

Надежность, живучесть, безопасность

УДК 656.25:62-192

А. В. Горелик, д-р техн. наук
П. А. Неваров, канд. техн. наук

Кафедра «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь»,
Московский государственный университет путей сообщения

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ АВТОМАТИКИ И ТЕЛЕМЕХАНИКИ С УЧЕТОМ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ

В статье рассмотрена методика оценки качества работы хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» с учётом возникновения внезапных отказов, а также последствий отказов устройств сигнализации, централизации и блокировки с точки зрения экономической эффективности и обеспечения заданного уровня пропускной и провозной способности. Особое внимание уделено вопросам расчёта плановых показателей надёжности, который основан на нормировании количества отказов, допустимых с учётом конкретных условий эксплуатации для заданного участка, станции, дистанции или в целом. Сформулированы три основные задачи по управлению показателями надёжности систем железнодорожной автоматики и телемеханики, на основе которых можно провести исследование эффективности функционирования этих систем путём определения степени соответствия реального результата технологического процесса требуемому и сделать вывод об эффективности процесса регулирования движения поездов на заданном участке железной дороги.

надёжность; качество; отказ; железнодорожная автоматика и телемеханика (ЖАТ); эффективность функционирования; регулирование движения поездов; RAMS; строительно-эксплуатационные затраты; экономический ущерб

Введение

Расчёт и анализ плановых показателей надёжности (ППН) производится в рамках концепции обеспечения безотказности, готовности, ремонтпригодности и безопасности (RAMS). В основе управления RAMS – выявление целевых и плановых показателей RAMS, оценка их фактических (достигнутых) значений и последующее их сопоставление. Достигнутые показатели рассчитываются по результатам фактической работы [1].

Для систем и устройств железнодорожной автоматики и телемеханики (ЖАТ) RAMS являются характеристиками продолжительной работы системы и достигаются посредством применения существующих инженерных понятий, методов, средств и технологий в течение жизненного цикла системы ЖАТ [2]. RAMS систем и устройств ЖАТ могут характеризоваться как качественными, так и количественными показателями, при определённых значениях которых можно полагаться на то, что они функционируют надлежащим образом, готовы к эксплуатации и безопасны.

Готовность, как составляющая RAMS, для системы ЖАТ зависит от безотказности системы с точки зрения вероятности возникновения каждого вида отказа, ремонтпригодности, с точки зрения времени обнаружения, локализации и восстановления вида отказа, а также от средств технического обслуживания с точки зрения доступности запасных частей, правил технического обслуживания, зависит от человеческого фактора при выполнении действий по техническому обслуживанию. Все перечисленные понятия являются свойствами надёжности систем и устройств ЖАТ и оцениваются различными показателями.

При расчёте ППН необходимо учитывать такие факторы, как размеры движения поездов, технология технического обслуживания, потоки отказов средств ЖАТ в зависимости от применяемых технических средств, экономические критерии. Для этого используются методы теории массового обслуживания.

Оценка качества работы хозяйства автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» напрямую зависит от числа отказов устройств сигнализации, централизации и блокировки (СЦБ) и определяется динамикой числа отказов. При этом не учитывается возможность возникновения внезапных отказов, а также последствия отказов устройств СЦБ с точки зрения экономической эффективности и обеспечения заданного уровня пропускной и провозной способности.

1 Расчёт плановых показателей надёжности

Расчёт ППН основан на нормировании количества отказов, которые допустимы с учётом конкретных условий эксплуатации для заданного участка, станции, дистанции, дороги или службы в целом.

В качестве основного ППН используется коэффициент готовности $K_r(t)$ [3]. Вероятностное определение нестационарного коэффициента готовности в общем случае имеет следующий вид:

$$K_r(t) = \frac{\mu_2(t)}{\lambda_2(t) + \mu_2(t)} + \frac{\lambda_2(t)}{\lambda_2(t) + \mu_2(t)} \cdot e^{-(\lambda_2(t) + \mu_2(t))t}. \quad (1)$$

В качестве вспомогательных ППН определяются:

$\lambda_2(t)$ – интенсивность отказов системы ЖАТ;

$\mu_2(t)$ – интенсивность восстановления системы ЖАТ после отказа.

При расчёте ППН следует определять следующие параметры движения поездов:

$\lambda_1(t)$ – интенсивность входящего потока передвижений поездов на участке железной дороги;

$\mu_1(t)$ – интенсивность пропуска поездов на участке железной дороги;

N_n – наличную пропускную способность участка железной дороги.

При расчёте ППН следует также определять следующие экономические показатели:

C_3 – годовые приведенные строительно-эксплуатационные затраты на разработку и эксплуатацию системы ЖАТ;

\overline{C}_y – средняя величина ущерба, понесенного в течение года вследствие ненадежности системы ЖАТ;

$Z = C_3 + \overline{C}_y$ – суммарные приведенные строительно-эксплуатационные затраты для рассматриваемой системы ЖАТ.

Для расчёта ППН требуются следующие исходные данные:

– однопунктный и двухпунктный планы рассматриваемого участка железной дороги и характеристика применяемых устройств ЖАТ;

– интенсивность отказов элементов системы ЖАТ;

– статистика по возникновению и устранению отказов устройств ЖАТ;

– данные автоматизированной системы АСУ-Ш2.

Для определения параметров движения поездов используется график исполненного движения (ГИД) поездов на участке железной дороги для определения закона распределения интервалов между поездами (данные ГИД «Урал»).

Для определения экономических показателей требуется следующие исходные данные:

– $C_y^{пс}$ – средняя стоимость простоя поезда на участке, $\overline{C}_y^{пс} = 1158$ руб./с;

– $Z_{ТО}(t)$ – затраты на техническое обслуживание рассматриваемой системы;

– $Z_{НТ}(t)$ – затраты на модернизацию существующей системы либо внедрение новой техники;

– $Z_{ТО\ доп}(t)$ – затраты, связанные с изменением принципов и периодичности технического обслуживания системы ЖАТ;

– $Z_B(t)$ – затраты, связанные с интенсивностью восстановления системы ЖАТ, зависящие от времени поиска и устранения отказов её устройств;

– требуемая пропускная способность участка железной дороги N_n ;

– коэффициент приведения ущерба к годовому $k_{пр} = 1,35$;

– допустимая величина экономического ущерба на один отказ средств ЖАТ $C_y^{\text{доп}}$.

Порядок расчёта ППН [3] состоит в следующем. Методом сравнения статистического и теоретического распределения определяется закон распределения интервалов времени между отказами, между поездами, а также времени восстановления средств ЖАТ после отказа и времени пропуска поездов по участку. На основе полученных данных и известного закона распределения определяются параметры $\lambda_1(t)$, $\mu_1(t)$, $\lambda_2(t)$, $\mu_2(t)$.

Среднее время нахождения в очереди заявки p -го класса определяется следующим выражением:

$$T_p = \bar{x}_p + \frac{\sum_{i=p}^P \lambda_i(t) \cdot \bar{x}_i^2 / 2}{1 - \sigma_p} + \sum_{i=p+1}^P \rho_i(t) \cdot T_p = \frac{\bar{x}_p \cdot (1 - \sigma_p) + \sum_{i=p}^P \lambda_i(t) \cdot \bar{x}_i^2 / 2}{(1 - \sigma_p) \cdot (1 - \sigma_{p+1})}, \quad (2)$$

где $\sigma_p(t) = \sum_{i=p}^P \rho_i(t)$; P – количество классов; p – текущий класс заявки

($p = 1, 2, \dots, P$); $\lambda_i(t)$ – интенсивность входящего потока заявок i -го класса; \bar{x}_i – среднее время обслуживания заявок i -го класса; \bar{x}_i^2 – второй начальный момент длительности обслуживания заявок i -го класса; $\rho_i(t)$ – удельная нагрузка прибора по обслуживанию заявок i -го класса.

При этом для $p = 1$ параметр T_p можно рассматривать как время простоя поезда.

Среднее число заявок данного класса или среднее число простаивающих поездов определяется следующим образом:

$$\bar{N}_p = \lambda_p(t) \cdot T_p. \quad (3)$$

Среднее время обслуживания заявок i -го класса вычисляется как среднее арифметическое времени обработки n заявок i -го класса:

$$\bar{x}_i = \frac{\sum_{j=1}^n x_{ij}}{n}. \quad (4)$$

Второй начальный момент обслуживания заявок i -го класса можно вычислить по формуле

$$\bar{x}_i^2 = \frac{\sum_{j=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{n - 1}. \quad (5)$$

Окончательно среднее число и время дополнительных остановок поездов вследствие отказов средств ЖАТ определяются по формулам:

$$\Delta T_1 = T_1(\lambda_2) - T_1(0), \Delta \bar{N}_1 = \bar{N}_1(\lambda_2) - \bar{N}_1(0), \quad (6)$$

где $\bar{N}_1(0)$, $T_1(0)$ – среднее число простаивающих поездов и средняя длина очереди поездов при отсутствии отказов ЖАТ; $\bar{N}_1(\lambda_2)$, $T_1(\lambda_2)$ – среднее число простаивающих поездов и средняя длина очереди поездов при наличии отказов ЖАТ интенсивностью λ_2 .

Интенсивность исходящего потока передвижений в общем случае определяется по формуле:

$$\lambda_3(t) = (1 - P_1(t) \cdot P_2(t)) \cdot \frac{\lambda_1(t) \cdot \mu_1(t)}{\lambda_1(t) + \mu_1(t)} + (P_1(t) \cdot P_2(t)) \times$$

$$\times \left(P_{\text{БВМ}} \cdot \left(P_{\text{ож}} \cdot \left(\frac{\lambda_1(t) \cdot \mu_1(t) \cdot \mu_2(t)}{\mu_1(t) \cdot \mu_2(t) + \lambda_1(t) \cdot \mu_2(t) + \lambda_1(t) \cdot \mu_1(t)} \right) + \right. \right. + \left. \left. + (1 - P_{\text{ож}}) \cdot \left(\frac{\lambda_1(t) \cdot \mu_{\text{cp}}(t)}{\mu_{\text{cp}}(t) \cdot (1 + T_{\text{cp}} \cdot \lambda_1(t)) + \lambda_1(t)} \right) \right) \right) +$$

$$\left. + (1 - P_{\text{БВМ}}) \cdot \left(\frac{\lambda_1(t) \cdot \overline{\mu_{1\text{B}}}}{\mu_{1\text{B}} \cdot (1 + T_{\text{ВМ}} \cdot \lambda_1(t)) + \lambda_1(t)} \right) \right), \quad (7)$$

где $\overline{\mu_{1\text{B}}^m}$ – средняя интенсивность использования вариантных маршрутов; μ_{cp} – средняя интенсивность обслуживания поездов при наличии отказов средств ЖАТ; $P_{\text{ож}}$ – вероятность того, что время ожидания поезда превысит время устранения отказа средства ЖАТ; $P_{\text{БВМ}}$ – вероятность блокировки вариантных маршрутов; $T_{\text{ВМ}}$ – время, необходимое для установки вариантного маршрута.

Значения вероятности состояний системы ЖАТ в зависимости от времени протекания процесса её функционирования определяется следующим образом:

– вероятность того, что поезд находится на рассматриваемом участке:

$$P_1(t) = \frac{\lambda_1 \cdot \mu_2}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} - \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot c_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2)} \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_1)t} -$$

$$- c_0 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)t} - c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2)t}, \quad (8)$$

где $c_2 = -\frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2}$;

$$c_0 = 1 - \frac{\mu_2 \cdot (\lambda_2 + \mu_1)}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} + \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot \lambda_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2) \cdot (\lambda_2 + \mu_2)};$$

– вероятность того, что произошёл отказ средства ЖАТ:

$$P_2(t) = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 + \mu_2} + c_2 \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_2) \cdot t}; \quad (9)$$

– вероятность того, что отказ не произошёл и поезда нет в пределах рассматриваемого участка:

$$P_0(t) = \frac{\mu_2 \cdot (\lambda_2 + \mu_1)}{(\lambda_2 + \mu_2) \cdot (\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)} + \frac{(\mu_2 - \mu_1) \cdot c_2}{(\lambda_1 + \mu_1 - \mu_2)} \cdot e^{-(\lambda_2 + \mu_1)t} + c_0 \cdot e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_1)t}. \quad (10)$$

Годовые приведенные строительно-эксплуатационные затраты на разработку и эксплуатацию системы ЖАТ рассчитываются по следующей формуле [4]:

$$C_3(t) = Z_{ТО}(t) + a \cdot Z_{НТ}(t) + b \cdot Z_{ТО\text{ доп}}(t) + Z_B(t), \quad (11)$$

где $Z_{ТО}(t)$ – затраты на техническое обслуживание рассматриваемой системы; $Z_{НТ}(t)$ – затраты на модернизацию существующей системы либо внедрение новой системы; $Z_{ТО\text{ доп}}(t)$ – затраты, связанные с изменением принципов и периодичности технического обслуживания системы ЖАТ; $Z_B(t)$ – затраты, связанные с интенсивностью восстановления системы ЖАТ, зависящие от времени поиска и устранения отказов устройств ЖАТ; a – коэффициент, определяемый эмпирическим путём:

– если $a = 0$, то рассматривается существующая система ЖАТ;

– если $0 < a \leq 1$, то происходит внедрение новой системы ЖАТ либо модернизация существующей, значение коэффициента зависит от типа системы и параметров рассматриваемого участка;

b – коэффициент, определяемый эмпирическим путём:

– если $b < 0$, то происходит увеличение периодичности технического обслуживания;

– если $b = 0$, то принципы и периодичность технического обслуживания остаются прежними;

– если $b > 0$, то происходит уменьшение периодичности технического обслуживания, следовательно, возрастают затраты по данной статье.

Категорийность рассматриваемого участка с учётом фактической интенсивности движения поездов влияет на принципы организации и периодичность технического обслуживания устройств ЖАТ, что, в свою очередь, определяет суммарные затраты на техническое обслуживание:

$$Z_{\text{ТО}} = \left(\sum_i^n \left(\sum_j^{m_i} \left(\frac{8760}{t_j} \right) \cdot T_j^{\text{P}} \right) \cdot N_i \right) \cdot \bar{\text{Ц}}, \quad (12)$$

где n – количество типов устройств рассматриваемой системы ЖАТ; m_i – количество видов работ по техническому обслуживанию каждого i -го типа устройств ЖАТ; t_j – периодичность обслуживания j -го вида работ; T_j^{P} – среднее время выполнения j -го вида работ; N_i – количество устройств i -го типа в рассматриваемой системе ЖАТ; $\bar{\text{Ц}}$ – средняя стоимость одного часа работ по техническому обслуживанию устройств ЖАТ.

Суммарные затраты на техническое обслуживание устройств ЖАТ $Z_{\text{ТО}}$ являются составляющей суммарных затрат C_3 . При внедрении новой техники или модернизации существующей системы ЖАТ необходимо учитывать затраты $Z_{\text{НТ}}$, которые берутся из расчётной сметы. Это повлечёт изменение принципов и периодичности технического обслуживания, что учитывают затраты $Z_{\text{ТО доп}}$ (рассчитываются по формуле (12)).

Обоснованная организация периодичности технического обслуживания приводит не только к снижению интенсивности отказов устройств ЖАТ λ_2 , но и к уменьшению времени восстановления системы ЖАТ после отказа $\bar{T}_\text{в}$. Поэтому в суммарных затратах учитываются расходы $Z_\text{в}$, которые непосредственно влияют на уменьшение времени восстановления системы ЖАТ после отказа. При этом:

$$\mu_2 = \mu_2^0 \cdot c \cdot \left(\frac{Z_\text{в}}{Z_{0\text{в}}} \right), \quad (13)$$

где μ_2^0 – интенсивность восстановления системы ЖАТ после отказа до проведения мероприятий по повышению надёжности устройств ЖАТ; $Z_{0\text{в}}$ – затраты, связанные с восстанавливаемостью системы ЖАТ до проведения мероприятий по повышению надёжности устройств ЖАТ; c – коэффициент, определяемый эмпирическим путём, зависит от стратегии технического обслуживания.

Ущерб из-за отказов средств ЖАТ, а следовательно, и суммарные приведенные строительно-эксплуатационные затраты $Z(t)$ для рассматриваемой системы ЖАТ в общем случае пропорциональны времени нахождения в очереди заявок первого класса ΔT_1 , а также зависят от интенсивностей исходящего $\lambda_3(t)$ и входящего $\lambda_1(t)$ потоков передвижений [5]:

$$Z(t) = C_3 + k_{\text{пр}} \cdot \overline{C_y^{\text{пс}}} \cdot \Delta T_1, \quad (14)$$

где $k_{\text{пр}}$ – коэффициент приведения ущерба к годовому; $\overline{C_y^{\text{пс}}}$ – средняя стоимость простоя поезда, руб./с.

2 Задачи по управлению показателями надёжности систем железнодорожной автоматики и телемеханики

Окончательно ППН определяют путём решения одной из трёх основных задач по управлению показателями надёжности систем ЖАТ [3, 6]:

1. Задача минимизации приведённых строительно-эксплуатационных затрат на разработку и эксплуатацию систем ЖАТ C_3 при заданных значениях потребной пропускной способности $N_{\text{п}}$ и допустимой величине экономического ущерба на один отказ средств ЖАТ $C_y^{\text{доп}}$:

$$\begin{cases} N_{\text{н}}(K_{\text{г}}) \geq N_{\text{п}}; \\ \overline{C_y^{\text{факт}}}(K_{\text{г}}, N_{\text{н}}) \leq \overline{C_y^{\text{доп}}}; \\ \lambda_{\text{оп}}(t) \leq \lambda_{\text{оп}}^{\text{доп}}(t); \end{cases} \quad (15)$$

$$C_3 \rightarrow \min,$$

где $\overline{C_y^{\text{факт}}}$ – величина экономического ущерба на один отказ средств ЖАТ.

2. Задача минимизации приведённых строительно-эксплуатационных затрат на разработку и эксплуатацию системы ЖАТ C_3 при заданных значениях потребной пропускной способности $N_{\text{п}}$ и значения коэффициента готовности системы ЖАТ $K_{\text{г}}^{\text{доп}}$:

$$\begin{cases} N_{\text{н}}(K_{\text{г}}) \geq N_{\text{п}}; \\ K_{\text{г}}(3) \geq K_{\text{г}}^{\text{доп}}; \\ \lambda_{\text{оп}}(t) \leq \lambda_{\text{оп}}^{\text{доп}}(t); \end{cases} \quad (16)$$

$$C_3 \rightarrow \min.$$

3. Задача оптимизации суммарных приведённых строительно-эксплуатационных затрат при заданном значении потребной пропускной способности:

$$\begin{cases} N_{\text{н}}(K_{\text{г}}) \geq N_{\text{п}}; \\ \lambda_{\text{оп}}(t) \leq \lambda_{\text{оп}}^{\text{доп}}(t); \end{cases} \quad (17)$$

$$Z(N_{\text{н}}, K_{\text{г}}) \rightarrow \min.$$

Заключение

В настоящее время перед Центральной дирекцией инфраструктуры – филиалом ОАО «Российские железные дороги», как и другими подразделениями холдинга, поставлена задача разработки и внедрения комплексной методологии

анализа и оценки надежности технических систем железнодорожного транспорта на различных этапах их жизненного цикла, что позволит минимизировать стоимость жизненного цикла этих систем с учетом конкретных условий эксплуатации [2].

Решение поставленной задачи основывается на следующих принципах:

– следует применять экономически обоснованные по показателям надежности системы и устройства, т. е. избегать использования дорогостоящих устройств с завышенными параметрами надежности, если по экономическим критериям можно применять более дешевые, но менее надёжные технические системы;

– необходимо обеспечивать эффективную организацию технического обслуживания, ремонта и замены устройств, с учетом оптимизации эксплуатационного штата и периода полезной работы устройств по экономическому критерию.

Применение методологии RAMS в хозяйстве автоматики и телемеханики ОАО «РЖД» основано на расчете и анализе допустимого, проектного и фактического значений коэффициента готовности устройства или технической системы. На основе анализа экономической эффективности эксплуатации различных технических систем определяется допустимое значение коэффициента готовности $K_r^{\text{доп}}$ устройства или технической системы, причем при расчете этого показателя учитываются экономические затраты, которые с заданной вероятностью готова понести компания вследствие возможного ущерба, связанного с отказами данных устройств или технических систем. С учетом конкретных условий эксплуатации, путем попарного сравнения трех значений коэффициента готовности принимаются решения, позволяющие минимизировать стоимость жизненного цикла систем и объектов транспортной инфраструктуры на основе сформулированных в данной работе задач по управлению показателями надежности систем железнодорожной автоматики и телемеханики.

Модели и методы анализа надёжности технических систем, реализованные при внедрении методологии RAMS в хозяйства инфраструктуры железнодорожного транспорта, позволят в конечном счете сократить эксплуатационные расходы, повысить эффективность инвестиций, направленных на модернизацию и обновление технических систем, снизить стоимость жизненного цикла объектов транспортной инфраструктуры [4, 5].

Библиографический список

1. Гапанович В. А. Методология анализа работы структурных подразделений / В. А. Гапанович, Б. Ф. Безродный, А. В. Горелик, Д. В. Шалягин // Автоматика, связь, информатика. – 2013. – № 1. – С. 2–5.
2. Концепция внедрения методологии обеспечения безотказности, готовности, ремонтопригодности и безопасности в ОАО «РЖД». – М. : ОАО «РЖД», 2010. – 134 с.

3. Невазов П. А. Методы анализа эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.08. : защищена 10.11.10 : утв. 11.03.11 / Невазов Павел Анатольевич. – М., 2010. – 204 с.
4. Горелик А. В. Управление надежностью функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики по экономическому критерию / А. В. Горелик, И. А. Журавлев, П. А. Невазов // Экономика железных дорог. – 2011. – № 3. – С. 60–69.
5. Горелик А. В. Методы анализа надежности и эффективности функционирования систем железнодорожной автоматики и телемеханики / А. В. Горелик, И. А. Журавлев, П. А. Невазов, Н. А. Тарадин // Наука и техника транспорта. – 2011. – № 3. – С. 88–93.
6. Сапожников Вал. В. Надежность систем железнодорожной автоматики, телемеханики и связи / Вал. В. Сапожников, Вл. В. Сапожников, В. И. Шаманов. – М. : Маршрут, 2003. – 263 с.

*Gorelik Alexander V.,
Nevarov Pavel A.*

Moscow State University of Railway Engineering
«Railway Automation, Remote Control and Communication» department

Analysis of reliability performances of railway automation and remote control systems, considering economical criteria

The article describes a method of estimating the quality of operation of automation and remote control equipment of JSC “Russian Railways”, considering the sudden failure, as well as the consequences of failure of signaling, interlocking and blocking devices from the point of view of economic efficiency and of providing a given level of traffic and carrying capacities. Particular attention is paid to the calculation of planned reliability, which is based on standardization of the number of failures allowed under taking into account the specific conditions for a given section, station, distance, or as a whole. The article states three main objectives of reliability performance management of railway automation and remote control systems, on the basis of which it is possible to examine the efficiency of the system by determining the degree of conformity of the actual result of the process to the required one, and to make a conclusion about the efficiency of the regulation process of train traffic on a given section of the railway.

reliability; quality; failure; railway automation and remote control; efficiency of operation; train traffic management; RAMS; construction and operating costs; economic damage

References

1. Gapanovich V.A. Analysis methodology of subdivision operation / V.A. Gapanovich, B.F. Bezrodny, A. V. Gorelik, D.V. Shalyagin // Automation, communication, information science (Avtomatika, svyaz', informatika). – 2013. – Issue 1. – Pp. 2–5.

2. Concept of implementation of methodology for reliability, availability, maintainability and safety engineering in JSC «RZD». – М. : JSC «RZD», 2010. – 134 p.
3. Nevarov P.A. Analysis methods for operation efficiency of railway automation and remote control devices operation : thesis. ...PhD (Tech.) : 05.22.08 : defended 10.11.10 : approved 11.03.11 / P.A. Nevarov. – М., 2010. – 204 p.
4. Gorelik A. V. Reliability management of railway automation and remote control systems operation by economical criterion / A. V. Gorelik, I.A. Zhuravlev, P.A. Nevarov // Railway economics (Ekonomika zheleznykh dorog). – 2011. – Issue 3. – Pp. 60–69.
5. Gorelik A. V. Methods for reliability and operational efficiency analysis of railway automation and remote control systems / A. V. Gorelik, I.A. Zhuravlev, P.A. Nevarov, N.A. Taradin // Transport science and engineering (Nauka i tekhnika transporta). – 2011. – Issue 3. – Pp. 88–93.
6. Sapozhnikov Val. V. Reliability of railway automation, remote control and communication systems / Val. V. Sapozhnikov, Vl. V. Sapozhnikov, V.I. Shamanov. – М. : Route (Marshrut), 2003. – 263 p.

*Статья представлена к публикации членом редколлегии В. И. Шамановым
Поступила в редакцию 24.02.2015*

ГОРЕЛИК Александр Владимирович – профессор, доктор технических наук, заведующий кафедрой «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Московского государственного университета путей сообщения.
e-mail: agorelik@yandex.ru

НЕВАРОВ Павел Анатольевич – доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Железнодорожная автоматика, телемеханика и связь» Московского государственного университета путей сообщения.
e-mail: nevarov_p@rambler.ru

© Горелик А. В., Неваров П. А., 2015