

Алюминиевые литейные антифрикционные сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения

А. Е. МИРОНОВ¹, И. С. ГЕРШМАН¹, Е. И. ГЕРШМАН¹, С. М. ЗАХАРОВ¹, П. А. ПОДРАБИННИК²

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

² Московский государственный технологический университет «СТАНКИН» (ФГБОУ ВО МГТУ «СТАНКИН»), Москва, 127994, Россия

Аннотация. Рассмотрена возможность замены бронзы при изготовлении монометаллических литых подшипников скольжения многокомпонентными алюминиевыми антифрикционными сплавами. Благодаря легированию алюминия оловом, свинцом, медью, цинком, кремнием, магнием и титаном удалось создать сплавы с повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения. По данным лабораторных испытаний, основные результаты которых приведены в статье, доказано, что алюминиевые сплавы по комплексу механических и триботехнических свойств близки или превосходят исследованную бронзу БрО4Ц4С17.

Ключевые слова: алюминиевые сплавы; бронза; легирование; триботехнические свойства; подшипники скольжения

Введение. Алюминиевые антифрикционные сплавы широко используются в подшипниках скольжения различного назначения. Наиболее распространены биметаллические подшипники скольжения, применяемые в двигателях внутреннего сгорания, состоящие из антифрикционного алюминиевого сплава, соединенного с помощью разных технологий со стальной основой [1]. Однако во многих случаях, особенно для толстостенных вкладышей подшипников, целесообразно использовать монометаллические вкладыши подшипников, изготавливаемые литейным способом [1].

Цель работы состояла в получении антифрикционных сплавов, обладающих высоким комплексом триботехнических и механических свойств.

В настоящее время появилось значительное количество научных публикаций, посвященных применению принципов неравновесной термодинамики в практике триботехнического материаловедения [2–6]. Основываясь на этих принципах, в АО «ВНИИЖТ» были проведены работы по созданию гаммы сложнотермически обработанных алюминиевых антифрикционных сплавов, обладающих повышенной способностью к приспособляемости поверхностей трения и способных заменить литейные бронзы при изготовлении монометаллических подшипников скольжения [7].

Это дает возможность для конструкторов выбрать из гаммы предложенных сплавов те, которые лучше всего подходят к условиям работы данного узла трения.

Разработка новых сплавов. Разработка новых сплавов по критерию максимальной способности материала к приспособляемости поверхностей трения подразумевает получение материалов с высоким комплексом триботехнических и механических свойств. Именно такой результат был достигнут на новых алюминиевых литейных антифрикционных сплавах.

По комплексу своих механических и триботехнических свойств полученные сплавы во многом превосходят наиболее широко применяемую бронзу марки БрО4Ц4С17 (таблица), которая применялась для литых монометаллических подшипников скольжения на железнодорожном транспорте и была подробно исследована [1].

Из восьми предлагаемых новых сплавов пять превосходят бронзу по прочности на 7,5–25 %, а три имеют прочность на 2,7–8,8 % ниже значений литой бронзы БрО4Ц4С17.

По твердости только один сплав превосходит бронзу на 13,8 %, а остальные мягче бронзы на 3,2–30 %. По пластичности все новые сплавы уступают бронзе на 60–293 %. По показателю ударной вязкости сплавы, представленные в таблице, уступают бронзе от 14 до 90 %. В то же время для образцов с U-образным надрезом четыре новых сплава превосходят показатели бронзы от 12 % до 3-х раз. Подобные диапазоны позволяют конструкторам выбирать материал, соответствующий механическим нагрузкам, воспринимаемым реальными деталями.

Лабораторные исследования. Для определения свойств новых сплавов был проведен комплекс лабораторных исследований. Общие методики испытаний изложены в работах [2, 3, 7, 8], а также в тексте статьи.

Сравнение сплавов проводилось по шести показателям, определенным в ходе лабораторных исследований: задиростойкость, прирабатываемость, износ сплавов, износ стального контртела, коэффициент

трения и температура поверхности стали при сравнительных испытаниях в одинаковых условиях для всех литых алюминиевых сплавов и бронзы БрО4Ц4С17.

Наиболее существенные повреждения антифрикционные материалы получают в ситуациях, приводящих к задиру [9]. Поэтому сплавы, способные воспринимать более высокую нагрузку без возникновения задира и схватывания, являются более предпочтительными для изготовления подшипников. В качестве критерия задиростойкости была принята нагрузка, при которой происходит резкий скачок момента трения, сопровождающийся ростом температуры в зоне трения. Во время испытаний частота вращения стального образца составляет 500 об/мин (линейная скорость 1,05 м/с). Количество подаваемой смазки остается постоянной, а нагрузка на образец, начиная с величины 304 Н, повышается ступенчато через каждые 10 мин. Испытания проводились при комнатной температуре. Полученные результаты показали, что все экспериментальные сплавы превосходят по этому показателю бронзу БрО4Ц4С17 от 1,5 до 2,6 раза [8].

Для алюминиевых сплавов важен такой показатель как прирабатываемость [1]. После капитального ремонта при обкатке дизелей отмечается в три раза больше случаев задира, чем в процессе эксплуатации у дизелей, успешно прошедших обкатку на стендах локомотиворемонтных заводов. При сравнительных испытаниях критерием прирабатываемости служила площадь фактического контакта, образовывавшаяся на образце из антифрикционного материала с диаметром расточки 45 мм, работавшего в паре со стальным роликом, имевшим диаметр 40 мм. Испытания проводились при постоянной скорости вращения стального

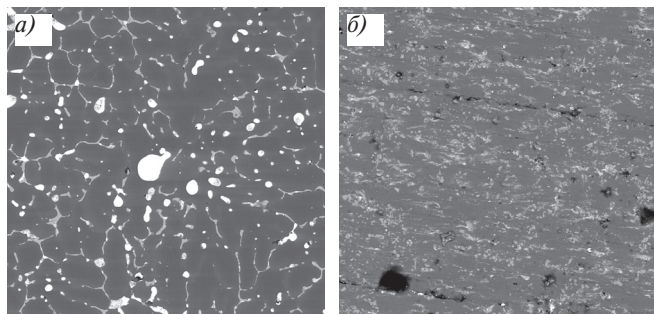
ролика. Нагрузка на образец повышалась ступенчато от 304 до 1058 Н с шагом 100–110 Н за каждые 10 мин. испытаний. Образовавшееся при испытаниях пятно контакта на образце из экспериментального сплава и его площадь характеризует способность материала приспосабливаться к ужесточению условий трения без повреждений. Измерения площади контакта производились после окончания каждого этапа испытаний.

Испытания показали, что все экспериментальные сплавы обладают лучшей прирабатываемостью, чем бронза БрО4Ц4С17. При этом преимущество наименее прирабатываемого экспериментального сплава АО-5,8 составило 1,2 %, а сплава АО-9,8 — 47,4 %. Следовательно, применение большинства экспериментальных сплавов не только способно обеспечить уменьшение числа задиров при обкатке, но и сократить время обкатки, что приведет к экономии горючесмазочных материалов.

Износ стали и антифрикционных материалов определялся путем взвешивания образцов до и после 40-часовых испытаний при постоянной нагрузке (617 Н), скорости вращения (1,05 м/с) и подаче смазки (0,2 г/мин). Взвешивание проводилось на электронных весах с точностью до 0,1 мг. Образцы после испытаний перед взвешиванием промывались. Как видно из таблицы, все экспериментальные алюминиевые сплавы имели меньший весовой износ по сравнению с бронзой. Но, учитывая разницу в удельных весах алюминия и меди, линейный износ трех указанных ниже экспериментальных сплавов превышает линейный износ бронзы: сплав АО-8,7 — на 122 %; сплав АО-9,6 — на 85 %; сплав АО-11 — на 11 %. Это показывает, что для сплавов с повышенным содержанием

Марки исследованных сплавов и их свойства
Grades of studied alloys and their properties

Марка сплава	Содержание элементов, % масс								Механические свойства				Триботехнические свойства						
	Sn	Pb	Cu	Zn	Mg	Si	Ti	Al	Вре- мен- ное сопро- тивле- ние σ_b , МПа	Твер- дость, НВ	От- носи- тель- ное удли- нение δ , %	Удар- ная вяз- кость KCU , кДж/ м ²	За- ди- ро- стой- кость, Н	При- раба- тыва- емость, мм ²	Износ мате- риала, мг	Износ стали, мг	Ко- эф- фи- циент тре- ния	t , °С	
АО-11	11,0	2,6	3,9	2,6	—	0,1	0,01	ост.	173	59	2,9	121	1650	49,8	1,2	0,6	0,020	33	
АО-9,8	9,8	2,5	4,5	2,4	1,2	0,6	0,03	ост.	163	74	0,3	21	2832	57,8	0,7	0,7	0,015	31	
АО-9,6	9,6	3,2	4,9	4,4	0,3	0,1	0,02	ост.	185	63	3,8	50	2107	42,8	2,0	2,1	0,019	37	
АО-8,7	8,7	3,2	3,4	2,9	0,4	0,5	0,03	ост.	168	60	5,5	83	2407	50,0	2,4	0,8	0,022	32	
АО-7,6	7,6	3,3	4,0	0,5	0,07	1,0	0,06	ост.	159	50	4,0	45	1823	46,8	0,5	0,8	0,026	42	
АО-6,4	6,4	3,0	4,1	1,9	1,4	0,9	0,01	ост.	139	55	2,3	35	2767	53,0	0,9	1,0	0,014	38	
АО-5,8	5,8	2,7	4,1	2,3	1,5	1,5	0,03	ост.	140	55	1,9	24	2330	39,7	0,4	0,6	0,018	40	
АО-5,4	5,4	2,6	3,5	2,3	1,7	0,8	0,03	ост.	144	53	2,9	32	2845	49,7	0,5	0,7	0,017	36	
Бронза БрО4Ц4С17	4,1	16,9	ост.	3,8	—	—	—	—	148	65	8,8	40	1081	39,2	2,7	4,0	0,016	38	



Структура поверхности сплава АО-6,4 до трения (а) и после 40 ч испытаний (б)
Surface structure of the AO-6.4 alloy before friction (a) and after 40 hours of testing (b)

олова происходит его расходование, что сказывается на показателях износа сплавов.

Линейный износ остальных пяти экспериментальных сплавов на 20–170 % меньше, чем у бронзы. Наиболее износостойкий сплав АО-5,8 имеет пониженное содержание олова. Это свидетельствует о том, что в низкооловянистых сплавах благодаря многокомпонентному легированию снижается влияние содержания олова на износостойкость, а повышенная приспособляемость способствует образованию нового типа вторичных структур по сравнению с пленкой олова, которая является их основой в сплавах типа АО40-1 или АО20-1.

На рисунке показана структура поверхности сплава АО-6,4 до трения (а) и после 40 ч испытаний (б). Благодаря способности к повышенной приспособляемости у экспериментальных сплавов начальная структура (рисунок, а) претерпевает существенные изменения, обусловленные появлением вторичных структур (рисунок, б). Изменяются размеры, составы и расположение всех структурных составляющих матрицы, мягких и твердых включений. Появляются новые фазы и металлополимерные пленки.

В процессе длительных испытаний все экспериментальные сплавы меньше, чем бронза, изнашивали стальное контртело. Даже худший по этому показателю сплав АО-9,6 оказался в 1,9 раза лучше бронзы, а лучшие сплавы АО-11 и АО-5,8 превосходят исследованную бронзу в 6,7 раза. Следовательно, замена монометаллических бронзовых подшипников скольжения на алюминиевые из экспериментальных сплавов позволит многократно увеличить ресурс работы стальных валов.

Несмотря на уменьшение износа стали, коэффициенты трения большинства экспериментальных сплавов оказались выше, чем при трении бронзы по стали. Исключениями являются только сплавы АО-9,8 и АО-6,4.

Считается, что пары трения с большим коэффициентом трения сильнее нагреваются. В наших экспериментах такая зависимость отсутствует. Так, для сплавов, работавших при температурах поверхности

стального ролика, измеренных пирометром в месте выхода из зоны трения, величиной от 320 до 380 °С, скорее имеет место снижение коэффициента трения с повышением температуры. Возможно, это связано именно с протеканием процессов самоорганизации, для которых необходимы соответствующие температурные условия, либо наоборот — процессы самоорганизации сопровождаются тепловыделением. Полученные результаты показывают, что стремление к снижению коэффициента трения или к уменьшению температуры в зоне трения не обязательно положительно скажутся на показателях износостойкости.

Объяснением различий в триботехнических свойствах экспериментальных сплавов является их многокомпонентное легирование, когда варьированием химического состава сплавов можно получать различные значения не только механических свойств, что широко известно и часто применяется, но и рабочих антифрикционных характеристик.

Существенным обстоятельством, определяющим эффективность применения алюминиевых многокомпонентных сплавов, является область их применения, которая определяет условия работы подшипников. Для подшипников двигателей внутреннего сгорания, в том числе тепловозных, — это наличие нарушения гидродинамической смазки на рабочих режимах, при которых происходит контактирование поверхностей трения [9] и могут реализоваться преимущества многокомпонентных сплавов. В других условиях работают подшипники скольжения турбокомпрессоров, у них режимы нарушения гидродинамической смазки происходят только при потере устойчивости движения. Требуется проверка функционирования предлагаемых многокомпонентных сплавов для различных условий применения, главным образом для подшипников коленчатого вала тепловозных дизелей и подшипников скольжения турбокомпрессоров. По одному из типов турбокомпрессоров (ТК 33Н-02) такая проверка была проведена. Целесообразно далее провести эксплуатационные испытания втулок подшипников из сплава АО6С3М4ЦТ для турбокомпрессоров ТК 34, ТК 30 и ТК 33.

Заключение. 1. Проведенные лабораторные испытания показали возможность изготовления монометаллических подшипников скольжения из экспериментальных литейных алюминиевых сплавов, которые по механическим свойствам не уступают наиболее прочной среди антифрикционных бронз — бронзе БрО4Ц4С17. По комплексу триботехнических свойств экспериментальные сплавы превосходят бронзу. Благодаря легкоплавкости, меньшей плотности, более низкой стоимости и лучшей обрабатываемости алюминиевые сплавы обладают почти 3–5-кратным преимуществом по экономическим показателям перед оловянистыми бронзами.

2. Область применения предложенных сплавов будет определена в процессе стендовых и эксплуатационных испытаний. К настоящему времени из сплава этой серии АО6СЗМ4ЦТ ООО «Спец Дизель Сервис» (г. Новосибирск) изготовлена опытная партия монометаллических подшипников турбокомпрессоров ТК 33Н-02, которые успешно прошли стендовые испытания. Втулки 3404.00.112, 3404.00.032 и подшипники 3409.00.20, изготовленные из экспериментального сплава, показали возможность замены штатной бронзы. Целесообразно провести эксплуатационные испытания втулок подшипников из сплава АО6СЗМ4ЦТ для турбокомпрессоров ТК 34, ТК 30 и ТК 33, а также вкладышей подшипников тепловозных дизелей.

Работа выполнена при поддержке грантов Российского научного фонда № 14-19-01033п (свойства алюминиевых сплавов), 15-19-00217 (свойства бронзы и влияние меди).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Подшипники из алюминиевых сплавов / Н. А. Буше [и др.]. М.: Транспорт, 1974. 256 с.
2. Маркова Т. Ф. Антифрикционные материалы системы Al—Pb—Sn для подшипников скольжения транспортных дизелей: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.01. М., 1986. 219 с.
3. Гершман И. С., Гершман Е. И., Мионов А. Е. Исследование неравновесной термодинамики и теории самоорганизации для описания трибосистем и разработки износостойких материалов // Вестник Брянского гос. техн. ун-та. 2016. № 4. С. 32–38.
4. Self-Organization during Friction in Complex Surface Engineered Tribosystems / G. S. Fox-Rabinovich, I. S. Gershman, K. Yamamoto, A. Biksa, St. C. Veldhuis, B. D. Beake, A. I. Kovalev // Entropy. 2010. № 12. P. 275–288. DOI:10.3390/e12020275.

5. Banjac M., Venci A., Otovic S. Friction and Wear Processes — Thermodynamic Approach // Tribology in Industry. 2014. Vol. 36. № 4. P. 341–347.
6. Abdel-Aal H. A. Thermodynamic modeling of wear // Encyclopedia of Tribology / Q. J. Wang, Y.-W. Chung (Eds.). New York: Springer, 2013. P. 3622–3636.
7. Nosonovsky M., Mortazavi V. Friction-Induced Vibrations and Self-Organization: Mechanics and Non-Equilibrium Thermodynamics of Sliding Contact. Boca Raton (United States): CRC Press, 2013. 333 p.
8. Свойства новых литейных алюминиевых сплавов / А. Е. Мионов [и др.] // Вестник машиностроения. 2016. № 10. С. 64–66.
9. Захаров С. М., Никитин А. П., Загорянский Ю. А. Подшипники коленчатых валов тепловозных дизелей. М.: Транспорт, 1981. 181 с.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

МИРОНОВ Александр Евгеньевич,
канд. техн. наук, ведущий специалист по инновационным проектам, отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов, АО «ВНИИЖТ»

ГЕРШМАН Иосиф Сергеевич,
д-р техн. наук, главный специалист,
отдел научно-исследовательских программ, грантов и проектов, АО «ВНИИЖТ»

ГЕРШМАН Евгений Иосифович,
начальник отдела научно-исследовательских программ, грантов и проектов АО «ВНИИЖТ»

ЗАХАРОВ Сергей Михайлович,
д-р техн. наук, научный консультант, АО «ВНИИЖТ»

ПОДРАБИННИК Павел Анатольевич,
инженер, ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Статья поступила в редакцию 08.06.2017 г., актуализирована 10.09.2017 г., принята к публикации 19.09.2017 г.

Aluminum casting antifriction alloys with increased capacity to adaptability of friction surfaces

A. E. MIRONOV¹, I. S. GERSHMAN¹, E. I. GERSHMAN¹, S. M. ZAKHAROV¹, P. A. PODRABINNIK²

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

² Moscow State Technological University "STANKIN" (FGBOU VO MSTU "STANKIN"), Moscow, 127994, Russia

Abstract. The possibility of changing bronze in the manufacture of monometallic cast plain bearings with multicomponent aluminum antifriction alloys is considered. Due to alloying of aluminum with tin, lead, copper, zinc, silicon, magnesium and titanium, it was possible to create alloys with increased ability to adapt friction surfaces. According to laboratory tests, the main results of which are given in the article, it is proved that aluminum alloys on a complex of mechanical and tribotechnical properties are close or superior to the investigated bronze BrO4C4S17. Laboratory tests have shown the possibility of manufacturing monometallic plain bearings from experimental cast aluminum alloys, which by mechanical properties are not inferior to the most solid among antifriction bronzes — bronze BrO4C4S17. On a complex of tribotechnical properties, experimental alloys exceed bronze. Due to their high-fusibility, lower density, lower cost and better workability, aluminum alloys have an almost 3–5-fold advantage over economic indicators before tin bronzes. The scope of the proposed alloys will be determined in the course of bench and operational tests. To date,

an experimental batch of monometallic bearings of turbochargers TK 33N-02 has been manufactured from the alloy of the AO6S3M-4CT series of "Spets Dizel Servis" (Novosibirsk), which successfully passed the bench tests. Bushings 3404.00.112, 3404.00.032 and bearings 3409.00.20, made from an experimental alloy, showed the possibility of replacing the standard bronze BrO8S12 in these turbochargers. It is advisable to carry out operational tests of bearing sleeves from the alloy AO6S3M4CT for turbochargers TK 34, TK 30 and TK 33, as well as bearing inserts for diesel locomotives.

Keywords: aluminum alloys; bronze; alloying; tribotechnical properties; plain bearings

DOI: <http://dx.doi.org/10.21780/2223-9731-2017-76-6-336-340>

REFERENCES

1. Bushe N. A., Gulyaev A. S., Dvoskina V. A., Rakov K. M. *Podshipniki iz alyuminiyevykh splavov* [Bearings of aluminum alloys]. Moscow, Transport Publ., 1974, 256 p.

2. Markova T. F. *Antifriktsionnye materialy sistemy Al — Pb — Sn dlya podshipnikov skol'zheniya transportnykh dizeley*. Kand. tekhn. nauk diss. [Antifric friction materials of the Al — Pb — Sn system for bearings of sliding transport diesels. Cand. tech. sci. diss.]. Moscow, 1986, 219 p.

3. Gershman I. S., Gershman E. I., Mironov A. E. *Issledovanie neravnovesnoy termodinamiki i teorii samoorganizatsii dlya opisaniya tribosistem i razrabotki iznosostoykikh materialov* [Study of nonequilibrium thermodynamics and self-organization theory for the description of tribosystems and the development of wear-resistant materials]. Vestnik Bryanskogo gos. tekhn. universiteta [The Bryansk State University Herald], 2016, no. 4, pp. 32–38.

4. Fox-Rabinovich G. S., Gershman I. S., Yamamoto K., Biksa A., Veldhuis St. C., Beake B. D., Kovalev A. I. *Self-Organization during Friction in Complex Surface Engineered Tribosystems*. Entropy. 2010, no. 12, pp. 275–288. DOI:10.3390/e12020275.

5. Banjac M., Vendl A., Otovic S. *Friction and Wear Processes — Thermodynamic Approach*. Tribology in Industry, 2014, Vol. 36, no. 4, pp. 341–347.

6. Abdel-Aal H. A. *Thermodynamic modeling of wear*. Encyclopedia of Tribology. Q. J. Wang, Y.-W. Chung (Eds.). New York, Springer, 2013, pp. 3622–3636.

7. Nosonovsky M., Mortazavi V. *Friction-Induced Vibrations and Self-Organization: Mechanics and Non-Equilibrium Thermodynamics of Sliding Contact*. Boca Raton (United States), CRC Press, 2013, 333 p.

8. Mironov A. E., Gershman I. S., Kotova E. G., Ovechkin A. V., Gershman E. I., Zheleznov M. M. *Svoystva novykh liteynykh alyuminievykh splavov* [Properties of new cast aluminum alloys]. Vestnik mashinostroeniya, 2016, no. 10, pp. 64–66.

9. Zakharov S. M., Nikitin A. P., Zagoryanskiy Yu. A. *Podshipniki kolenchatykh valov teplovozykh dizeley* [Crankshaft bearings of diesel locomotives]. Moscow, Transport Publ., 1981, 181 p.

ABOUT THE AUTHORS

Aleksander E. MIRONOV,

Cand. Sci. (Eng.), Leading Specialist in innovation projects, Department of research programs, grants and projects, JSC “VNIIZhT”

Iosif S. GERSHMAN,

Dr. Sci. (Eng.), Chief Researcher, Department of research programs, grants and projects, JSC “VNIIZhT”

Evgeniy I. GERSHMAN,

Head of the Department of research programs, grants and projects of JSC “VNIIZhT”

Sergey M. ZAKHAROV,

Dr. Sci. (Eng.), Scientific Consultant, JSC “VNIIZhT”

Pavel A. PODRABINNIK,

Engineer, FGBOU VO MSTU “STANKIN”

Received 08.06.2017

Revised 10.09.2017

Accepted 19.09.2017

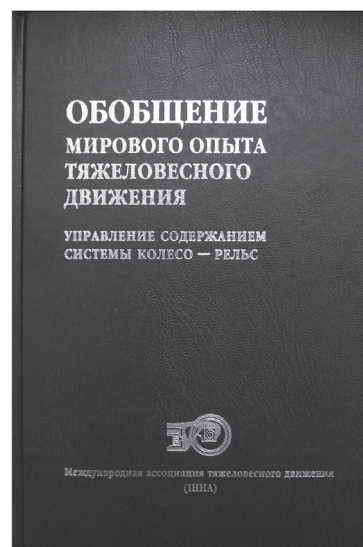
■ E-mail: zakharov.sergey@vniizht.ru (S. M. Zakharov)

ВЫШЛИ В СВЕТ ТРУДЫ ВНИИЖТ

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Управление содержанием системы колесо — рельс: пер. с англ. / под ред. С. М. Захарова. М.: Интекст, 2017. 420 с.

Вопросы содержания системы колесо — рельс, являющейся основной для железнодорожного транспорта, приобретают все большее значение по мере роста грузонапряженности, массы и длины поездов, осевых нагрузок и необходимости обеспечивать экономически оправданную эксплуатацию железнодорожных систем. Для лучшего понимания происходящих процессов в данной системе рассмотрены фундаментальные вопросы взаимодействия железнодорожного экипажа и пути, механика контактного взаимодействия колеса и рельса, виды и причины возникновения дефектов в элементах системы, применяемые материалы и перспективы их совершенствования. Описаны современные системы автоматизированного мониторинга состояния подвижного состава и пути. Большое внимание уделено используемым в разных странах подходам и технологиям текущего содержания подвижного состава и пути, обеспечивающим снижение стоимости жизненного цикла. Отдельная глава посвящена вопросам безопасности, анализу причин и способам предотвращения сходов подвижного состава. Изложен опыт железных дорог разных стран с тяжеловесным движением по выявлению проблем, способам реализации решений и достигнутым результатам. В конце книги приведен словарь используемых терминов, их эквивалентов на английском языке, определений, расшифровывающих термины.

Книга рассчитана на инженерно-технических работников, занимающихся вопросами железнодорожного транспорта, и студентов, изучающих данные проблемы.



По вопросам приобретения книги обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, редакционно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (499) 260-43-20, e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru.