

Оценка эффективности применения антикоррозионного покрытия «Левикор» (Термишин) для деталей рельсовых креплений

И. В. СВЕТОЗАРОВА¹, А. И. БОРЦ¹, Н. И. ПИТЕЕВ¹, А. В. СУХОВ¹, М. В. ЭКСЛЕР²

¹ Акционерное общество «Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта» (АО «ВНИИЖТ»), Москва, 129626, Россия

² Общество с ограниченной ответственностью «ТЕРМИШИН РУС», Одинцовский район, Московская обл., 143081, Россия

Аннотация. Представлены результаты комплексных сравнительных испытаний элементов рельсовых креплений с антикоррозионным покрытием «Левикор» и без него, подверженных воздействию коррозионной среды. Целью испытаний являлась оценка эффективности применения термодиффузионного цинкового покрытия «Левикор» для защиты от коррозии и продления эксплуатационного ресурса деталей креплений верхнего строения пути. Показано повышение циклической долговечности клемм с покрытием «Левикор» в условиях воздействия коррозионной среды в 2,0 раза и статической прочности в 1,4 раза. Рекомендовано расширить номенклатуру деталей верхнего строения пути, защищаемых покрытием «Левикор», и полигон их укладки на сети железных дорог ОАО «РЖД» для участков с влажным климатом и повышенной атмосферной коррозией.

Ключевые слова: клеммы; болты; гайки; коррозионные испытания; антикоррозионное покрытие «Левикор»

Введение. Значимость инновационных технических и технологических мероприятий по снижению повреждаемости деталей коррозией сложно переоценить. Коррозия — это не только потеря массы металла, преждевременное изъятие деталей из эксплуатации, приведение в неработоспособное состояние узлов и соединений деталей и связанные с этим экономические затраты, но и безопасность. Так, основным видом повреждений в эксплуатации деталей железнодорожной техники является коррозионно-усталостный излом. Процессы коррозии наносят на поверхность деталей повреждения в виде коррозионных каверн, от которых под действием напряжений в эксплуатации развиваются усталостные трещины, что приводит к излому детали. Внимание к проблеме коррозии элементов верхнего строения пути уделялось и ранее [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8], однако до конца она остается не решенной.

На сети железных дорог ОАО «РЖД» ежегодные потери металла по причине коррозии деталей железнодорожного пути составляют около 10 % от общей металлоемкости деталей креплений пути, что составляет свыше 460 тыс. т.

В период 2013–2014 гг. специалистами ОАО «ВНИИЖТ» были проведены комплексные сравнительные исследования влияния термодиффузионного покрытия «Левикор» на физико-механические и эксплуатационные характеристики деталей рельсовых креплений (упругие клеммы, клеммные и закладные болты, гайки).

Исследования и испытания проводили как в условиях лаборатории, где детали рельсовых креплений подвергались воздействию коррозионной среды и различным видам нагружения, так и в условиях реальной эксплуатации на Северо-Кавказской железной дороге, включая участок пути в Лысогорском тоннеле, где повышенная коррозионная активность атмосферы вынуждает осуществлять замену деталей фактически каждые 2–3 месяца.

При этом детали, изъятые после года эксплуатации, повторно испытывали в лабораторных условиях.

Методы испытаний и анализ результатов. Для оценки степени коррозии с сопоставлением с протестированными в эксплуатации в пути Лысогорского тоннеля деталями провели коррозионную обработку элементов крепления (упругих клемм, гаек, клеммных и закладных болтов) в камере соляного тумана. Продолжительность экспозиции составила 1000 ч.

Из приведенной фотографии (рис. 1) видно, что детали без покрытия за 1000 ч экспозиции в камере соляного тумана полностью покрылись ржавчиной.

Балльная оценка площади коррозионного поражения таких деталей в соответствии с ГОСТ 9.311–87 составила один балл, что соответствует площади коррозионных поражений от 50 до 100 % поверхности.

За 1000 ч экспозиции на деталях с покрытием «Левикор» образовался небольшой налет окислов металла. Покрытие приобрело светлый оттенок. Балльная оценка площади коррозионных поражений составила 8–9 баллов, что соответствует площади коррозионных поражений от 0,2 до 1 % поверхности.

Механические испытания деталей после коррозионного воздействия показали, что твердость, микроструктура и величина обезуглероженного слоя деталей

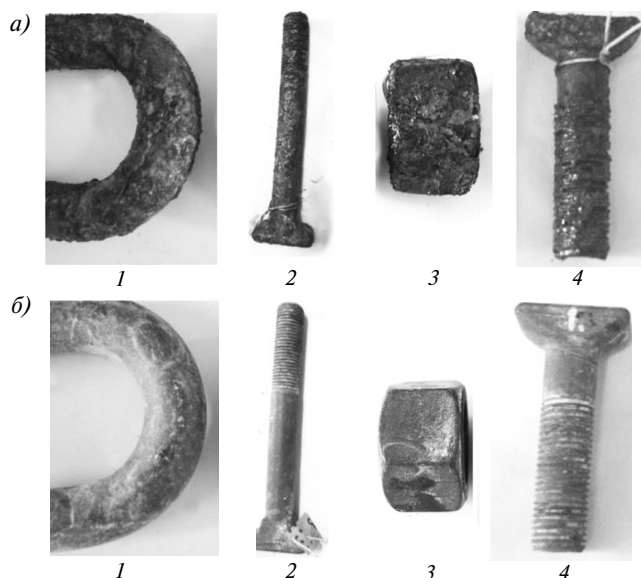


Рис. 1. Внешний вид элементов крепления после экспозиции 1000 ч в камере соляного тумана:

a — элементы крепления без антикоррозионного покрытия;
б — элементы крепления с термодиффузионным покрытием «Левикор»; 1 — клемма; 2 — болт; 3 — гайка; 4 — закладной болт

Fig. 1. Exterior view of fastening elements after exposure to 1000 hours in salt fog chamber:

a — fastening elements without anti-corrosion coating;
б — fastening elements with thermal diffusion coating "Levikor";
 1 — clamp; 2 — bolt; 3 — nut; 4 — embedded bolt

с покрытием «Левикор» и без покрытия идентичны и удовлетворяют предъявляемым требованиям.

Испытания на циклическую долговечность упругих клемм крепления с покрытием «Левикор» и без него проводили при воздействии коррозионной среды в виде раствора хлорида натрия путем его подачи на поверхность клемм в процессе проведения циклических испытаний (рис. 2). Испытания клемм проводили циклическим нагружением с постоянной амплитудой перемещения линейной части клеммы, опирающейся на подошву рельса, при значении амплитуды 2,0 мм вплоть до излома клемм при базовом количестве циклов нагружения 2 000 000 с частотой 1 Гц. Характеристики нагружения клемм представлены в табл. 1.

Для оценки влияния покрытия «Левикор» на циклическую долговечность клемм, подвергнутых коррозионному воздействию, были приняты в расчет наименьшее количество пройденных до излома циклов клемм с покрытием «Левикор», но наибольшее количество пройденных до излома циклов клемм без покрытия.

Циклическая долговечность по результатам проведенного испытания клемм с покрытием «Левикор» более чем в 14 раз выше, чем у клемм без покрытия.

Фрактографический анализ изломов клемм без покрытия и с покрытием «Левикор» показывает, что характер и строение излома клемм идентичны. Из-



Рис. 2. Испытание на циклическую долговечность с подачей коррозионной среды

Fig. 2. Tests for cyclic durability with supplying the corrosive environment

Таблица 1

Характеристики нагружения клемм при испытании на циклическую долговечность

Table 1

Clamp loading characteristics when tested on cyclic durability

Клеммы с покрытием «Левикор»		Клеммы без покрытия	
Номер клеммы	Количество пройденных циклов до излома	Номер клеммы	Количество пройденных циклов до излома
№ 1 и № 2	1 375 100	№ 4 и № 5	65 200
№ 4 и № 6	968 200	№ 6 и № 8	30 700

ломы произошли в одинаковых местах клемм в зоне действия наибольших напряжений при циклическом нагружении. Таким образом, применение антикоррозионного покрытия «Левикор» не меняет характер излома, а препятствует проникновению коррозионной среды в микротрещины, образующиеся на поверхности клемм при действии напряжений от циклической нагрузки, тем самым способствуя повышению коррозионно-усталостной долговечности клемм.

Сравнительные испытания закладных и клеммных болтов продольной разрушающей нагрузкой проводили на разрывной машине после выдержки болтов в камере соляного тумана в течение 1000 ч. Болт считался соответствующим данному классу прочности, если при его выдержке при нормативном значении нагрузки разрушение не происходило или происходил разрыв в цилиндрической или резьбовой части. После выдержки при нормативном значении нагрузки ее увеличивали до разрушения опытного образца. Болт считался не соответствующим данному классу прочности, если разрыв происходил в зоне перехода от головки к цилиндрической части при нагрузке, равной нормативной, или если разрыв происходил в любой его части при нагрузке меньше нормативной.

Внешний вид разорванных болтов с покрытием «Левикор» и без покрытия представлен на рис. 3. Разрыв закладных болтов без покрытия произошел при нагрузке 78 кН, а болтов с покрытием «Левикор» — при нагрузке 135 кН. Аналогичные значения прочности клеммных болтов для вариантов с покрытием и без него составили 85 и 113 кН соответственно.

Таким образом, применение антикоррозионного покрытия «Левикор» позволило повысить статическую прочность болтов на разрыв после воздействия коррозионной среды в 1,3–1,7 раза.

Испытания на циклическую долговечность болтов на трехточечный изгиб проводили по методу Локати [9] с начальной нагрузкой 10 кН с шагом 2 кН и коэффициентом асимметрии 0,2. На каждой ступени нагружения базовое количество циклов составляло 500 000. Испытания болтов с покрытием «Левикор» и без покрытия проводили в присутствии коррозионной среды (рис. 4). В табл. 2 представлены значения нагрузок болтов по методу Локати.



Рис. 3. Внешний вид клеммных и закладных болтов после испытания на разрыв: а — без покрытия; б — с антикоррозионным покрытием «Левикор»
Fig. 3. Exterior view of clamp and embedded bolts after the tensile test: а — uncoated; б — with anticorrosion coating "Levikor"

Из результатов проведенных испытаний на трехточечный изгиб следует (рис. 5), что циклическая долговечность в коррозионной среде болтов с покрытием «Левикор» в 13 раз выше, чем у болтов без покрытия.

Испытания на определение коэффициента закручивания гаек на закладных болтах проводили после воздействия коррозионной среды на элементах с покрытием «Левикор» и без него с использованием датчика силы и динамометрического ключа. По результатам испытаний провели анализ и сопоставление значений коэффициентов закручивания гаек и болтов. На рис. 6 представлено распределение кривых коэффициента закручивания закладных болтов, приведена эмпирическая зависимость усилия натяжения от момента кручения без коррозионной обработки опытных образцов. Проведение испытаний закладных болтов на определение коэффициента закручивания показано на рис. 7.

По результатам сравнительных испытаний получено:

- средний коэффициент закручивания деталей с покрытием «Левикор» составляет 0,31;
- средний коэффициент закручивания деталей без покрытия — 0,65;



Рис. 4. Испытание на трехточечный изгиб закладного болта с подведением коррозионной среды
Fig. 4. Three-point bending testing of embedded bolts with supplying the corrosive environment

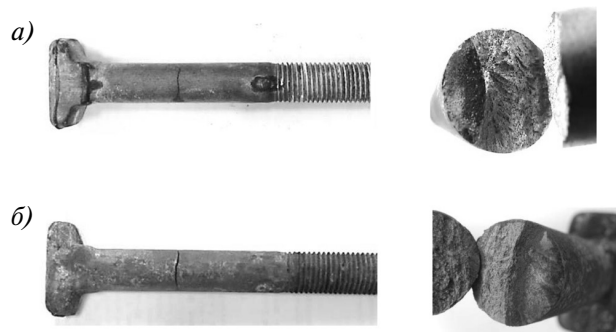


Рис. 5. Внешний вид и излом болтов после испытания на изгиб: а — элементы крепления с термодиффузионным покрытием «Левикор»; б — элементы крепления без антикоррозионного покрытия

Fig. 5. External view and bolts break after bending test:
а — fastening elements with thermal diffusion coating "Levikor";
б — elements of fastening without anti-corrosion coating

Таблица 2

Характеристика циклического нагружения болтов
на трехточечный изгиб по методу Локати

Table 2

Bolts cyclic loading characteristics
on the three-point bending by Locati method

Болт с покрытием «Левикор»		Болт без покрытия	
Количество циклов	Нагрузка, кН max/min	Количество циклов	Нагрузка, кН max/min
500 000	10/2,0	431 900	10/2,0
1 000 000	12/2,4	ИЗЛОМ	
1 500 000	14/2,8		
2 000 000	16/3,2		
2 500 000	18/3,6		
3 000 000	20/4,0		
3 500 000	22/4,4		
4 000 000	24/4,8		
4 500 000	26/5,2		
5 000 000	30/6,0		
5 500 000	34/6,8		
5 711 270	38/7,6		
ИЗЛОМ			

— средний коэффициент закручивания деталей без коррозионной обработки — 0,18. Нормативное значение коэффициента закручивания (ГОСТ 53664—2009, ГОСТ Р 52643—2006) составляет от 0,11 до 0,20.

Результаты проведенных исследований показывают, что при коррозии резьбового соединения происходит увеличение коэффициента закручивания. При нормативном усилии затяжки гаек 200 Н·м из-за воздействия коррозии снижается усилие натяжения болтов и, соответственно, нагрузка прижатия рельса к подкладке и шпале. Это происходит из-за того, что прикладываемый к гайкам закладных и клеммных болтов крутящий момент в значительной степени идет на преодоление сопротивления резьбового соединения, пораженного коррозией, а не на усиление натяжения болтов.

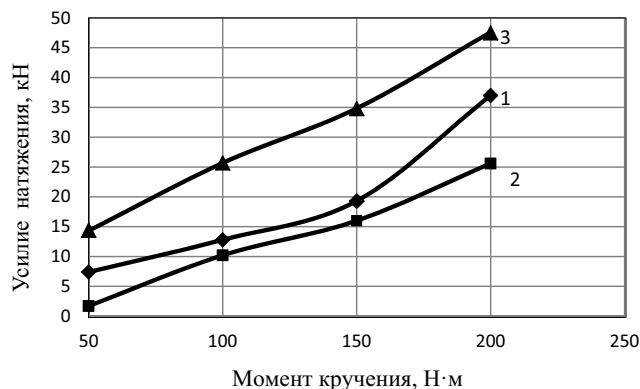


Рис. 6. Зависимости усилия натяжения от момента кручения:
1 — с покрытием «Левикор»; 2 — без покрытия;
3 — без коррозионной обработки

Fig. 6. Dependence of tensile force from the moment of torsion:
1 — with coating "Levikor"; 2 — without coating;
3 — without corrosion processing

Сравнительные испытания на определение коэффициента закручивания деталей после коррозионного воздействия показали, что у деталей с покрытием «Левикор» коэффициент закручивания в 2 раза меньше, чем у деталей без покрытия, а усилие натяжения болтов и, соответственно, усилие прижатия рельса в 1,5 раза выше. Статическая прочность клемм с покрытием «Левикор» в 1,5 раза выше, чем клемм без покрытия. Результаты проведенных механических и стендовых испытаний показали, что детали скреплений с покрытием «Левикор» обладают существенными преимуществами.

Для проведения сравнительных эксплуатационных испытаний элементов верхнего строения пути с антикоррозионным покрытием «Левикор» и без покрытия в условиях влажного климата с точки зрения протяженности таких участков и интенсивности коррозии элементов верхнего строения пути значительный интерес для оценки эффективности антикоррозионного покрытия представляет Северо-Кавказская железная дорога, а участок пути в Лысогорском тоннеле находится в условиях наиболее агрессивного действия атмосферной коррозии. Последнее обстоятельство



Рис. 7. Испытание на определение коэффициента закручивания:
а — болт с гайкой с термодиффузионным покрытием «Левикор»; б — болт с гайкой без антикоррозионного покрытия
Fig. 7. Test to determine the friction coefficient:
а — bolt with a nut with thermal diffusion coating "Levikor"; б — bolt with a nut without anti-corrosion coating

стало решающим фактором при выборе полигона для проведения сравнительных испытаний деталей верхнего строения пути с антикоррозионным покрытием «Левикор» и без него.

Элементы скрепления с покрытием и без покрытия были уложены на Северо-Кавказской железной дороге на перегоне Долина очарований — Фанагорийская и на перегоне Чинары — Чилипси (Лысогорский тоннель). После пропуска тоннажа по испытываемым деталям в объеме 30 млн т брутто (13 месяцев), образцы деталей были изъяты из эксплуатации для проведения дальнейших стендовых исследований (рис. 8).

После пропуска 30 млн т брутто в течение 13 месяцев в условиях Лысогорского тоннеля Северо-Кавказской железной дороги узел скрепления становился фактически неремонтопригодным, так как не могут быть в полном объеме и без разрушения деталей скреплений выполнены работы планово-предупредительного и среднего ремонта пути. В случае применения покрытия «Левикор» демонтаж резьбовых соединений осуществлялся без повреждения резьбы и их поломки.

Испытаниями показано, что в естественных эксплуатационных условиях (после воздействия коррозионной среды) коэффициент закручивания у деталей с покрытием «Левикор» в 2,5 раза меньше, чем у деталей без покрытия, а усилие натяжения болтов и, соответственно, усилие прижатия рельса в 2,5 раза выше.

Циклическая долговечность в коррозионной среде клемм с покрытием «Левикор», изъятых из пути Лысогорского тоннеля, в 2,0 раза выше, чем у клемм без покрытия.

После более года эксплуатации в условиях повышенной коррозионной активности атмосферы функциональные характеристики узлов скреплений без покрытия элементов «Левикор» ухудшились в 2,5 раза (усилие прижатия рельса). Характеристики узлов скреплений аналогичной конструкции с покрытием «Левикор» остались без изменений.

Выводы. 1. Результаты сравнительных лабораторных и эксплуатационных испытаний показали эффективность применения защитного термодиффузионного покрытия «Левикор» (Термишин) для деталей рельсовых скреплений. При этом наибольший эффект достигается при комплексном использовании покрытия, включающем обработку всех стальных деталей узла скрепления.

2. Защитное термодиффузионное покрытие «Левикор» (Термишин) увеличивает усталостную долговечность деталей рельсовых скреплений благодаря высокой степени защиты от коррозии и улучшению качества поверхности.

3. На основании положительных результатов испытаний и исследований было рекомендовано расширить номенклатуру деталей верхнего строения пути, защищаемых покрытием «Левикор», и полигон



Рис. 8. Элементы скрепления пути после пропуска 30 млн т брутто:
а — элементы скрепления без антикоррозионного покрытия;
б — элементы скрепления с термодиффузионным покрытием «Левикор»

Fig. 8. Elements of track fastening after passing 30 million gross tons:
а — fastening elements without anti-corrosion coating;
б — fastening elements with thermal diffusion coating "Levikor"

их укладки на сети железных дорог ОАО «РЖД» для участков с влажным климатом и повышенной атмосферной коррозией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иванов П. С., Малов Е. В., Кулемин В. Н. Усталостное разрушение рельсов бесстыкового пути // Путь и путевое хозяйство. 1998. № 2. С. 34–36; № 3. С. 27–28; № 4. С. 32–35; № 5. С. 29–31.
2. Конюхов А. Д. Предупредить изломы по дефекту 69 // Путь и путевое хозяйство. 1997. № 6. С. 9–11.
3. Конюхов А. Д., Рейхарт В. А. Коррозионная усталость рельсов // Вестник ВНИИЖТ. 1995. № 2. С. 5–10.
4. Конюхов А. Д. Коррозия и надежность железнодорожной техники. М.: Транспорт, 1995. 174 с.
5. Карпушенко Н. И., Быстров А. В., Труханов П. С. Обеспечение надежности рельсов, имеющих коррозионно-усталостные повреждения // Известия Транссиба. 2015. № 3. С. 104–108.
6. Шур Е. А. Повреждение рельсов. М.: Интекст, 2012. 192 с.
7. Карпушенко Н. И. Обеспечение надежности железнодорожного пути и безопасности движения поездов. Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2008. 321 с.
8. Larrabee C. P., Coburn S. K. The Atmospheric Corrosion of Steels as Influenced by Changes in Chemical Composition: First International Congress on Metallic Corrosion. Butterworths. London. 1962. P. 276–285.
9. Ромашов Р. В. Обоснование выбора ускоренных методов определения предела выносливости материалов // Сборник материалов XIX Петербургских чтений по проблемам прочности. СПб.: СПбГУ, 2010. Ч. I. С. 225–227.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

СВЕТОЗАРОВА Ирина Валерьевна,

канд. техн. наук, заместитель заведующего лабораторией «Материалы и технологии термической обработки деталей верхнего строения пути и подвижного состава», отделение «Транспортное материаловедение», АО «ВНИИЖТ»

БОРЦ Алексей Игоревич,

канд. техн. наук, заведующий лабораторией «Материалы и технологии термической обработки деталей верхнего строения пути и подвижного состава», отделение «Транспортное материаловедение», АО «ВНИИЖТ»

ПИТЕЕВ Николай Иванович,

канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории «Совершенствование конструкции ВСП», отделение «Путь и путевое хозяйство», АО «ВНИИЖТ»

СУХОВ Алексей Владимирович,

канд. техн. наук, заведующий отделением «Транспортное материаловедение», АО «ВНИИЖТ»

ЭКСЛЕР Мария Викторовна,

председатель совета директоров общества с ограниченной ответственностью «ТЕРМИШИН РУС»

Статья поступила в редакцию 27.07.2016 г., принята к публикации 30.09.2016 г.

Evaluating the effectiveness of anti-corrosion coating "Levikor" (Termishin) for parts of rail fasteners

I. V. SVETOZAROVA¹, A. I. BORTS¹, N. I. PITEEV¹, A. V. SUKHOV¹, M. V. EKSLEK²

¹Joint Stock Company «Railway Research Institute» (JSC «VNIIZhT»), Moscow, 129626, Russia

²Limited Liability Company «TERMISHIN RUS», Odintsovo district, Moscow region, 143081, Russia

Abstract. The main type of damage to the operating parts of railway equipment is corrosion-fatigue fracture. In the period 2013–2014 specialists of JSC «VNIIZhT» conduct an integrated comparative study of the effect of thermal diffusion coating "Levikor" on the physical-mechanical and operational characteristics of parts of rail fasteners (elastic clamps, clamp and embedded bolts, nuts). The aim of the test was to evaluate the effectiveness of the thermal diffusion zinc coating "Levikor" to protect against corrosion and extend the service life of parts of fasteners of the railway superstructure.

Studies include laboratory and bench tests, static and cyclic tests of elastic clamps of rail fastenings ZhBR-65, clamp and embedded bolts and nuts after exposure to a corrosive environment in salt fog chamber and in operating terms. During the 13 months tested parts of the superstructure with the "Levikor" coating as part of KB65 fasteners were in operation in the Lysogorsky tunnel of the North-Caucasian railway, operating time was 30 million gross tons. Presented in the article comparative test results allow making the following conclusions:

– KB65 fastening units with details with "Levikor" coating after being operated in Lysogorsky tunnel keep maintainability, whereas, in the absence of anti-corrosion coating fastening units are not repairable;

– an increase was recorded in cyclic durability of clamps with anticorrosion coating "Levikor" under conditions of corrosive environment by 2.0 times and static strength by 1.4 times;

– for areas with humid climate and increased atmospheric corrosion, expansion of the range of the upper parts of track superstructure, protected by coating "Levikor" is recommended as well as expansion of operational areas for its laying on the railway network of JSC "Russian Railways".

Keywords: clamps; bolts; nuts; corrosion tests; anti-corrosion coating "Levikor"

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-1-19-24>

REFERENCES

1. Ivanov P.S., Malov E.V., Kulemin V.N. *Ustalostnoe razrushenie rel'sov besstykovogo puti* [Fatigue damage of rails of continuous welded track]. Put' I putevoye khozyaystvo [Tracks and track facility], 1998, no. 2, pp. 34–36; no. 3, pp. 27–28; no. 4, pp. 32–35; no. 5, pp. 29–31.
2. Konyukhov A. D. *Predupredit' izlomy po defektu 69* [Prevent fractures by defect 69]. Put' I putevoye khozyaystvo [Tracks and track facility], 1997, no. 6, pp. 9–11.
3. Konyukhov A. D., Reykhart V. A. *Korrozionnaya ustalost' rel'sov* [Corrosion fatigue of rails]. Vestnik VNIIZhT [Vestnik of the Railway Research Institute], 1995, no. 2, pp. 5–10.

4. Konyukhov A. D. *Korroziya i nadezhnost' zheleznodorozhnoy tekhniki* [Corrosion and reliability of the railway equipment]. Moscow, Transport Publ., 1995, 174 p.

5. Karpushchenko N. I., Bystrov A. V., Trukhanov P. S. *Obespechenie nadezhnosti rel'sov, imeyushchikh korroziionno-ustalostnye povrezhdeniya* [Ensuring reliability of rails with corrosion-fatigue damage]. Izvestiya Transsiba [News of Transsib], 2015, no. 3, pp. 104–108.

6. Shur E. A. *Povrezhdeniya rel'sov* [Rails damaging]. Moscow, Intext Publ., 2012, 192 p.

7. Karpushchenko N. I. *Obespechenie nadezhnosti zheleznodorozhnogo puti i bezopasnosti dvizheniya poezdov* [Ensuring the reliability of railway track and traffic safety]. Novosibirsk, SGUPS Publ., 2008, 321 p.

8. Larrabee C. P., Coburn S. K. *The Atmospheric Corrosion of Steels as Influenced by Changes in Chemical Composition: First International Congress on Metallic Corrosion*. Butterworths. London, 1962, pp. 276–285.

9. Romashov R. V. *Obosnovanie vybora uskorenykh metodov opredeleniya predela vynoslivosti materialov* [Justification of the choice of accelerated methods of determining the limit of endurance of materials]. Sb. materialov XIX Peterburgskikh chteniy po problemam prochnosti. Ch. I. [Proc. of materials of XIX Petersburg readings on strength problems. Part I]. Saint-Petersburg, SPbGU Publ., 2010, pp. 225–227.

ABOUT THE AUTHORS

Irina V. SVETOZAROVA,

Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of Laboratory "Materials and heat treatment technology of the upper parts of the track superstructure and rolling stock", Department "Transport materials science", JSC "VNIIZhT"

Aleksey I. BORTS,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Laboratory "Materials and heat treatment technology of the upper parts of the track superstructure and rolling stock", Department "Transport materials science", JSC "VNIIZhT"

Nikolay I. PITEEV,

Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher of the Laboratory "Improving designs for HS lines", Department "Tracks and track facility", JSC "VNIIZhT"

Aleksey V. SUKHOV,

Cand. Sci. (Eng.), Head of Department "Transport materials science", JSC "VNIIZhT"

Mariya V. EKSLEK,

Chairman of the Board of the Limited Liability Company "TERMISHIN RUS"

Received 27.07.2016

Accepted 30.09.2016

■ E-mail: Svetozarova.Irina@vniizht.ru (I. V. Svetozarova)