

2 Отображения

Для каждого элемента множества N_0 заданы многозначные отображения $f_{G_1^s}^s : G^s \rightarrow P^s$. Каждой работе g_v^s на s -м объекте поставлены в соответствие показатели качества функционирования P_v^s , улучшаемые выполнением этой работы. Многозначное отображение обладает свойством:

$$\forall g_v^s \in G^s \exists P_v^s \in P^s, \quad v = 1, \dots, n_1^s, \quad s \in N_0. \quad (9)$$

При этом возможны две ситуации:

- 1) подмножество P_v^s показателей качества функционирования s -го объекта, улучшаемого v -й работой, состоит из одного элемента;
- 2) подмножество P_v^s состоит из τ элементов, $\tau \leq n_1^s$.

Обозначим систему множеств, элементами которой являются подмножества P_τ^s , символом PP^s . Очевидно, что PP^s принадлежит булеану P_τ^s , $PP^s \in B(P^s)$. Для каждой пары (g_v^s, P_τ^s) , $g_v^s \in G^s$, $P_\tau^s \in PP^s$ введем характеристическую функцию

$$\gamma_{v\tau}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } v = \tau; \quad v, \tau \in \{1, \dots, n_1^s\}; \\ 0, & \text{если } v \neq \tau; \quad v, \tau \in \{1, \dots, n_1^s\}, \end{cases} \quad (10)$$

где $\gamma_{v\tau}^s = 0$ означает, что v -я работа не влияет на качество функционирования s -го объекта.

Многозначное отображение $f_{p_1}^s : P^s \rightarrow B^s$, $s \in N_0$, ставит в соответствие каждому показателю качества функционирования s -го объекта, улучшаемому при модернизации, множество показателей качества перевозочного процесса, на которые влияют выполняемые работы. Отображение $f_{p_1}^s$ обладает свойством

$$\forall P_\rho^s \in P^s \exists B_\rho^s \in B^s, \quad \rho = \overline{1, n_2}, \quad s \in N_0. \quad (11)$$

При этом возможна одна из двух ситуаций:

- 1) подмножество B_ρ^s улучшаемых показателей качества перевозочного процесса состоит из одного элемента;
- 2) подмножество B_ρ^s состоит из ψ элементов, $\psi \leq n_2$.

Обозначим символом BB^s систему множеств, принадлежащую булеану множества B^s , $BB^s \in B(B^s)$. Элементами BB^s являются подмножества B_ψ^s . Индикатор для каждой пары (p_ρ^s, B_ψ^s) , $p_\rho^s \in P^s$, $B_\psi^s \in BB^s$:

$$\gamma_{\rho\psi}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } \rho = \psi; \quad \rho, \psi \in \{1, \dots, n_2\}; \\ 0, & \text{если } \rho \neq \psi; \quad \rho, \psi \in \{1, \dots, n_2\}, \end{cases} \quad (12)$$

где $\gamma_{\rho\psi}^s = 0$ означает, что рассматриваемая работа на качество перевозочного процесса не влияет.

Многозначное отображение $f_{p_2}^s : P^s \rightarrow U^s$, $s \in N_0$, ставит в соответствие каждому показателю качества функционирования s -го объекта, улучшаемому в результате модернизации, множество показателей качества СТОУиР, на которые влияют выполняемые работы. Отображение $f_{p_2}^s$ обладает свойством

$$\forall P_\rho^s \in P^s \exists U_\rho^s \in U^s, \quad \rho = \overline{1, n_2}, \quad s \in N_0. \quad (13)$$

При этом возможна одна из ситуаций:

- 1) подмножество U_ρ^s улучшаемых показателей качества СТОУиР состоит из одного элемента;
- 2) подмножество U_ρ^s состоит из ζ элементов, $\zeta \leq n_2$.

Обозначим символом UU^s систему множеств, принадлежащих булеану U^s , $UU^s \in B(U^s)$. Элементами UU^s являются подмножества U_ζ^s . Для каждой пары (P_ρ^s, U_ζ^s) , $P_\rho^s \in P^s$; $U_\zeta^s \in UU^s$ введем индикатор

$$\gamma_{\rho\zeta}^s = \begin{cases} 1 & \text{если } \rho = \zeta; \quad \rho, \zeta \in \{1, \dots, n_2\}; \\ 0 & \text{если } \rho \neq \zeta; \quad \rho, \zeta \in \{1, \dots, n_2\}, \end{cases} \quad (14)$$

где $\gamma_{\rho\xi}^s = 0$ означает, что рассматриваемая работа по модернизации систем ЖАТ не влияет на показатели качества СТОУиР.

Мнозначное отображение $f_{G_2}^s : G^s \rightarrow D^s$, $s \in N_0$, ставит в соответствие каждой работе g_v^s , выполняемой на s -м объекте, требуемое множество типов d_1^s материальных ресурсов и обладает свойством

$$\forall g_v^s \in G^s \exists D_v^s \in D^s, \quad v = \overline{1, n_1^s}, \quad s \in N_0. \quad (15)$$

При этом возможны следующие ситуации:

- 1) подмножество D_v^s типов материальных ресурсов для выполнения v -й работы на s -м объекте состоит из одного элемента;
- 2) подмножество D_v^s состоит из β элементов, $\beta \leq n_5^s$.

Обозначим систему множеств, элементами которой являются подмножества D_β^s , символом DD^s . Очевидно, что DD^s принадлежит булеану множества D^s , $DD^s \in B(D^s)$. Для каждой пары (g_v^s, D_β^s) , $g_v^s \in G^s$; $D_\beta^s \in DD^s$ введем характеристическую функцию

$$\gamma_{v\beta}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } v = \beta; \quad v, \beta \in \{1, \dots, n_1^s\}; \\ 0, & \text{если } v \neq \beta; \quad v, \beta \in \{1, \dots, n_1^s\}. \end{cases} \quad (16)$$

Мнозначное отображение $f_{G_3}^s : G^s \rightarrow M^s$, $s \in N_0$, ставит в соответствие каждой работе g_v^s , выполняемой на s -м объекте, требуемое подмножество трудовых ресурсов (работников) соответствующей квалификации m_k^s и обладает свойством

$$\forall g_v^s \in G^s \exists M_v^s \in M^s, \quad v = \overline{1, n_1^s}, \quad s \in N_0. \quad (17)$$

При этом возможны две ситуации:

- 1) подмножество M_v^s требуемых трудовых ресурсов для выполнения v -й работы на s -м объекте состоит из одного элемента;
- 2) подмножество M_v^s состоит из η элементов, $\eta \leq n_7^s$.

Обозначим систему множеств, элементами которой являются подмножества M_η^s , символом MM^s . Очевидно, что MM^s принадлежит булеану множества M^s , $MM^s \in B(M^s)$. Для каждой пары (g_v^s, M_η^s) , $g_v^s \in G^s$; $M_\eta^s \in MM^s$ введем характеристическую функцию

$$\gamma_{v\eta}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } v = \eta; \quad v, \eta \in \{1, \dots, n_1^s\}; \\ 0, & \text{если } v \neq \eta; \quad v, \eta \in \{1, \dots, n_1^s\}. \end{cases} \quad (18)$$

Отображение $f_D^s : D^s \rightarrow A^s$, $s \in N_0$, ставит в соответствие каждому типу материального ресурса d_β^s , необходимого s -му объекту для выполнения на нем заданного объема работ, наличный ресурс этого типа a_i^s или пустое множество, если ресурса нет. Для каждой пары (d_β^s, a_i^s)

$$\lambda_{\beta i}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } f_d^s(d_\beta^s) \neq \emptyset; \\ 0, & \text{если } f_d^s(d_\beta^s) = \emptyset, \end{cases} \quad (19)$$

где $\lambda_{\beta i}^s = 0$ означает, что ресурса $a_i^s \in A^s$ в наличии нет.

Пусть A_θ^s – образ подмножества D_β^s при отображении f_D^s . Систему подмножеств, элементами которой являются множества $A_\theta^s \in A^s$, обозначим AA^s . Заметим, что AA^s принадлежит булеану множества A^s , $AA^s \in B(A^s)$.

Отображение $f_M^s : M^s \rightarrow L^s$ ставит в соответствие каждой категории работников соответствующей квалификации m_η^s , необходимой для выполнения заданных работ на s -м объекте, наличные ресурсы этой категории l_p^s или пустое множество, если ресурсов нет. Для каждой пары (m_η^s, l_p^s)

$$\lambda_{\eta p}^s = \begin{cases} 1, & \text{если } f_M^s(m_\eta^s) \neq \emptyset; \\ 0, & \text{если } f_M^s(m_\eta^s) = \emptyset, \end{cases} \quad (20)$$

где $\lambda_{\eta p}^s = 0$ означает, что ресурса $l_p^s \in L^s$ в наличии нет.

Пусть L_ϕ^s – образ подмножества M_η^s при отображении f_M^s . Систему подмножеств, элементами которой являются подмножества $L_\phi^s \in L^s$, обозначим LL^s , при этом LL^s принадлежит булеану множества L^s , $LL^s \in B(L^s)$.

3 Кортжи

Рассмотрим кортежи, необходимые для описания рассматриваемого процесса и входящие в подмножество декартова произведения

$$N^s \subset G^s \times PP^s \times BB^s \times UU^s \times DD^s \times AA^s \times MM^s \times LL^s,$$

такое, что

$$N^s = \left\langle g_v^s, P_\tau^s, B_\psi^s, U_\zeta^s, D_\beta^s, A_\theta^s, M_\eta^s, L_\phi^s \right\rangle \in \\ G^s \times PP^s \times BB^s \times UU^s \times DD^s \times AA^s \times$$

$$\begin{aligned}
& \times MM^s \times LL^s : \gamma_{v\tau}^s = 1, \quad \forall v, \tau \in \{1, \dots, n_1^s\}; \\
& \gamma_{\rho\psi}^s = 1, \quad \forall \rho, \psi \in \{1, \dots, n_2^s\}, \quad \gamma_{\rho\beta}^s = 1, \quad \forall \rho, \beta \in \{1, \dots, n_2^s\}; \\
& \gamma_{v\beta}^s = 1, \quad \forall v, \beta \in \{1, \dots, n_1^s\}; \quad \gamma_{v\eta}^s = 1, \quad \forall v, \eta \in \{1, \dots, n_1^s\}, \\
& \lambda_{\beta i}^s = 1, \quad \lambda_{\eta p}^s = 1.
\end{aligned} \tag{21}$$

Это значит, что элементами кортежей, входящих в N^s , являются:

- работа по модернизации s -го объекта g_v^s ;
- образ этой работы при отображении $f_{G_1}^s$, т. е. множество показателей качества функционирования s -го объекта P_τ^s , улучшаемых этой работой;
- образ множества P_τ^s при отображении $f_{p_1}^s$, т. е. множество показателей качества перевозочного процесса B_ψ^s , на которые влияет выполняемая работа по модернизации s -го объекта;
- образ множества P_τ^s при отображении $f_{p_2}^s$, т. е. множество показателей качества СТОУиР устройств ЖАТ U_ζ^s , изменяющихся при выполнении работы g_v^s на s -м объекте;
- образ работы g_v^s при отображении $f_{G_2}^s$ – множество требуемых типов материальных ресурсов D_β^s ;
- образ множества D_β^s при отображении f_D^s – множество наличных материальных ресурсов A_θ^s ;
- образ работы g_v^s при отображении $f_{G_3}^s$ – множество требуемых трудовых ресурсов (работников) соответствующей квалификации M_η^s ;
- образ множества M_η^s при отображении f_M^s – множество наличных трудовых ресурсов L_ϕ^s .

Отображение $f_T^s : R^s \rightarrow T \times T$ ставит в соответствие кортеж $\langle t_H, t_K \rangle$ каждому кортежу

$$\langle g_v^s, P_\tau^s, B_\psi^s, U_\zeta^s, D_\beta^s, A_\theta^s, M_\eta^s, L_\phi^s \rangle \in N^s,$$

где $P_\tau^s = f_{G_1}^s(g_v^s)$; $B_\psi^s = f_{p_1}^s(P_\tau^s)$; $U_\zeta^s = f_{p_2}^s(P_\tau^s)$; $D_\beta^s = f_{G_2}^s(g_v^s)$; $A_\theta^s = f_D^s(D_\beta^s)$; $M_\eta^s = f_{G_3}^s(g_v^s)$; $L_\phi^s = f_M^s(M_\eta^s)$; t_H, t_K – время начала и время конца работы g_v^s на s -м объекте при наличных ресурсах A_θ^s, L_ϕ^s и их потребности соответственно D_β^s и M_η^s .

4 Распределение объектов по подсистемам

Объекты N_0 в системах G разбиты по множеству подсистем, функционирующих в разных условиях, причем работы по повышению качества функционирования обычно проводятся выборочно по однотипным объектам, принадлежащим разным подсистемам, а объем выполнения работ зависит от степени влияния показателей качества функционирования объекта на эффективность работы подсистемы.

Пусть N_π – подмножества однотипных объектов, $N_\pi = \{1, \dots, n_\pi\}$, n_π – число подмножеств N_π в системе S . Совокупность подмножеств N_π удовлетворяет условиям

$$1) \quad \bigcup_{n_\pi} N_\pi = S; \quad (22)$$

$$2) \quad N_{\pi_1} \cap N_{\pi_2} = \emptyset \text{ при } \pi_1 \neq \pi_2; \quad \pi_1, \pi_2 \in \{1, \dots, n_\pi\}. \quad (23)$$

Пусть I_q – множество подсистем, различающихся, например, по территориальному расположению и составляющих систему S , $I_q = \{1, \dots, n^q\}$, n^q – число подсистем. Эти подмножества множества S удовлетворяют условиям

$$1) \quad \bigcup_{n^q} I_q = S; \quad (24)$$

$$2) \quad I_{q_1} \cap I_{q_2} = \emptyset \text{ при } q_1 \neq q_2; \quad q_1, q_2 \in \{1, \dots, n^q\}. \quad (25)$$

Подмножество множества однотипных объектов, входящих в q -ю подсистему, порождает разбиение множества N_π на совокупность подмножеств, $N_\pi^q = \{1, \dots, n_\pi^q\}$, удовлетворяющих условиям

$$1) \quad \bigcup_{n_\pi^q} N_\pi^q = N_\pi; \quad (26)$$

$$2) \quad N_\pi^{q_1} \cap N_\pi^{q_2} = \emptyset \text{ при } q_1 \neq q_2; \quad q_1, q_2 \in \{1, \dots, n_\pi^q\}. \quad (27)$$

Эффективность работы по повышению качества функционирования зависит от конкретных условий эксплуатации СЖАТ, поэтому множество видов работ G^S , проводимых в системе, необходимо разбить на подмножества работ G^{sq} , проводимых в однотипных объектах N_π^q , принадлежащих одной подсистеме I_q :

$$G^{sq} = \overline{\{1, n_{v\pi}^q\}}; \quad \forall \pi \in \overline{\{1, n_\pi\}}; \quad \forall q \in \overline{\{1, n^q\}}; \quad \forall v \in \overline{1, n_1},$$

где $n_{v\pi}^q$ – число работ в объектах типа π подсистемы q .

5 Целевая функция

Выполненные преобразования позволяют сформулировать задачу оптимизации работ по модернизации комплекса СЖАТ на определенном полигоне железной дороги для получения максимального суммарного технико-экономического эффекта в поездной работе и работе по технической эксплуатации систем при ограниченных материальных и трудовых ресурсах. Целевая функция для решения этой задачи в q -й подсистеме

$$F_d = \sum_{\pi=1}^{n_{\pi}} \sum_{q=1}^{n^q} \sum_{s=1}^{n_{\pi}^q} \sum_{v=1}^{n_{v\pi}^q} \left[\sum_{z=1}^{\psi} \sum_{\rho=1}^{\tau} \Delta B_{zv}^{q\pi} Y_z^q \pm \sum_{v=1}^{\zeta} \sum_{\rho=1}^{\tau} \Delta U_{vv}^{q\pi} e_v^q - \right. \\ \left. - E_H \left(\sum_{i=1}^{\beta} K_{iv}^{q\pi} r_i^q + \sum_{p=1}^{\eta} L_{pv}^{q\pi} W_p^q \right) \right] = \max \quad (28)$$

при выполнении ограничений

$$s \in N_0, \quad \gamma_{v\tau}^s = 1, \quad \forall v, \tau \in \{1, \dots, n_1^s\}, \quad \gamma_{\rho\psi}^s = 1, \quad \forall \rho, \psi \in \{1, \dots, n_2^s\}; \\ \gamma_{\rho\zeta}^s = 1, \quad \forall \rho, \zeta \in \{1, \dots, n_2^s\}, \quad \gamma_{v\beta}^s = 1, \quad \forall v, \beta \in \{1, \dots, n_1^s\}; \\ \gamma_{v\eta}^s = 1, \quad \forall v, \eta \in \{1, \dots, n_1^s\}, \quad \lambda_{\beta i}^s = 1, \quad \lambda_{\eta p}^s = 1,$$

где $\Delta B_{zv}^{q\pi}$ – степень улучшения z -го показателя качества перевозочного процесса от выполнения v -й работы на объекте типа π подсистемы q ;

Y_z^q – стоимостная оценка в q -й подсистеме единичной величины в натуральной метрике z -го показателя качества перевозочного процесса;

$\Delta U_{vv}^{q\pi}$ – степень изменения v -го показателя качества СТОиР v -й работы на объекте типа π в q -й подсистеме;

e_v^q – стоимостная оценка в q -й подсистеме единичной величины в натуральной метрике v -го показателя качества СТОУиР;

E_H – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений в новую технику;

$K_{iv}^{q\pi}$ – количество ресурсов капитала i -го типа, необходимого для выполнения v -й работы по модернизации объекта типа π в q -й подсистеме;

r_i^q – цена капитала i -го типа в q -й подсистеме;

$L_{pv}^{q\pi}$ – количество трудовых ресурсов p -го типа, необходимого для выполнения v -й работы для модернизации π -го объекта в q -й подсистеме;

W_p^q – цена трудовых ресурсов p -го типа в q -й подсистеме.

В разработанном способе задействованы абстрактные, наименее ограниченные структуры. Это определяет универсальность способа, но при его практическом использовании требует жесткого семантического соответствия между

оперируемыми объектами и физическими процессами, четкой интерпретации всех вводимых понятий и придание смыслового содержания всем множествам и отношениям.

Проблема построения адекватных количественных характеристик разных работ для модернизации эксплуатируемых СЖАТ требует решения вопросов интеграции разнородной информации, обеспечения ее сопоставимости, сводимости.

Задача усложняется при сравнительном анализе возможных вариантов достижения необходимого качества функционирования устройств, когда оценка имеющихся при этом ресурсов, условий функционирования устройств и получаемых результатов требует, как видно из целевой функции, совместного комплексного рассмотрения различных показателей с применением натуральной, стоимостной или организационно-экономической метрики. Последняя метрика или теория полезности является хорошей базой для методов количественной оценки влияния модернизации на качество транспортной продукции, в том числе на безопасность движения поездов, которая может учитываться в виде ограничения с обязательным его выполнением.

Заключение

Разработан способ управления процессом модернизации комплексов систем железнодорожной автоматики и телемеханики. Использование теории множеств позволило формализовать описание распределения модернизируемых объектов по конкретным СЖАТ на разветвленном полигоне железной дороги. Более корректным стало описание количественных взаимозависимостей между параметрами процесса модернизации объектов и суммарного эффекта от неё в показателях качества перевозочного процесса и/или качества системы технического обслуживания и ремонта объектов.

Использование наименее ограниченных математических структур обеспечило универсальность предлагаемого способа. Однако при практическом применении способа необходимо жесткое семантическое соответствие между рассматриваемыми объектами, работами на них и соответствующими технико-экономическими процессами, а также четкая интерпретация всех вводимых понятий и четкое смысловое содержание всех множеств и отношений.

Определена целевая функция для оптимизации работ по модернизации СЖАТ на полигоне железной дороги. Использование этой функции обеспечивает возможность получения максимального суммарного эффекта в поездной работе и минимум затрат материальных и трудовых ресурсов на эксплуатацию данных систем при ограниченном финансировании этих работ в условиях, когда на разных линиях полигона обращаются поезда с разным весом, разной скоростью и разной интенсивностью движения.

Библиографический список

1. Сапожников Вал. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.
2. Лисенков В. М. Методы анализа и синтеза рельсовых цепей (статистический подход) / В. М. Лисенков. – М. : ВИНТИ РАН, 2014. – 202 с.
3. Бестемьянов П. Ф. Методика оценки работоспособности рельсовых цепей тональной частоты при воздействии тока электроподвижного состава с асинхронным тяговым двигателем / П. Ф. Бестемьянов, Ю. А. Кравцов, А. Б. Чегуров, Е. Г. Щербина // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2012. – № 1. – С. 87–92.
4. Кравцов Ю. А. Синтез рельсовых цепей тональной частоты с автоматическим регулированием уровня сигнала / Ю. А. Кравцов, Е. В. Архипов, А. Е. Щербина, М. Е. Бакин // Вестник транспорта Поволжья. – 2012. – № 5. – С. 60–69.
5. Шаманов В. И. Электромагнитная совместимость систем железнодорожной автоматики и телемеханики / В. И. Шаманов. – М. : ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2013. – 244 с.
6. Сапожников Вал. В. Метод построения кода Бергера с повышенной эффективностью обнаружения ошибок в информационных разрядах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Электронное моделирование. – 2013. – Т. 35, № 4. – С. 21–34.
7. Сапожников Вал. В. О способах построения кодов с суммированием с минимальным общим числом необнаруживаемых искажений в информационных векторах / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, Д. В. Ефанов, Д. А. Никитин // Известия Петербургского университета путей сообщения. – 2014. – № 1. – С. 82–91.
8. Гнеденко Б. В. Математические методы в теории надежности / Б. В. Гнеденко, Ю. К. Беляев, А. Д. Соловьев. – М. : Наука, 1965. – 524 с.

Shamanov Victor I.

Moscow State University of Railway Engineering
«Transport Automation and Telemechanics (Signaling) and Communications» department

Management of the modernization process of the complex of railway automation and remote control systems

The article provides the results of development, using the set theory, of a method of management of the modernization process of railway automation and remote control systems

at railway operation domain. A particularity of the modernization research in question is that its performance does not increase the transportation production, but is intended to improve the certain indicators of quality and/or to reduce the costs of system operation. The proposed method provides the possibility to maximize the total effect of train operation and the technical operation of the system under modernization, when trains with different weights, speeds and the volume of traffic at different lines of railway operation domain, and when material and human resources are limited. To develop a method the least limited mathematical structures were used. In the practical use of the method it is necessary to provide the strict semantical correspondence between the objects in operation and physical processes, a clear interpretation of all the terms introduced and a semantic specification of the types of material and labour resources, required to perform the work, and as the result – improved indicators of the quality of transportation process and/or maintenance and repair system.

complexes of railway automation and remote control systems; management; modernization; quality indicators; the types of material and labour resources; finite sets and subsets; representation; types of work; Boolean; tuples; indicators; limitations; efficiency function

Reference

1. Sapozhnikov Val.V. Reliability of railway automation, remote control and communication systems / Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, V.I. Shamanov. – M. : Route (Marshrut), 2003. – 263 p.
2. Lisenkov V. M. Methods of analysis and synthesis of track circuit (statistical approach) / V.M. Lisenkov. – M. : VINITI RAN, 2014. – 202 p.
3. Bestem'yanov P.F. Technique for performance evaluation of voice-frequency track circuits under the current of electric rolling stock with asynchronos traction motor / P.F. Bestem'yanov, Yu.A. Kravtsov, A. B. Chegurov, E. G. Shcherbina // Bulletin of Rostov State Transport University. – 2012. – № 1. – Pp. 87–92.
4. Kravtsov Yu.A. Synthesis of voice-frequency track circuits with automatic signal level control / Yu.A. Kravtsov, E. V. Arkhipov, A. E. Shcherbina, M. E. Bakin // Bulletin of Volga region transport (Vestnik transporta Povolzh'ya). – 2012. – № 5. – Pp. 60–69.
5. Shamanov V.I. Electromagnetic compatibility of railway automation and remote control systems / V.I. Shamanov. – M. : FGBOU «Training center for railway transport education», 2013. – 244 c.
6. Sapozhnikov Val.V. Method of formation of Berger code with improved efficiency of error detection in data bits / Val.V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, D.V. Efanov, D.A. Nikitin // Electronic simulation (Elektronnoe modelirovanie). – 2013. – T. 35, № 4. – Pp. 21–34.
7. Sapozhnikov Val.V. On methods of sum code formation with minimum total number of undetectable distortions in data vectors / Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov,

D. V. Efanov, D. A. Nikitin // Proceedings of Petersburg Transport University. – 2014. – № 1. – Pp. 82–91.

8. Gnedenko B. V. Mathematical methods in theory of reliability / B. V. Gnedenko, Yu. K. Belyaev, A. D. Solov'ev. – M. : Science (Nauka), 1965. – 524 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии А. Б. Никитиным
Поступила в редакцию 24.03.2015*

ШАМАНОВ Виктор Иннокентьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Автоматика, телемеханика и связь на железнодорожном транспорте» Московского государственного университета путей сообщения.
e-mail: shamanov_vi@mail.ru

© Шаманов В. И., 2015