

Модель управления рисками отказов локомотивов



Игорь ЛАКИН
Igor K. LAKIN

Алексей АБОЛМАСОВ
Alexey A. ABOLMASOV



Виктор МЕЛЬНИКОВ
Victor A. MELNIKOV

Лакин Игорь Капитонович — доктор технических наук, профессор, Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), начальник департамента ООО «ТМХ-Сервис», Москва, Россия.
Аболмасов Алексей Александрович — аспирант МИИТ.
Мельников Виктор Александрович — аспирант МИИТ.

В статье предложена методика реализации подходов риск-менеджмента для решения задач, направленных на повышение надёжности локомотивов. Основу действий определяет методология пирамид Гейнриха с использованием корреляционного анализа и теории вероятности. В числе моделируемых механизмов контуры управления надёжностью и уровнем сервиса. Описан сопутствующий строящейся модели математический аппарат.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, локомотивы, риск отказов, надёжность, методология пирамид, корреляционный анализ, управление рисками, трехконтурная модель.

В современной управленческой практике широкое распространение получили методы риск-менеджмента, которые предусмотрены действующими ГОСТами. Риск-менеджмент описан в корпоративных стандартах ОАО «РЖД»: СТО 1.02.033-2010, СТО 02.038-2011, СТО 02.039-2011, СТО 02.040-2011 и других нормативных документах. Определения сопутствующих теме понятий приведены в ГОСТ Р 51898-2002, ГОСТ Р МЭК 61508-4-2007, ГОСТ Р 51901-2002, ГОСТ Р 51897-2002. Из них следует:

- Риск: сочетание вероятности нанесения и тяжести ущерба.
- Оценивание риска: основанная на результатах анализа процедура проверки, устанавливающая, не превышен ли допустимый уровень ущерба.
- Оценка риска: совокупный процесс анализа и оценивания существующих угроз.
- Оценка величины риска: процесс присвоения значений вероятности и последствий отказов.

1.

В ОАО «РЖД» (включая в информационно-управляющую систему КАС АНТ)

под отказом понимается нарушение перевозочного процесса [1]. Поэтому отказ (неисправность) локомотива является риском **R** появления отказа перевозочного процесса. Риск **R** как вероятность может принимать значения от 0 (риска нет) до 1 (опасное событие произойдет). Для повышения наглядности и интуитивной понятности числовых данных в предлагаемой методике расчёта предлагается визуализацию **R** производить в целочисленном диапазоне (таблица 1), но при расчёте использовать диапазон от 0 до 1. Далее эта особенность отдельно не оговаривается.

Риск **R** является совокупностью рисков **R_i** при возникновении различных неисправностей локомотива, которые могут привести к отказам различной тяжести, и это предлагается учесть, используя весовой коэффициент последствий отказа локомотива **m_i**:

$$R = 1 - \prod (1 - m_i \times R_i). \quad (1)$$

Примечание: опасные события **i** должны быть независимыми. Например, проезд запрещающего светофора и столкновение не исключает синхронности. Число возможных опасных событий **i** можно определить эмпирически на основе статистики отказов локомотивов или аналитически с использованием методики ГОСТ Р ИСО 31000–2010.

Весовой коэффициент **m_i** определяется по данным статистики отказов перевозочного процесса и чрезвычайных происшествий или путем экспертной оценки (например, методом Дельфи) как доля от худшего возможного исхода, которым принято считать крушение пассажирского поезда (таблица 2).

Для дальнейшей детализации методики целесообразно применить механизм пирамид Гейнриха.

2. ПИРАМИДЫ ГЕЙНРИХА В РИСК-МЕНЕДЖМЕНТЕ

При контроле производственного травматизма классической стала методология американского учёного Г. Гейнриха (Herbert William Heinrich) [2]. Проанализировав 550 тыс. несчастных случаев, он вывел закономерность («Пирамида Гейнриха»), согласно которой на одну тяжелую травму приходится 29–30 ранений и повреждений с менее серьезными последствиями и 300–330

Таблица 1

Нечеткие множества уровней риска

Значение <i>R</i>	Уровень риска
0–4	Маловероятно
5–19	Неопасно
20–39	Возможно
40–59	Достаточно опасно
60–79	Опасно
80–94	Очень опасно
95–100	Неизбежно

Таблица 2

Нечеткие множества уровня ущерба **m_i**

Значение <i>m_i</i>	Уровень ущерба
0–4	Несущественный: отказ третьей категории, повлекший дополнительные расходы, но не нарушивший перевозочный процесс
5–19	Малый: отказ второй категории, несущественно повлиявший на перевозочный процесс
20–39	Ощутимый: отказ первой категории, ощутимо повлиявший на перевозочный процесс одного или нескольких поездов
40–59	Существенный: отказ первой категории, приведший к остановке движения на полигоне и/или дорогостоящему ремонту
60–80	ЧП: согласно приказу Минтранса № 163
80–94	Авария: согласно приказу Минтранса № 163
95–100	Крушение: согласно приказу Минтранса № 163

«несущественных» инцидентов. Было предложено анализировать не одиночные факты травматизма, а работать с репрезентативной статистикой «основания пирамиды» (метод изложен в 1931 году в книге «Industrial Accident Prevention: A Scientific Approach»).

Соотношение 1:30:300 не является неизменным. Например, один из лидеров в области промышленной безопасности фирма Дюпон (DuPont) использует другие пропорции и число уровней пирамиды. Методика Дюпон позволяет утверждать (рис. 1), что 10 тыс. случаев, когда человек наступил на головку рельса, приведут к 1 тыс. случаев падения, 100 случаям травм с 50 случаями временной и одним – постоянной нетрудоспособности.

Пирамида Гейнриха нашла применение в ОАО «РЖД» при управлении безопасно-





Рис. 1. Пирамида Гейнриха фирмы Дюпон для управления безопасностью жизнедеятельности.



Рис. 2. Пирамида Гейнриха для управления надёжностью локомотивов.

стью движения поездов [3]. Нами предлагается использовать ее и при управлении рисками.

Пирамиды Гейнриха во многом аналогичны методологии «Пять почему?» («Five Whys», 5W), предложенной Сакичи Тоёда (Sakichi Toyoda) — одним из создателей «Toyota Production System» (TPS), известной больше как «Lean Production»: при расследовании события надо столько раз ответить на вопрос «Почему?», сколько требуется для выяснения корневой причины происшествия.

Число вопросов метода 5W соответствует числу уровней пирамиды Гейнриха. При этом главных отличий два: метод не предполагает числовой взаимосвязи уровней, но зато в его распоряжении есть древовидная (иерархическая) форма представления причинно-следственных связей — «Диаграмма Исикава» («Скелет рыбы», «Fish bone»). Диаграмма Исикавы в ответ на вопрос «Почему произошел отказ локомотива?» имела бы следующие «толстые кости»:

- недостатки конструкции локомотива, его узлов и оборудования;
- некачественное производство или капитальный ремонт;
- некачественное техническое обслуживание и ремонт в условиях депо;
- нарушение режимов эксплуатации;
- повышенный износ оборудования и узлов.

На второй «Почему?» будут ответы:

- человеческий фактор;
- недостаточная технологическая оснащенность;
- несоблюдение установленных правил и нормативов;
- внешние воздействия, вызвавшие предыдущие причины;
- традиция так работать.

На третий «Почему?» для варианта «Человеческий фактор» возможны ответы:

- низкая квалификация;
- недостаточная мотивация;
- дефицит кадров;
- недисциплинированность;
- болезнь.

Иерархию вопросов-ответов можно было бы продолжить. Исследования показали, что первопричинами отказов R , являются такие факторы, как неправильный запуск или остановка дизеля, превышение допустимых значений токов, отсутствие или неполный объём реостатных испытаний, пониженная скорость на руководящем подъеме, боксование или юз и др. Влияют и параметрические факторы: некомплектованность штата, низкая квалификация, дефицит запасных частей и прочее. Устанавливая численную связь между факторами влияния и отказами, логично перейти к управлению надёжностью локомотивов по методике пирамид Гейнриха, что предполагает свой положительный эффект:

- управление инцидентами позволяет предотвращать отказы до их возникновения;
- статистика инцидентов обладает достаточно высокой достоверностью из-за своего большего числа;
- последствия инцидентов не так опасны.

Фактор в терминологии ГОСТ Р ИСО 31000 — это источник. Согласно требованиям стандарта FMEA (ГОСТ Р 51814.2-2001) «Анализ видов и последствий потенциальных отказов», влияние фактора оценивается через числовой параметр «Значимость влияния фактора на риск» (ЗРФ). Подобные факторы делятся на инциденты (опасные происшествия) и параметры технологического процесса.

Нечеткие множества доли влияния $K_{ик}$

Значение $K_{ик}$	Значимость
1–29	Незначительная (слабая): инцидент не приводит непосредственно к отказу локомотива
30–49	Умеренная
50–69	Значительная (заметная)
70–89	Высокая
90–100	Критическая (весьма высокая): фактор практически всегда приводит к отказу

Примечание: диапазон значений разбит на интервалы согласно шкале Чеддока (Chaddock's scale) [7]. В скобках приведены предлагаемые им категории значимости.

За управляемый уровень предлагается выбрать именно уровень инцидентов и влияющих факторов из следующих пяти (рис.2): нарушение безопасности движения поездов – отказ перевозочного процесса по вине локомотивов (с совокупным риском R) – отказ (неисправность i) локомотива (с риском R_i) – инциденты и влияющие факторы (с риском R_{ij}) – эксплуатация и техническое обслуживание локомотивов.

3. КОРРЕЛЯЦИОННЫЙ АНАЛИЗ

Выполненный комплексный анализ показателей работы отечественного железнодорожного транспорта за пять лет [4] показал: корреляционный анализ эффективен как элемент системы поддержки принятия решений (СППР), удобен для выявления недостоверных исходных статистических данных, а также случаев нарушения технологии на дорогах.

Совмещение достоинств методологий пирамид Гейнриха, 5W и диаграмм Исикавы можно осуществить именно с применением корреляционного анализа: соотношение 30:300, например, соответствует коэффициенту корреляции $r = 0,1$ (при рассмотрении зависимости как бинарной: 0 – события не было, 1 – было).

В числовых закономерностях коэффициент корреляции вычисляется стандартным способом. Например, между уровнем квалификации и числом отказов: если у слесаря 6-го разряда брака не будет, при наличии 5-го разряда – 10%, 4-го – 20%, 3-го – 30%, а 2-го – 50%, то $r = -0,46$, что гораздо выше предыдущего примера. Другой вариант: если каждые 5 тыс. км пробега приводят к дополнительному отказу, то $r > 0,98$ (в зависимости от способа учета информации).

Таким образом, методологию пирамид Гейнриха целесообразно совместить с корреляционным анализом. Кроме того, следует использовать иерархическую форму представления факторов влияния согласно диаграммам Исикавы и методике 5W.

4. РАСЧЁТ РИСКА

Согласно методике пирамид Гейнриха, наступление отказа локомотива i с риском R_i может быть обусловлено рядом опасных факторов. Например, пробой изоляции ТЭД – результат перегрева в эксплуатации, следствие нарушения технологии пропитки обмоток и др.:

$$R_i = 1 - \prod (1 - R_{ик}), \quad (2)$$

где $R_{ик}$ – риск наступления отказа i из-за фактора k .

Не каждый инцидент (проявление фактора k) приводит к наступлению отказа i . Поэтому – согласно FMEA и стандартам ОАО «РЖД» по управлению рисками – расчет индекса влияния производится по формуле:

$$R_{ик} = K_{ик} * Q_{ик}, \quad (3)$$

где $Q_{ик}$ – вероятность опасного события (проявления фактора); $K_{ик}$ – доля влияния фактора на риск опасного события (коэффициент влияния), $K_{ик} \in [0, 100]$ (таблица 3).

Приведенная формула является ключевой и определяет главный признак методики, отличающий ее от других методологических подходов, в том числе принципов стандарта FMEA [6].

По физической сути и метрикам доля влияния фактора k на риск наступления опасного события j соответствует коэффициенту корреляции между ними:

$$K_{ик} = 100 * r, \quad (4)$$



где r — вычисленный коэффициент корреляции по методике стандарта ОАО «РЖД» СТК 1.05.515.4 «Методы и инструменты улучшений. Корреляционный анализ. Диаграмма рассеяния». При этом предполагается, что корреляция между фактором влияния и опасным событием может быть только положительная.

При наличии статистических данных о числе опасных событий K_C и числе инцидентов K_Φ в виде пирамиды Гейнриха расчет доли влияния $K_{ик}$ осуществляется по формуле:

$$K_{ик} = 100 * K_\Phi / K_C. \quad (5)$$

В примере рис. 1: если фактором влияния считать падение с рельса, а опасным событием потерю трудоспособности, то $K_{ик} = 100 * 10 / 1000 = 1$ (слабое влияние). (6)

Другой пример: если сон машиниста в каждом втором случае приводит к проезду запрещающего светофора, то

$$K_{ик} = 100 * 1/2 = 50 \text{ (значительное влияние)}. \quad (7)$$

И последний пример: если излом шейки оси всегда приводит к сходу подвижного состава, то:

$$K_{ик} = 100 * 1/1 = 100 \text{ (критическое влияние)}. \quad (8)$$

При недостатке статистических данных долю влияния следует определять одним из методов экспертных оценок (в частности, методом Дельфи): экспертам предлагается назвать значение $K_{ик}$ с использованием логики пирамиды Гейнриха или отнести влияние фактора к одному из пяти диапазонов: незначительное (слабое), умеренное, значительное (заметное), высокое и критическое (весьма высокое). При этом выбирается середина каждого диапазона — соответственно 15, 40, 60, 80, 95.

Если фактор проявляется за рассматриваемый период N раз, то коэффициент влияния (долю воздействия фактора на риск опасного события) следует пересчитать по формуле:

$$K_{ик} = 1 - (1 - K_{ик})^N. \quad (9)$$

Например, если доля влияния фактора составляет 0,01, а ожидаемое число проявления фактора за рассматриваемый период 150, то:

$$K = 1 - (1 - 0,01)^{150} = 0,77. \quad (10)$$

Вероятность (риск) проявления фактора $Q_{ик}$ рассчитывается как вероятность наступления события, проявления фактора.

Категории и их количество берутся по аналогии с ранее использованными (см. таблицу 3).

Вероятность наступления события влияющего фактора рассчитывается как интеграл от интенсивности событий $f(t)$ за выбранный период ΔT от момента времени t_1 до t_2 ($\Delta T = t_2 - t_1$):

$$Q_{ик} = \int f(t) dt. \quad (11)$$

Функция интенсивности событий может меняться. Допустим, интенсивность наступления сна машиниста зависит от времени суток, отказы оборудования — от времени года и т. д. Расчет интенсивности событий следует проводить согласно ГОСТ 27.002-89 «Интенсивность отказов». Для ряда технических средств и подвижного состава принято в качестве параметра времени dt использовать пробег dl или выполненную работу dA (пробег, т. • км. брутто и др.). В этом случае надо привести выполненную работу к рассматриваемому в факторном анализе периоду времени.

При задании интенсивности проявления факторов в виде таблицы вместо интеграла можно воспользоваться сумматором:

$$Q_{ик} = \sum f(t_n) \Delta t_n. \quad (12)$$

Вероятность наступления события по рассматриваемому фактору определяется и упрощенным методом. Если интенсивность проявления факторов признана равномерной, то следует взять число случаев N за период ΔT . Тогда вероятность проявления фактора за промежуток времени Δt будет:

$$\lambda = N / \Delta T; \quad (13)$$

$$Q_{ик} = \int \lambda * \exp(-\lambda * t) dt. \quad (14)$$

У параметрических факторов в отличие от инцидентов целесообразно вычислять корреляционную зависимость опасных событий, отталкиваясь от числовых параметров. Например: укомплектованность кадрами (%), текучесть кадров (% в год), износ фондов и оборудования (%) и др. При этом необходимо контролировать возможную нелинейность зависимости. Скажем, степень влияния некомплектованности кадрами от 1 до 5% может отличаться от некомплектованности от 10 до 20%.

В отличие от инцидентов параметрические факторы не носят характер события, поэтому вероятность проявления параметра $Q_{ик} = 1$. Если закон распределения параметра не подчиняется нормальному закону

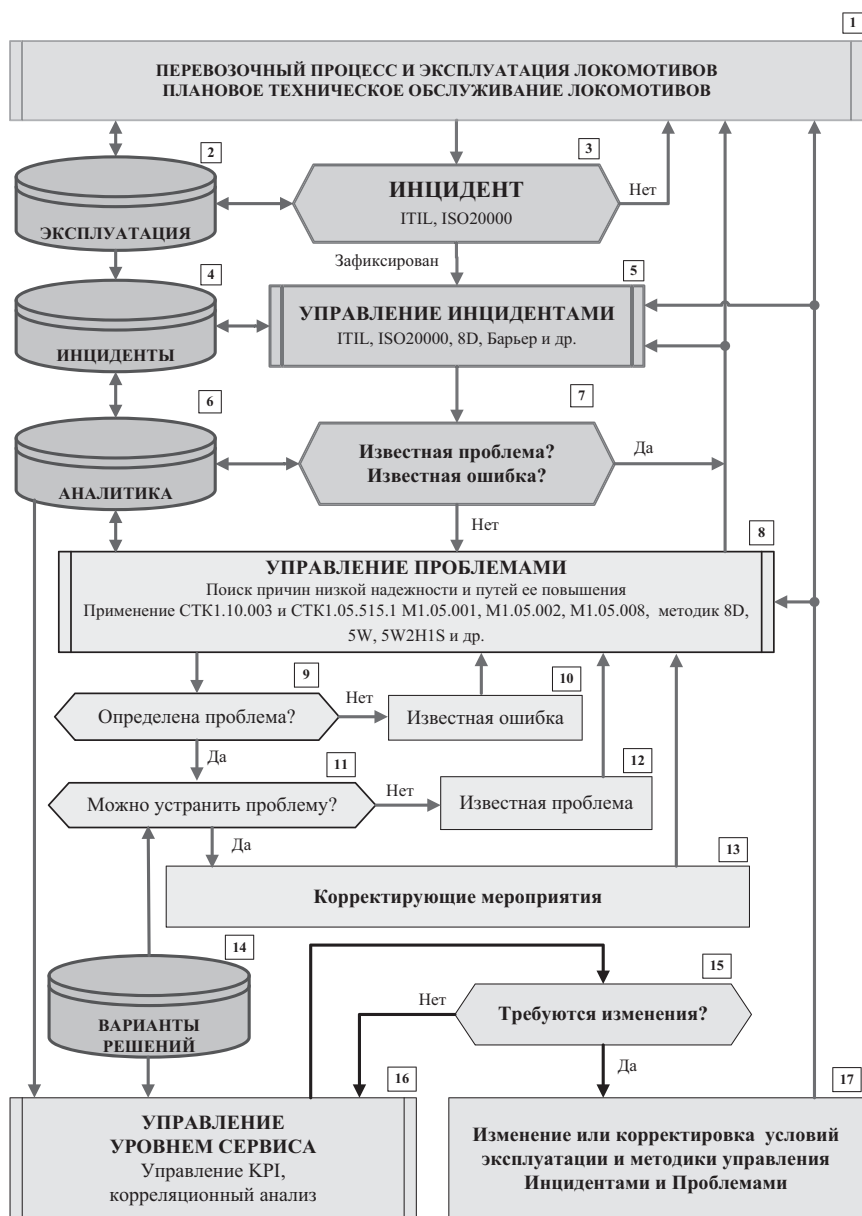


Рис. 3. Трёхконтурная модель управления надёжностью локомотивов.

распределения случайной величины (по критерию Пирсона χ^2), то надо учесть вероятность появления худшего варианта.

5. РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ

Авторами статьи ведётся внедрение трёхконтурной автоматизированной системы управления надёжностью локомотивов (АСУНТ) применительно к сервисной форме обслуживания (рис.3).

На основании внешней по отношению к системе базы данных АСУЖТ («Эксплуатация») [8] и формируемой в процессе работы базы данных «Инциденты» реали-

зуется первый, оперативный контур управления инцидентами. Одним из объективных источников информации об инцидентах являются бортовые микропроцессорные системы управления, а также стационарные и переносные автоматизированные системы технического диагностирования (АСТД). На этом уровне накапливается статистика для пирамид Гейнриха: совокупность инцидентов i , их интенсивность, влияние на отказ $K_{ик}$. Кроме того, определяется или уточняется влияние отказов локомотивов на перевозочный процесс m_i .





136

По результатам анализа статистики инцидентов осуществляется управление проблемами – это второй контур системы. Здесь делается расчёт рисков $R_{ик}$, R_i и R как элементов факторного анализа. Формируется база данных «Аналитика».

Третий контур – управление уровнем сервиса. Этот и предыдущий контуры используют базу «Аналитика» и базу данных возможных вариантов технических решений. Автоматизация процесса управления достигается за счет использования ресурсов АСУЖТ и разработки информационно-управляющей единой системы мониторинга технического состояния локомотивов (ЕСМТ). Риск-менеджмент осуществляется в интересах управления уровнем сервиса. И таким образом предлагаемая методика включается в систему по принципу встроенного качества («защита от ошибок», «пока-ёк»). ●

ЛИТЕРАТУРА

1. Эксплуатация и техническое обслуживание подвижного состава / Под ред. В. А. Гапановича, В. И. Киселева, И. К. Лакина. – М.: ИРИС ГРУПП, 2012. – 576 с.
2. Интернет энциклопедия Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Herbert_William_Heinrich
3. Тишанин А. Г., Лapidус В. А., Усольцев А. Н. Методика управления безопасностью на основе пирамиды Гейнриха // Методы менеджмента качества. – 2011. – № 11. – С. 4–9.
4. Лакин И. К. Анализ основных показателей работы железнодорожного транспорта / Транспорт РФ. – 2007. – № 1. – С. 60–63.
5. ITIL. ITSM. Официальный сайт IT Expert: <http://www.itexpert.ru/>
6. Метод Дельфи // Википедия. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%94%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B8
7. Митрохин Ю. В., Алферов В. Ю., Катцын Д. В., Лакин И. К. Применение принципа постоянного улучшения на железнодорожном транспорте – Красноярск, 2010. – 64 с.
8. Автоматизированная система управления локомотивным хозяйством. АСУТ / Под ред. И. К. Лакина – М.: ОЦВ, 2002. – 516 с. ●

RISK MANAGEMENT MODEL TO PREVENT LOCOMOTIVE MALFUNCTION

Lakin, Igor K. – D.Sc. (Tech), professor of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), head of the department of TMH-service ltd., Moscow, Russia.

Abolmasov, Alexey A. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), head of the department of TMH-service ltd., Moscow, Russia.

Melnikov, Victor A. – Ph.D. student of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), head of the department of TMH-service ltd., Moscow, Russia.

The article suggests methods of implementation of risk management for the tasks of increasing of locomotives' reliability. The proposed key approaches are based on the methodology of Heinrich's pyramid, correlation analysis and probability theory. This approach, followed by appropriate mathematical apparatus, leads

to three circuit model comprising reliability management through accident management, problem management and service quality management. The authors cite the example of continuing implementation of automatic reliability control system with regard to service and based on described model.

Key words: railways, locomotives, malfunction risk, reliability, Heinrich's pyramid method, correlation analysis, risk management, three circuit model.

REFERENCES

1. Gapanovich V.A., Kiselev V.I., Lakin I.K. (ed-s) et al. Operation and maintenance of rolling stock [Ekspluatatsiya i tehicheskoe obsluzhivanie podvzhnogo sostava]. Moscow, IRIS GRUPP publ., 2012, 576 p.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Herbert_William_Heinrich
3. Tishanin A.G., Lapidus V.A., Usol'tsev A.N. Methods of safety management on the basis of Heinrich's pyramid [Metodika upravleniya bezopasnost'yu na osnove piramidy Geynriha]. Metody menedzhmenta kachestva, 2011, № 11, pp. 4-9.
4. Lakin I.K. Analysis of main indicators of railway operations [Analiz osnovnykh pokazateley raboty zheleznodorozhnogo transporta]. Transport Rossiyskoi Federatsii, 2007, № 1, pp.60-63.
5. ITIL. ITSM. See: Web-site of IT-Expert company <http://www.itexpert.ru/>
6. Метод Дельфи // Википедия. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9C%D0%B5%D1%82%D0%BE%D0%B4_%D0%94%D0%B5%D0%BB%D1%8C%D1%84%D0%B8
7. Mitrohin Yu.V., Alferov V.Yu., Katsyn D.V., Lakin I.K. Application of the principle of permanent improvement for railways [Primenenie printsipa postoyannogo uluchsheniya na zheleznodorozhnom transporte]. Krasnoyarsk, 2010, 64 p.
8. Lakin I.K. (ed.) et al. Automatic management system of locomotive facilities (ASUT) [Avtomatizirovannaya sistema upravleniya lokomotivnym hozyaystvom. ASUT]. Moscow, OTSV, 2002, 516 p.

Координаты авторов (contact information): Лакин И. К. (Lakin I. K.) – Lakini@yandex.ru, Аболмасов А. А. (Abolmasov A. A.) – abolmasov46@yandex.ru, Мельников В. А. (Melnikov V. A.) – lordson@yandex.ru.
Статья поступила в редакцию / article received 28.05.2013
Принята к публикации / article accepted 16.06.2013