ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 625.032.3-048.24

Р. КРАЙС[1*], В. С. ЛІСНИЧИЙ[2*]

[1*]Flaig+Hommel GmbH (TOB), Verbindungselemente Heer Str., 1, Альдінген, Німеччина, 78554, тел. +49 (074) 24 96 20, ел. пошта roland.kreis@flaig-hommel.de, ORCID 0000-0002-0042-9697
[2*]АТ «Науково-впроваджувальний центр «Вагони», а/с 356, Санкт-Петербург, Російська Федерація, 190031, тел. +7 (921) 316 87 37, ел. пошта Lesnichy1@yandex.ru, ORCID 0000-0002-0046-0918

ВИКОРИСТАННЯ ШЕСТИГРАННИХ СУЦІЛЬНОМЕТАЛЕВИХ САМОСТОПОРНИХ FS-ГАЙОК У РУХОМОМУ СКЛАДІ ЗАЛІЗНИЦЬ ШИРИНИ КОЛІЇ 1520 ММ

Мета. Однією з ключових вимог до рухомого складу нового покоління є потреба збільшення гарантійних строків або пробігів між технічними обслуговуваннями в експлуатації та між плановими ремонтами, що призведе до зниження витрат на технічне обслуговування та ремонт рухомого складу за його життєвий цикл. У зв'язку з цим при будуванні, ремонті, модернізації рухомого складу прагнуть використовувати крепіж, який забезпечить високу надійність під дією вібрації. Цим вимогам відповідає шестигранна самостопорна суцільнометалева FS-гайка багаторазового використання компанії-виробника Flaig+Hommel GmbH. Тому в роботі необхідно розглянути результати випробувань на підтвердження надійності FS-гайок у нових умовах. **Методика.** Для підтвердження функціональності різьбових з'єднань із FS-гайками для рухомого складу залізниць ширини колії 1520 мм проведений комплекс випробувань: 1) випробування навантаженням та на стопорний момент згідно з ISO 2320 при нормальних кліматичних умовах та після впливу низьких температур; 2) випробування на рухомому складі в умовах ресурсних пробігових навантажень та в підконтрольній експлуатації вагонів. **Результати.** Проведені випробування FS-гайок та представлені результати свідчать про те, що суцільнометалеві самостопорні FS-гайки відповідають міжнародним стандартам, підтверджують надійність в експлуатації на рухомому складі залізниць ширини колії 1520 мм. Зокрема, під час експлуатації зберігається стопорний момент та момент затягування в різьбових з'єднаннях на необресорених частинах та на обресорених частинах візків вантажних вагонів в умовах вібронавантажень при багаторазовому використанні FS-гайок. **Наукова новизна.** Розроблений комплекс програм і методик вдосконалений проведенням додаткових випробувань після впливу на різьбові з'єднання з FS-гайками низьких температур, а також контрольними операціями оцінки стану різьбових з'єднань із FS-гайками в умовах підконтрольної експлуатації рухомого складу. Це в повній мірі дозволяє підтвердити надійність використання FS-гайок на рухомому складі залізниць ширини колії 1520 мм. **Практична значимість.** Застосування FS-гайок дозволяє відмовитись від використання у різьбових з'єднаннях рухомого складу ширини колії 1520 мм таких елементів як корончаті гайки, пружні шайби, стопорні шайби, зубчаті шайби, запобіжні пластини, одноразові скріплення, контргайки тощо, щоб гарантувати технічні вимоги до інноваційного рухомого складу. Також сучасні виробничі технології FS-гайок забезпечують тривалу роботу в умовах забрудненості, вологості, перепадів температури та інших несприятливих факторів.

Ключові слова: FS-гайка; різьбове з'єднання; рухомий склад; випробування

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Вступ

Сучасним елементом різьбового з'єднання універсального використання, яке працює в умовах вібрації, є шестигранна самостопорна суцільнометалева FS-гайка багаторазового використання компанії-виробника Flaig+Hommel GmbH (далі – FS-гайка), що успішно зарекомендувала себе протягом декількох десятиліть, зокрема на транспорті у країнах Європи, а також з 2012 року у Росії.

FS-гайка відповідає вимогам стандартів ISO 7042, ISO 10513, ISO 7044, ISO 12126, ISO 2320.

Приклад умовного позначення FS-гайки: *FS M16 ISO 7042-8-Zn8.*, де

– *FS* – зареєстрований товарний знак Flaig+Hommel GmbH;

– *M16* – параметри різьби;

– *ISO 7042* – стандарт відповідності гайки;

– *8* – клас міцності гайки;

– *Zn8* – тип і товщина покриття.

FS-гайка може бути встановлена на будь-який залізничний рухомий склад, якщо проектною документацією на нього передбачено кріплення деталі різьбовим з'єднанням з використанням будь-якої гайки.

Розміри основних типів FS-гайок наведені в табл. 1, а позначення розмірів – на рис. 1. FS-гайки мають поле допуску різьби 6*H*. Слід зазначити, що крім основних типів, наведених у табл. 1, можливе виготовлення FS-гайок великих розмірів – до М110– спеціальної форми для умов різної складності використання у конструкції різьбового з'єднання.

FS-гайка складається з двох елементів (рис. 1): тіло гайки та запресований у нього металевий стопорний пружній елемент з тією ж різьбою, що і тіло гайки, зі зміщенням по кроку. Стопорний елемент перешкоджає вільному обертанню гайки по різьбі болта, забезпечуючи виникання стопорного моменту по всій кружності профілю різьби (360°), який утримує гайку від будь-яких послаблень та провертань по різьбі при дії вібрації. Стопорний елемент діє в осьовому та радіальному напрямку. Слід зазначити, що стопорний елемент ні в якому разі не пошкоджує спряжену різьбу болта.

Працездатність FS-гайок, яка полягає у збереженні стопорного моменту, зазначеного в ISO 2320, може складати до п'ятнадцяти циклів закручування-відкручування у разі дотримання вимог виробника щодо експлуатації FS-гайки. Для захисту від корозії FS-гайка має електролітичне покриття у відповідності з ISO 4042. Під час виготовлення на FS-гайку наносять обов'язкове маркування, важливим елементом якого є зареєстрований товарний знак «FS».

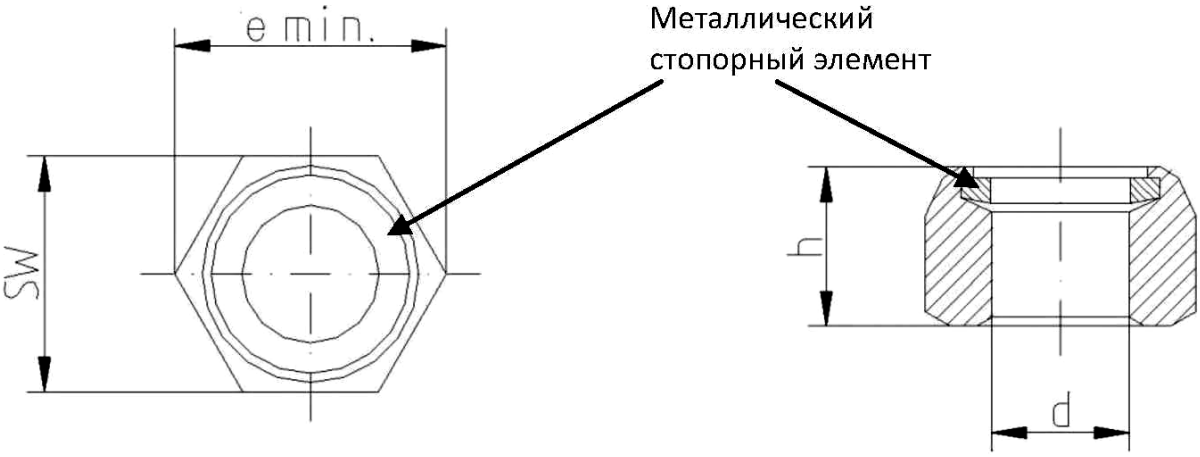

Рис. 1. Конструкція та позначення геометричних розмірів FS-гайки

Fig. 1. The design and geometric dimensions of FS-nuts

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Таблиця 1

Розміри FS-гайок

Table 1

FS-nuts dimensions

Позначення гайки, *d*	Розмір, мм						
	h				S_w		e_{min}
	max		min		max	min	
	Безфланцева	З фланцем	Безфланцева	З фланцем			
M5	5,1	6,2	4,80	5,70	8	7,78	8,79
M6	6,0	7,3	5,40	6,80	10	9,78	11,05
M8	8,0	9,4	7,14	8,74	13	12,73	14,38
M10	10,0	11,4	8,94	10,34	16	15,73	17,77
M12	12,0	13,8	11,57	12,57	18	17,73	20,03
M14	14,1	15,9	13,40	14,80	21	20,67	23,36
M16	16,4	18,3	15,70	17,20	24	23,67	26,75
M20	20,3	22,4	19,00	20,30	30	29,16	32,95
M24	23,9	–	22,60	–	36	35,00	39,55
M30	30,0	–	27,30	–	46	45,00	50,85
M36	36,0	–	33,10	–	55	53,80	60,79

Відмінною особливістю монтажу FS-гайки є те, що стопорний елемент повинен завжди розташовуватися з протилежного боку від початку наживлення FS-гайки на різьбу болта.

Для забезпечення якості з'єднання деталей та тривалої працездатності стопорного елемента FS-гайки необхідно дотримуватись та контролювати момент затягування (табл. 2). Наведені значення моментів затягування рекомендовані Flaig+Hommel GmbH, але конструктор рухомого складу може коригувати момент затягування для конкретного з'єднання відповідно до чинних нормативів на різьбові з'єднання та особистостей конкретної конструкції (момент тертя, властивості поверхні, до якої притягується гайка тощо). Фактичний момент затягування FS-гайки ($M_{факт}$) є сумою розрахункового моменту затягування ($M_{розр}$) та стопорного моменту ($M_{стоп}$).

Важливою вимогою, пов'язаною з особливістю конструкції FS-гайки, є швидкість нагвинчування FS-гайки при використанні автоматизованого інструмента. Рекомендована Flaig+Hommel GmbH швидкість нагвинчування – 30 об/хв, оскільки при такій швидкості забезпечується найбільш сприятлива взаємодія стопорного елемента FS-гайки з різьбою болта. Після аналізу конкретних умов монтажу та інструмента на підприємстві, де відбувається збірка конструкції, швидкість монтажу може бути збільшена за рекомендацією Flaig+Hommel GmbH, але не більше, ніж до 100 об/хв, оскільки при збільшенні обертів суттєво зростає температура нагріву болта та FS-гайки внаслідок роботи стопорного елемента FS-гайки. Нагрівання неминуче, оскільки при нагвинчуванні FS-гайки долається зусилля стопорного моменту.

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Таблиця 2

Моменти затягування FS-гайок

Table 2

Wrench torque of FS-nuts

Моменти затягування (Н·м), дійсні для $\mu_{прив}$= 0,1*							
Стандартна різьба				Дрібна різьба			
Клас міцності Параметри різьби	8	10	12	Клас міцності Параметри різьби	8	10	12
M5	4,8	7,1	8,3	–			
M6	8,3	12	14	–			
M8	20	30	35	M8x1	22	32	37
M10	40	59	69	M10x1,25	42	62	72
M12	69	100	120	M12x1,5	72	105	125
M14	110	160	190	–			
M16	170	250	290	M16x1,5	180	265	310
M20	340	490	570	M20x1,5	375	530	620
M24	590	840	980	M24x2	630	900	1 050
M30	1 200	1 700	1 950	M30x2	1 300	1 850	2 150
M36	2 150	3 050	3 600	M36x2	2 400	3 500	4 000

* $\mu_{прив}$ – приведений коефіцієнт тертя

При другому та наступних використаннях FS-гайки бажана перевірка присутності у неї стопорного моменту, щоб переконатися у її справності, тому що стопорні властивості, можливо, були втрачені у разі порушення умов експлуатації і недотримання правил монтажу. Засіб перевірки стопорних властивостей досить простий та полягає в тому, що треба наживити FS-гайку на болт «від руки», виключивши використання будь-яких інструментів, поки кромка болта не вступить у взаємодію зі стопорним елементом FS-гайки. Коли вже стопорний елемент почне входити у зчеплення з різьбою болта, тоді закручування FS-гайки «від руки» буде вкрай важке, тобто практично неможливе, і це означатиме, що стопорний момент у FS-гайки присутній.

Мета

Відповідно до прийняття конструктивних рішень щодо використання самостопорних FS-гайок в різьбових з'єднаннях кріплення деталей рухомого складу нового покоління ширини колії 1520 мм, зокрема у візка вантажного вагона, виникла необхідність виконання комплексу додаткових випробувань на підтвердження надійності FS-гайок у нових умовах.

Методика

На першому етапі випробувань FS-гайки перевіряли на працездатність методом, описаним у ISO 2320, як при кімнатній температурі, так і після дії на різьбові з'єднання з FS-гайками низької температури (-60°C).

Випробування виконувались на території підприємства Flaig+Hommel GmbH в атестованій лабораторії з необхідними засобами вимірювання та тестування. Для впливу низької температури на різьбові з'єднання з FS-гайками вони були закладені в термокамеру та витримувались при температурі -60°C протягом 6 годин.

Випробування виконувались стосовно таких типів FS-гайок:

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

− FS M 20 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8;
− FS M 20 DIN EN 1664-10-Zn8;
− FS M 24 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8,

які випадковим чином були обрані з серійної партії продукції, по дев'ять кожного типу:

– по три для вимірювання стопорного моменту моментним ключем (FS-гайка «a» (рис. 2));

– по три для випробування навантаженням по ISO 2320 до впливу низької температури (FS-гайка «c» (рис. 3));

– по три для вимірювання стопорного моменту автоматично по ISO 2320 до і після впливу низької температури, а також для випробувань навантаженням після впливу низької температури (FS-гайка «b» (рис. 4)).

Порядок робіт на першому етапі випробувань був наступний:

а) візуально оцінювався зовнішній вигляд, якість покриття та маркування кожної FS-гайки (рис. 5);

б) визначались геометричні розміри кожної FS-гайки та її різьби;

в) виконувались випробування кожної FS-гайки навантаженням, визначався стопорний момент згідно з ISO 2320 при кімнатній температурі;

г) виконувались випробування кожної FS-гайки навантаженням, визначався стопорний момент згідно з ISO 2320 після впливу низької температури (-60°C).

Для вимірювання геометричних розмірів FS-гайок були взяті три FS-гайки «b» кожного типу, які в подальшому випробувались на стопорні властивості до і після впливу низької температури та навантаженням після впливу низької температури.

Рис. 2. Зразки FS-гайок для визначення стопорного моменту моментним ключем

Fig. 2. FS-nuts samples for determining the locking moment with a torque wrench

Рис. 3. Зразки FS-гайок для випробувань навантаженням до впливу низької температури

Fig. 3. FS-nuts samples for testing by load to the low temperature impact

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Рис. 4. Зразки FS-гайок для визначення стопорного моменту автоматично до і після впливу низької температури, а також випробувань навантаженням після впливу низької температури

Fig. 4. FS-nuts samples for determining the stopping moment automatically before and after low temperature impact and testing by load after low temperature impact

Для FS-гайок, на яких виконувались вимірювання геометричних розмірів, було здійснено також контроль різьби відповідними калібрами.

До тестуванням випробувань на стопорні властивості автоматичним засобом зразків FS-гайок «b» відповідно до ISO 2320 була виконана перевірка стопорного моменту за допомогою моментного ключа (рис. 6) у дев'яти зразків FS-гайок «a»(по три FS-гайки кожного типу). Стопорний момент фіксувався при першому та п'ятому закручуванні та відкручуванні, чотирнадцятому закручуванні до дії низької температури а потім, при п'ятнадцятому відкручуванні після впливу низької температури. Результати наведеені у табл. 6. Слід зазначити, що вимоги ISO 2320 по достатній кількості у п'ять циклів, при яких повинні зберігатися стопорні властивості стопорної гайки, перевищені, що свідчить про високий резерв конструкції FS-гайки зберігати основну властивість – стопорний момент!

Відповідно до ISO 2320 для дев'яти зразків «c» (по три FS-гайки кожного типу) виконані випробування навантаженням до впливу низької температури. Для FS-гайок M20 випробування були виконані на пресі MAREM (рис. 7) з навантаженням до 259,7 кН та для FS-гайок M24 – на пресі KRAFTAUFNEHMER (рис. 8) з навантаженням до 374,2 кН. У подальших випробуваннях ці FS-гайки не були використані, оскільки вплив навантаженням – це екстремальні умови, після яких стопорні властивості FS-гайки не можуть бути гарантовані.

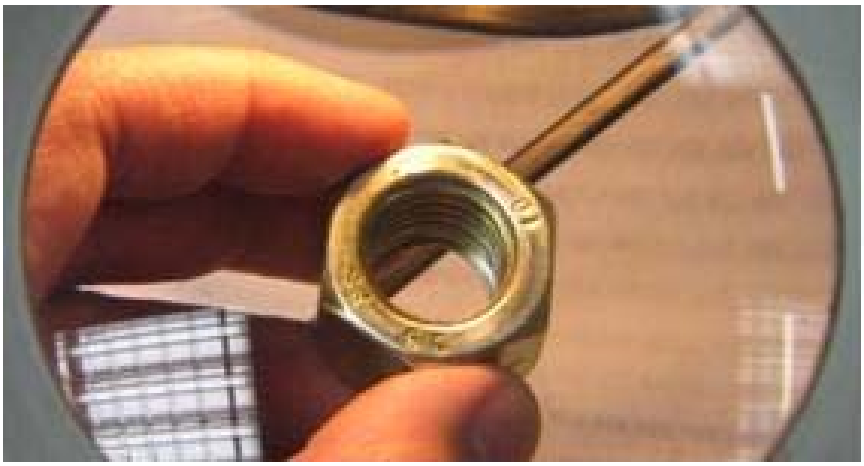

Рис. 5. Візуальний огляд FS-гайок під збільшувальним склом

Fig. 5. Visual inspection of FS-nuts under the zoom

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

Рис. 6. Моментний ключ

Fig. 6. Torque wrench

Рис. 7. Випробування FS-гайки М20 навантаженням

Fig. 7. Test of FS-nut by M20 load

Рис. 8. Випробування FS-гайки М24 навантаженням

Fig. 8. Test of FS-nut by M20 load

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Відповідно до ISO 2320 для дев'яти зразків «b» (по три FS-гайки кожного типу), на яких вимірювались геометричні параметри та контролювалася різьба, виконані випробування стопорного моменту на стенді SCHATZ (рис. 9). Стопорний момент визначався при першому закручуванні та відкручуванні та при п'ятому відкручуванні. За результатами вимірювань відзначено, що значення моменту лежить у відповідному з ISO 2320 діапазоні для FS-гайки класу міцності 10 (результати подібні до результатів, наведених у табл. 6).

Після випробувань при кімнатній температурі різьбові з'єднання з FS-гайками «b» були поміщені в термокамеру та заморожені до температури –60 °С, при якій були витримані 6 годин.

Після видалення з термокамери FS-гайок «b» та витримки при кімнатній температурі протягом чотирьох годин були виконані випробування на відповідність стопорного моменту вимогам ISO 2320. Стопорний момент визначався для першого закручування та відкручування та для п'ятого відкручування. Слід зазначити, що перше закручування після впливу низької температури відповідає фактично сьомому закручуванню, а п'яте розкручування – одинадцятому, оскільки ті ж самі FS-гайки до впливу низької температури піддавалися випробуванням на вимірювання стопорного моменту протягом п'яти циклів закручування-відкручу-вання, а потім були закручені шостий раз і поміщені в термокамеру. За результатами вимірювань визначена відповідність значень стопорного моменту припустимому діапазону відповідно до ISO 2320 для FS-гайок класу міцності 10 (результаті подібні до результатів, наведених у табл. 6).

FS-гайки «b», які були від впливом низької температури та випробувані на відповідність стопорного моменту, також були випробувані навантаженням відповіднодо ISO 2320.

На другому етапі випробувань FS-гайки контролювалися в умовах руху поїзда під час ресурсних пробігових випробувань візків моделі 18-9855 універсального вантажного вагона моделі 12-9853. Випробуванням були піддані такі типи гайок, які належать до конструкції візка:

- FS M 20 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8;
- FS M 20 DIN EN 1664-10-Zn8;
- FS M 24 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8.

Метою цього етапу випробування було перевірити надійність кріплення деталей візка FS-гайками в умовах вібронавантажень під час руху поїзда. Завдання випробувань було спрямовано на оцінку цілісності різьбових з'єднань з FS-гайками та збереження належних властивостей стопорного моменту.

Випробування були виконані відповідно до розробленої АТ «НВЦ «Вагони» програми та методики ресурсних пробігових випробувань візків моделей 18-9855.

Випробування виконувались на експериментальному залізничному полігоні на станції Щербинка Московської залізниці, включенням вагона, на якому виконувались випробування, до складу вантажного поїзда. Поїзд мав вагу близько 9 тисяч тонн і рухався під час випробувань з середньою швидкістю 70 км/год. Вагон, який проходив випробування, був навантажений до максимального навантаження (25 тс від однієї колісної пари на колію).

Огляд різьбових з'єднань з FS-гайками було виконано перед початком випробувань. Проміжні огляди були виконані після 24 тисяч км та 53 тисяч км пробігу вагона. Підсумковий огляд був виконаний після 85 тисяч км пробігу, що відповідало еквівалентному пробігу 255 тисяч км з урахуванням так званого коефіцієнта форсування – 3, призначеного для експериментального полігону на станції Щербинка.

Під час огляду різьбових з'єднань з FS-гайками виконувались такі дії:

- візуально визначалась цілісність з'єднань;
- визначалось, чи є послаблення FS-гайок;
- визначався момент затягування FS-гайки.

Третій етап випробування – це нагляд та контроль FS-гайок в умовах підконтрольної експлуатації всіх вагонів, побудованих Тіхвінським вагонобудівним заводом (Росія) на мережі залізниць ширини колії 1 520 мм з 2012 року.

Найбільший пробіг, якого досягли вагони першого випуску Тіхвінського вагонобудівного заводу, станом на 1 червня 2016 року склав більше ніж 400 тисяч км. Варто зазначити, що більшість вагонів інтенсивно експлуатуються в умовах залізниць Сибіру і Далекого Сходу.

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

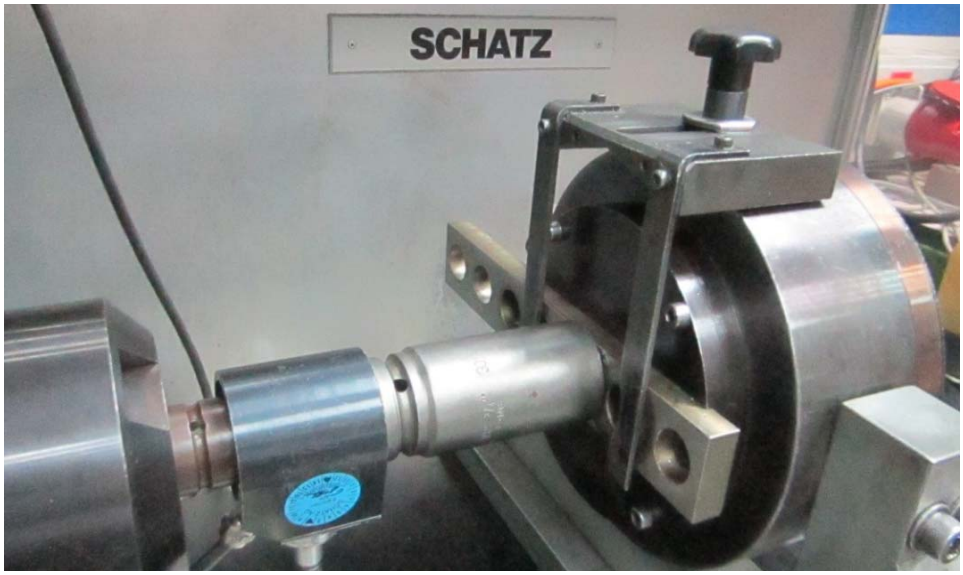

Рис. 9. Випробування FS-гайок автоматичним вимірюванням стопорного моменту на стенді SCHATZ

Fig. 9. Test of FS-nut by automatic measurement of locking moment on the stand SCHATZ

Відповідно до програм та методик підконтрольної експлуатації візків моделей 18-9810 та 18-9855, розроблених АТ «НВЦ «Вагони», у межах виконання планових комісійних оглядів візків на території вагоноремонтних підприємств оцінювався стан FS-гайок у різьбових з'єднаннях.

Станом на 1 червня 2016 року відбулося п'ять запланованих комісійних оглядів за весь час підконтрольної експлуатації з 2012 року. Під час оглядів оцінювалось послаблення FS-гайок шляхом заміру моменту затягування, присутність чи відсутність стопорного моменту, зверталася увага на присутність чи відсутність пошкоджень FS-гайок, зокрема, різьби.

Слід зазначити, що за весь зазначений період підконтрольної експлуатації під час планових оглядів відбулося шість циклів закручувань-відкручувань FS-гайок візків, що перевищує вимоги ISO 2320 по достатній кількості у п'ять циклів, при яких повинні зберігатися стопорні властивості стопорної гайки.

Крім того, в експлуатації разом із регулярними оглядами рухомого складу на території пунктів технічного обслуговування вантажних вагонів, додатково до програми підконтрольної експлуатації, представниками виробника вагонів здійснюються випадкові періодичні обстеження FS-гайок. При цьому перевіряється збереження моменту затягування та оцінюється зовнішній стан різьбових з'єднань з FS-гайками.

Результати

На першому етапі випробувань

1. Результати візуального контролю зовнішнього вигляду FS-гайок (покриття, наявність маркування), вимірювання геометричних розмірів і контролю різьби наведені в табл. 3−5. Результати показали, що дефекти на всіх зразках FS-гайок відсутні, покриття рівномірне, маркування є та чітко читається, всі розміри знаходяться у відповідних межах, а різьба відповідає калібру.

2. Результати вимірювань стопорного моменту за допомогою моментного ключа показали, що стопорні моменти всіх випробовуваних FS-гайок були в межах згідно з ISO 2320, зокрема, як при п'ятому відкручуванні при кімнатній температурі, такі і при п'ятнадцятому відкручуванні після впливу на різьбові з'єднання низької температури –60 °С. Результати вимірювання стопорних моментів моментним ключем зведені в табл. 6.

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

3. Результати автоматичних вимірювань стопорного моменту FS-гайок згідно з ISO 2320, показали, що стопорні моменти всіх випробовуваних FS-гайок були у відповідних межах згідно з ISO 2320 як при першому, так і при п'ятому відкручуванні до впливу на них низької температури –60 °С, а також після впливу низької температури при сьомому та одинадцятому відкручуванні.

4. Результати випробувань навантаженням згідно з ISO 2320 (для FS-гайок М20 – до 259,7 кН, для FS-гайок М24 – до 374,2 кН) як до впливу низької температури –60 °С, так і після впливу низької температури показали, що у всіх випробовуваних FS-гайках деформації різьби на сталося.

На другому етапі випробувань

У результаті оцінювання фактичного стану різьбових з'єднань з FS-гайками під час ресурсних пробігових випробувань візків моделі 18-9855 на експериментальному полігоні (станція Щербинка Московської залізниці):

– дефекти різьбових з'єднань з FS-гайками були відсутні;

– послаблення кріплень з FS-гайками були відсутні;

– прогалини між FS-гайками і поверхнями, до яких вони прилягають, були відсутні;

– моменти затягування FS-гайок відповідали конструкторській документації на візки (всього було виконано від час випробувань чотири цикли закручувань-відкручувань FS-гайок, втрат стопорних властивостей не було).

На третьому етапі випробувань

За ввесь час підконтрольної експлуатації вантажних вагонів з візками моделей 18-9810 та 18-9855 на мережі залізниць ширини колії 1 520 мм (з 2012 року пробіг вагонів першого випуску склав в червні 2016 року більш ніж 400 тисяч км) до різьбових з'єднань з FS-гайками зауважень не було, що підтверджено актами комісійних оглядів вагонів.

За час проведення планових оглядках відбулося шість циклів закручувань-відкручувань FS-гайок візків, що перебільшує вимоги ISO 2320 по достатній кількості у п'ять циклів, при яких повинні зберігатися стопорні властивості стопорної гайки.

Таблиця 3

Результати візуального огляду та вимірювань геометричних параметрів FS M 20 DIN 980 /ISO 7042-10-Zn8

Table 3

The results of the visual inspection and measurement of geometrical parameters FS M 20 DIN 980 / ISO 7042-10-Zn8

	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Норма
Зовнішній вигляд	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів
Покриття	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	По ISO 4042
Маркування	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	–
Габаритні розміри, мм:				$S_{max} = 30$;
S	29,90	29,81	29,80	$S_{min} = 29,16$;
(e)	34,10	34,05	34,06	$e_{min} = 32,95$;
(h)	19,90	19,83	19,84	$h_{max} = 20$;
				$h_{min} = 18$
Контроль різьби калібром	Без відхилень	Без відхилень	Без відхилень	Прохід-непрохід калібру

doi 10.15802/stp2016/84080

© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Таблиця 4

Результати візуального огляду та вимірювань геометричних параметрів FS M 20 DIN EN 1664-10-Zn8

Table 4

The results of the visual inspection and measurement of geometrical parameters FS M 20 DIN EN 1664-10-Zn8

	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Норма
Зовнішній вигляд	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів
Покриття	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	По ISO 4042
Маркування	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	–
Габаритні розміри, мм:				$S_{max} = 30$;
S	29,85	29,82	29,85	$S_{min} = 29,16$;
(e)	33,90	33,97	33,97	$e_{min} = 32,95$;
(h)	21,98	21,98	22,00	$h_{max} = 22,4$;
				$h_{min} = 20,3$
Контроль різьби калібром	Без відхилень	Без відхилень	Без відхилень	Прохід-непрохід калібру

Таблиця 5

Результати візуального огляду та вимірювань геометричних параметрів FS M 24 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8

Table 5

The results of the visual inspection and measurement of geometrical parameters FS M 24 DIN 980 / ISO 7042-10-Zn8

	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Норма
Зовнішній вигляд	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів	Без дефектів
Покриття	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	Рівномірне, відповідає ISO 4042	на ISO 4042
Маркування	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	У належності, читається чітко	–
Габаритні розміри, мм:				$S_{max} = 36$;
S	35,68	35,71	35,67	$S_{min} = 35$;
(e)	40,59	40,55	40,59	$e_{min} = 39,55$;
(h)	23,88	23,76	23,84	$h_{max} = 23,9$;
				$h_{min} = 22,6$
Контроль різьби калібром	Без відхилень	Без відхилень	Без відхилень	Прохід-непрохід калібру

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)
Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

Таблиця 6

Результати перевірки стопорного моменту моментним ключем

Table 6

Test results of locking moment with torque wrench

Режим роботи	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Норматив по ISO 2320
	Стопорний момент, Н·м			
FS M 20 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8				
при кімнатній температурі – перше закручування	29	16	21	перше закручування – max 72; п’яте відкручування – min 7
при кімнатній температурі – п’яте відкручування	22	12	14	
при кімнатній температурі – чотирнадцяте відкручування	8	7	7	
після впливу низької температури – п’ятнадцяте відкручування	8	8	7	
FS M 20 DIN EN 1664-10-Zn8				
при кімнатній температурі – перше закручування	15	20	15	перше закручування – max 72; п’яте відкручування – min 7
при кімнатній температурі – п’яте відкручування	12	14	10	
при кімнатній температурі – чотирнадцяте відкручування	9	10	9,5	
після впливу низької температури – п’ятнадцяте відкручування	10	10	9,5	
FS M 24 DIN 980/ISO 7042-10-Zn8				
при кімнатній температурі – перше закручування	29	25	29	перше закручування – max 106; п’яте відкручування –min 10,5
при кімнатній температурі – п’яте відкручування	20	15,5	20	
при кімнатній температурі – чотирнадцяте відкручування	15	14	14	
після впливу низької температури – п’ятнадцяте відкручування	16	14	14	

Наукова новизна та практична значимість

Розроблений комплекс програм і методик вдосконалено виконанням додаткових випробувань після впливу на різьбові з’єднання з FS-гайками низьких температур, а також контрольними операціями оцінки стану різьбових з’єднань з FS-гайками в умовах підконтрольної експлуатації рухомого складу, що повною мірою дозволяє підтвердити надійність використання FS-гайок на рухомому складі залізниць ширини колії 1 520 мм.

Застосування FS-гайок дозволяє відмовитись від використання додаткових елементів у різьбових з’єднаннях рухомого складу ширини колії 1 520 мм, які використовуються як запобіжник послабленню з’єднання при вібрації,

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

зокрема корончаті гайки, пружні шайби, стопорні шайби, зубчаті шайби, запобіжні пластини, одноразові скріплення, контргайки тощо, щоб гарантувати технічні вимоги до інноваційного залізничного рухомого складу. Також сучасні виробничі технології FS-гайок забезпечують тривалу їх роботу в умовах забрудненості, вологості, перепадів температури та інших несприятливих факторів.

Висновки

Виконаний комплекс випробувань FS-гайок та наведені результати повною мірою свідчать про те, що суцільнометалеві самостопорні FS-гайки відповідають міжнародним стандартам, підтверджують надійність в експлуатації на рухомому складі залізниць ширини колії 1 520 мм, зокрема під час експлуатації зберігається стопорний момент та момент затягування у різьбових з'єднаннях на необресорених частинах та на обресорених частинах візків вантажних вагонів в умовах вібронавантажень при багаторазовому використанні FS-гайок. Слід зазначити, що вимоги ISO 2320 по достатній кількості у п'ять циклів, при яких повинні зберігатися стопорні властивості стопорної гайки, перевищені, що свідчить про високий резерв конструкції FS-гайки зберігати основну властивість – стопорний момент.

На підставі висновків за результатами випробувань FS-гайки можуть бути рекомендовані для заміщення таких елементів, як корончаті гайки з шплінтами, звичайні гайки з додатковими елементами (пружні шайби, стопорні шайби, зубчаті шайби, запобіжні пластини, контргайки) одноразові скріплення тощо на існуючому рухомому складі, а також для використання на новому сучасному рухомому складі залізничного транспорту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Гайки цельнометаллические самостопорящиеся : протокол дополнительных испытаний после воздействия на болтовые соединения низких температур / утв. зам. ген. директора ОАО «НВЦ «Вагоны» А. М. Орловой 28.11.2012. – Санкт-Петербург, 2012. – 96 с.
2. Гайки цельнометаллические самостопорящиеся : протокол предварительных испытаний / утв. ген. директором ОАО «НВЦ «Вагоны» Ю. П. Бороненко 04.07.2012. – Санкт-Петербург, 2012 – 9 с.
3. Мямлін, С. В. Особливості інноваційних рішень ходової частини сучасних конструкцій вантажних вагонів / С. В. Мямлін, Л. О. Недужа, О. О. Тен // Інноваційні технології на залізн. трансп. : зб. наук. пр. IV Міжнар. наук.-практ. конф. – Луганськ, 2013. – С. 52–53.
4. Орлова, А. М. Расчётно-экспериментальный метод прогнозирования износа в узлах трения тележек модели 18-9855 типа Barber S-2-R / А. М. Орлова, В. С. Лесничий // Транспорт Рос. Федерации. – 2015. – № 3 (58). – С. 56–59.
5. Орлова, А. М. Тележка типа «Barber S-2-R»: первый этап эксплуатации / А. М. Орлова, В. С. Лесничий // Вагоны и вагонное хоз-во. – 2012. – № 4 (32). – С. 20–23.
6. Тележка двухосная 18-9855, тип 3 по ГОСТ 9246-2013 : отчет о результатах проведения подконтрольной эксплуатации за четыре года / утв. ген. директором АО «НВЦ «Вагоны» Ю. П. Бороненко 16.05.2016. – Санкт-Петербург, 2016. – 15 с.
7. Тележка типа «Barber S-2-R»: ресурсные пробеговые испытания / А. М. Орлова, В. С. Лесничий, И. В. Сухих, Е. И. Юрьева. – Вагоны и вагонное хоз-во. – 2011. – № 2 (26). – С. 40–41.
8. Ahmadian, H. Generic element formulation for modelling bolted lap joints / H. Ahmadian, H. Jalali // Mechanical Systems and Signal Processing. – 2007. – Vol. 21. – Iss. 5. – P. 2318–2334. doi: 10.1016/j.ymssp.2006.10.006.
9. Ibrahim, R. A. Uncertainties and dynamic problems of bolted joints and other fasteners / R. A. Ibrahim, C. L. Pettit // J. of Sound and Vibration. – 2005. – Vol. 279. – Iss. 3–5. – P. 857–936. doi: 10.1016/j.jsv.2003.11.064.
10. Ouyang, H. J. Experimental and theoretical studies of a bolted joint excited by a torsional dynamic load / H. J. Ouyang, M. J. Oldfield, J. E. Mottershead // Intern. J. of Mechanical Sciences. – 2006. – Vol. 48. – Iss. 12. – P. 1447–1455. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2006.07.015.
11. Three-dimensional finite element analysis of the mechanical properties of helical thread connection / G. Yang, J. Hong, L. Zhu [et al.] // Chinese J. of Mechanical Engineering. – 2013. – Vol. 26. – Iss. 3. – P. 564–572. doi: 10.3901/cjme.2013.03.564
12. Wang, Z. A reliable fatigue prediction model for bolts under cyclic axial loading / Z. Wang, B. Xu, Y. Jiang // Proc. of the 5th ISSAT Intern. Confer-

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ence on Reliability Quality in Design. – 1999. – P. 137–141.

13. Zhao, H. Stress concentration factors within bolt–nut connectors under elasto-plastic deformation / H. Zhao // Intern. J. of Fatigue. – 1998. – Vol. 20. – Iss. 9. – P. 651–659. 10.1016/s0142-1123(98)-00036-x.

Р. КРАЙС[1*], В. С. ЛЕСНИЧИЙ[2*]

[1*]Flaig+Hommel GmbH, Verbindungselemente Heer Str., 1, Альдинген, Германия, 78554, тел. +49 (074) 24 96 20, эл. почта roland.kreis@flaig-hommel.de, ORCID 0000-0002-0042-9697
[2*]АО «Научно-внедренческий центр «Вагоны», а/я 356, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190031, тел. +7 (921) 316 87 37, эл. почта Lesnichy1@yandex.ru, ORCID 0000-0002-0046-0918

ПРИМЕНЕНИЕ ШЕСТИГРАННЫХ ЦЕЛЬНОМЕТАЛЛИЧЕСКИХ САМОСТОПОРЯЩИХСЯ FS-ГАЕК НА ПОДВИЖНОМ СОСТАВЕ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ КОЛЕИ 1520 ММ

Цель. Одним из ключевых требований, предъявляемых к подвижному составу нового поколения, является потребность увеличения гарантийных сроков или пробегов между пунктами технического обслуживания и в периоды между плановыми ремонтами, что приведёт к снижению затрат на обслуживание и ремонт подвижного состава за его жизненный цикл. В связи с этим при строительстве, ремонте, модернизации подвижного состава стремятся использовать крепеж, который обеспечит высокую надежность под действием вибрации. Этим требованиям отвечает шестигранная самостопорящаяся цельнометаллическая FS-гайка многократного использования компании-производителя Flaig+Hommel GmbH. Поэтому в работе необходимо рассмотреть результаты испытаний на подтверждение надежности FS-гаек в новых условиях. **Методика.** Для подтверждения функциональности резьбовых соединений с FS-гайками на подвижном составе железных дорог колеи 1520 мм проведён комплекс испытаний: 1) испытания пробной нагрузкой и на стопорный момент в соответствии с ISO 2320 при нормальных климатических условиях и после воздействия низких температур; 2) испытания на подвижном составе в условия ресурсных пробеговых нагрузок и в поднадзорной эксплуатации вагонов. **Результаты.** Проведённые испытания свидетельствуют о том, что самостопорящиеся цельнометаллические FS-гайки отвечают требованиям международных стандартов, подтверждают надёжность в эксплуатации на подвижном составе железных дорог колеи 1520 мм. В частности, во время эксплуатации сохраняется стопорный момент и момент затяжки в резьбовых соединениях как на обрессоренных, так и на необрессоренных частях тележек грузовых вагонов в условиях вибронагрузок при многоразовом использовании FS-гаек. **Научная новизна.** Разработанный комплекс программ и методик усовершенствован проведением дополнительных испытаний после воздействия на резьбовые соединения с FS-гайками низких температур, а также контрольными операциями оценки состояния резьбовых соединений с FS-гайками в условиях подконтрольной эксплуатации подвижного состава. Это в полной мере позволяет подтвердить надёжность использования FS-гаек на подвижном составе железных дорог колеи 1520 мм. **Практическая значимость**. Применение FS-гаек позволяет отказаться от использования в резьбовых соединениях подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм таких элементов как корончатые гайки, пружинные шайбы, стопорные шайбы, зубчатые шайбы, предохранительные пластины, одноразовые скрепления, контргайки, чтобы обеспечить технические требования, предъявляемые к инновационному подвижному составу. Также современные технологии производства FS-гаек обеспечивают длительность их работы в условиях загрязнений, влажности, перепадов температур и других неблагоприятных факторов.

Ключевые слова: FS-гайка; резьбовое соединение; подвижной состав; испытания

R. KREIS[1*], V. S. LISNYCHYI[2*]

[1*]Flaig+Hommel GmbH, Verbindungselemente Heer Str., 1, Aldingen, Germany, 78554, tel. +49 (074) 24 96 20, e-mail roland.kreis@flaig-hommel.de, ORCID 0000-0002-0042-9697
[2*]Joint-Stock Company «Scientific innovation center «Vagony», p.o. box 356, Saint-Petersburg, Russia, 190031, tel. +7 (921) 316 87 37, e-mail Lesnichy1@yandex.ru, ORCID 0000-0002-0046-0918

doi 10.15802/stp2016/84080
© Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

ISSN 2307–3489 (Print), ISSN 2307–6666 (Online)

Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2016, № 5 (65)

APPLICABILITY OF FS-ALL-METAL SELF-LOCK NUTS FOR RAILWAY ROLLING STOCK OF 1520 MM GAUGE

Purpose. One of key requirements for rolling stock of next generation is essential increase of warranty period or running between maintenance depots and in periods between programming repair works. This will lead to a reduction of costs to maintenance and repair during service life of rolling stock. In this regard, the industry aspires to use (during construction, repairs, modernization of rolling stock) a modern screw joints in structures for fixing parts. These screw joints could provide a high reliability under the action of vibration load. FS-hexagon all-metal self-lock nuts of multiple use, Flaig + Hommel GmbH company meets these requirements. Therefore, there is the need to consider the results of tests to confirm the reliability of FS-nuts in the new environment. **Methodology.** Test complex of developed programs and methods was carried out on railway rolling stock for functional demonstration of screw joints with FS-nuts. These tests include: 1) proof test and locking moment test as specified in ISO 2320 under normal climatic conditions and after low temperatures impact; 2) running test for rolling stock, secured the most load condition and according to supervised operation of next generation cars on the railway. **Findings.** Results of the tests testify that FS-all-metal self-lock nuts meet the requirements of international standards and confirm the reliability of the next generation rolling stock during its operation on the railway of 1520 mm gauge. Namely, locking moment and tightening torque is maintained in screw joints both on spring-suspended and unspring parts of freight car bogies by the action of vibration load under multiple use of FS-nuts. **Originality**. The developed software and methods was improved by conducting additional tests after exposure of screw joints with FS-nuts to low temperatures, as well as by control operations for assessing the condition of screw joints with FS-nuts, in the conditions of controlled operation of rolling stock. It fully allows confirming the reliability of the FS-nuts on the rolling stock of 1520 mm gauge railways. **Practical value.** Application of FS-nuts makes it possible to stop using secondary members in screw joints of railway rolling stock of 1520 mm gauge. These secondary members are used for reaction to slacking under vibration and consist of castle nuts, retaining washers, locking washers, serrated washers, check plates, disposable clamps. Using FS-nuts allow providing the rating rules for next generation of rolling stock. Besides the modern technologies of FS-nuts production provide their prolonged running time under the conditions of pollution, humidity, differential temperature and other adverse factors.

Keywords: FS-nut; screw joint; rolling stock; tests

REFERENCES

1. Orlova A.M. *Gayki tselnometallicheskiye samostoporyashchiesya: protokol dopolnitelnykh ispytaniy posle vozdeystviya na boltovyye soyedineniya nizkikh temperatur* [Hexagonal, all metal self-lock nuts. Protocol of additional tests after low temperatures impact on bolted assemblies]. Saint Petersburg, 2012. 96 p.
2. Boronenko Yu.P. *Gayki tselnometallicheskiye samostoporyashchiyesya: protokol predvaritelnykh ispytaniy* [Hexagonal, all metal self-lock nuts. Protocol of additional tests]. Saint Petresburg, 2012. 9 p.
3. Miamlin S.V., Neduzha L.O., Ten O.O. Osoblyvosti innovatsiinykh rishen khodovoi chastyny suchasnykh konstruktsii vantazhnykh vahoniv [Features of innovative solutions of undercarriage in modern designs of freight cars]. *Zbirnyk naukovykh prats IV Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Innovatsiini tekhnolohii na zaliznychnomu transporti»* [Proc. of IV Intern. Sci. and Practical Conference «Innovative technologies at railway transport»]. Luhansk, 2013, pp. 52-53.
4. Orlova A.M., Lesnichiy V.S. Raschetno-eksperimentalnyy metod prognozirovaniya iznosa v uzlakh treniya telezhek modeli 18-9855 tipa Barber S-2-R [The calculated and experimental method of wear forecasting in friction units in bogies, model 18-9855 such as Barber S-2-R]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of Russian Federation*, 2015, no. 3 (58), pp. 56-59.
5. Orlova A.M., Lesnichiy V.S. Telezhka tipa «Barber S-2-R»: pervyy etap ekspluatatsii [Bogie, type «Barber S-2-R»: a first step of operation]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Cars and Car Maintenance,* 2012, no. 4 (32), pp. 20-23.
6. Boronenko Yu.P. *Telezhka dvukhosnaya 18-9855, tip 3 po GOST 9246-2013: otchet o rezultatakh provedeniya podkontrolnoy ekspluatatsii za chetyre goda* [Bogie biaxial 18-9855, type 3 on State Standard 9246-2013. Report about results of controlled operation for four years]. Saint Petersburg, 2016. 15 p.
7. Orlova A.M., Lesnichiy V.S., Sukhikh I.V., Yureva Ye.I. Telezhka tipa «Barber S-2-R»: resursnyye probegovyye ispytaniya [Bogie, type «Barber S-2-R»: resource running tests]. *Vagony i vagonnoye khozyaystvo – Cars and Car Maintenance,* 2011, no. 2 (26), pp. 40-41.

doi 10.15802/stp2016/84080 © Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016

8. Ahmadian H., Jalali H. Generic element formulation for modelling bolted lap joints. *Mechanical Systems and Signal Processing,* 2007, vol. 21, issue 5, pp. 2318-2334. doi: 10.1016/j.ymssp.2006.10.006.
9. Ibrahim R.A., Pettit C.L. Uncertainties and dynamic problems of bolted joints and other fasteners. *Journal of Sound and Vibration*, 2005, vol. 279, issue 3–5. pp. 857-936. doi: 10.1016/j.jsv.2003.11.064.
10. Ouyang H.J., Oldfield M.J., Mottershead J.E. Experimental and theoretical studies of a bolted joint excited by a torsional dynamic load. *Intern*. *Journal of Mechanical Sciences*, 2006, vol. 48, issue 12, pp. 1447-1455. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2006.07.015.
11. Yang G., Hong J., Zhu L., Li B., Xiong M., Wang F. Three-dimensional finite element analysis of the mechanical properties of helical thread connection. *Chinese Journal of Mechanical Engineering*, 2013, vol. 26, issue 3, pp. 564-572. doi: 10.3901/cjme.2013.03.564.
12. Wang Z., Xu B., Jiang Y. A reliable fatigue prediction model for bolts under cyclic axial loading. Proc. of the 5th ISSAT Intern. Conference on Reliability Quality in Design, 1999, pp. 137-141.
13. Zhao, H. Stress concentration factors within bolt–nut connectors under elasto-plastic deformation. *Intern. Journal of Fatigue,* 1998, vol. 20, issue 9, pp. 651-659. 10.1016/s0142-1123(98)00036-x.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. С. В. Мямліним (Україна); науковим комітетом XIV Міжнародної конференції «Проблеми механіки залізничного транспорту. Безпека руху, динаміка, міцність рухомого складу, енергозбереження»

Надійшла до редколегії: 12.05.2016
Прийнята до друку: 14.09.2016

 © Р. Крайс, В. С. Лісничий, 2016