

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 629.4.0237.4:656.2

doi: 10.30987/2658-6436-2022-4-79-86

## РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БОКСОВАНИЯ ЛОКОМОТИВА НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Андрей Сергеевич Космодамианский<sup>1</sup>, Сергей Иванович Баташов<sup>2</sup>,

Евгений Владимирович Николаев<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Российский университет транспорта, г. Москва, Россия

<sup>1</sup>askosm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7835-3039>

<sup>2</sup>s.batashov61@mail.ru

<sup>3</sup>work-omc@yandex.ru

**Аннотация.** Проанализированы способы предотвращения боксования колесных пар локомотива. Показана актуальность применения методов объектного моделирования для автоматизации проектирования устройств для предотвращения боксования. Основная задача, решению которой посвящена статья, – синтез объектной модели технических решений таких устройств, расчет и составление матриц мер включения, пересечения и сходства. В результате объектного моделирования выбрано наиболее близкое техническое решение (прототип), выявлены его характерные признаки и недостатки. Новизна работы заключается в предложенном устройстве для предотвращения боксования, применение которого позволяет уменьшить потери, вызванные вихревыми токами, создаваемыми магнитным полем в колесах и рельсе, снизить расход энергии на создание магнитного поля, благодаря тому, что магнитное поле создается только при появлении возможности буксования колес, а значения тока поддерживаются на минимально-необходимом уровне. Методика и результаты работы могут быть применены при синтезе новых технических решений, направленных на совершенствование узлов экипажной части локомотивов.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, боксование, методы поиска сходства технических устройств, автоматизация проектирования

**Для цитирования:** Космодамианский А.С., Баташов С.И., Николаев Е.В. Разработка устройств предотвращения боксования локомотива на основе объектного моделирования технических решений // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении. 2022. №4 (18). С. 79-86. doi: 10.30987/2658-6436-2022-4-79-86.

Original article

Open Access Article

## DEVELOPMENT OF LOCOMOTIVE SKID PREVENTION DEVICES BASED ON OBJECT MODELING OF TECHNICAL SOLUTIONS

Andrey S. Kosmodamianskiy<sup>1</sup>, Sergey I. Batashov<sup>2</sup>, Eugeny V. Nikolaev<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Russian University of Transport, Moscow, Russia

<sup>1</sup>askosm@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7835-3039>

<sup>2</sup>s.batashov61@mail.ru

<sup>3</sup>work-omc@yandex.ru

**Abstract.** Techniques of prevention of locomotive wheelsets skidding were analyzed. The relevance of using object modeling techniques to automate the design of devices to prevent skidding is shown. The main task the solution of which is devoted to the article is the synthesis of the object model of technical solutions of such devices, the calculation and compilation of matrices of measures for inclusion, intersection and similarity. As a result of object modeling, the closest technical solution (prototype) was chosen, its characteristic features and disadvantages were identified. Novelty of results obtained in the present article consists in proposed device for prevention of skidding, application of which makes it possible to reduce power losses caused by eddy currents created by magnetic field in

wheels and rail, to reduce energy consumption for creation of magnetic field, due to the fact that magnetic field is created only at possibility of wheels skidding and current values are maintained at minimum required level. The methodology and results of the scientific investigation can be used in the synthesis of new technical solutions aimed at improving the components of the crew of locomotives.

**Keywords:** mathematical modeling, skidding, techniques of searching for similarity of technical devices, design automation

**For citation:** Kosmodamianskiy A.S., Batashov S.I., Nikolaev E.V. Development Of Locomotive Skid Prevention Devices Based On Object Modeling Of Technical Solutions. Automation and modeling in design and management, 2022, no. 4 (18). pp. 79-86 . doi: 10.30987/2658-6436-2022-4-79-86.

## Введение

Основным фактором, который препятствует максимальной реализации тяговой силы локомотива, является непостоянство коэффициента сцепления и. как следствие, развитие боксования одной или нескольких колесных пар. Для улучшения тяговых качеств используются разные подходы [1, 2], включая применение устройств для предотвращения боксования [3], исполнительные органы которых могут работать по следующим принципам:

- снижение силы тяги до значения, меньшего, чем сила трения скольжения боксующего колеса по рельсу:

- увеличение силы давления колеса на рельс:

- воздействие на зону контакта колеса с рельсом, приводящее к повышению коэффициента сцепления.

В настоящее время отсутствует общепринятая оптимальная конструкция ка самого устройства для предотвращения боксования, так и методов его разработки или проектирования. Существует достаточно большое количество исследований, посвященных задаче проектирования новых узлов тягового подвижного состава, основанных на как на методах математического моделирования в целом, так и на методах алгоритмического моделирования в частности [1, 3 – 7]. Общий подход при проектировании, тем не менее, до сих пор отсутствует, что можно объяснить эмпирическим характером разработанных методов и их применимостью к конкретным задачам и узлам, а также проблемой взаимодействия методов с системами автоматизированного проектирования (САПР).

Для решения задачи разработки нового устройства в качестве исходной в данной работе применим методику, успешно апробированную в [4, 5]. Согласно этой методике для формализации описания технического объекта принимается математическое выражение вида:

$$C = (\varphi, R, A^{(s)}, A^{(Rs)}, A^{(sR)}), \quad (1)$$

где множество  $\varphi = \{S_1, \dots, S_p\}$  – состав системы,  $S_1, \dots, S_p$  – внутренние элементы  $C$ , множество  $R = \{R_1, \dots, R_q\}$  – окружающая среда (надсистема), а  $R_1, \dots, R_q$  – внешние элементы  $C$ , множество  $A^{(s)}$  – все соотношения на элементах (внутренняя структура системы  $C$ ), а множества  $A^{(sR)}$  и  $A^{(Rs)}$  – все соотношения между элементами множеств  $\varphi$  и  $R$  (структура связи взаимодействия систем со средой).

Очевидным преимуществом используемой методики является возможность интеграции результатов ее применения с элементами библиотек разработчиков популярных САПР (АСКОН, Autodesk, SolidWorks и других).

## Разработка объектной модели устройства для предотвращения боксования

В качестве примера сформулируем исходную задачу. Требуется создать устройство для предотвращения боксования, которое позволит увеличивать коэффициент сцепления колеса с рельсом.

Для разработки устройства для предотвращения боксования применим алгоритм, аналогичный алгоритму в работе [4]. Выбираем группу наиболее близких технических решений (прототипов) и заносим в столбцы таблицы признаков вариантов устройств (таблица 1) их описания  $R_2 - R_7$  ( $R_1$  описывает само предлагаемое устройство), а в строки – их наиболее характерные признаки  $S_1 - S_{12}$ , которые получены в результате анализа формул соответствующих изобретений (полезных моделей).

## Признаки вариантов устройств

## Characteristics of different devices

	R1 Предлагаемое решение	R2 патент US3307058	R3 AC СССР №1286453	R4 патент US709484	R5 патент US2198928	R6 патент RU194613	R7 патент US414996
S1	-	Катушки вблизи контакта колесо-рельс	-	-	-	Катушки вблизи контакта колесо-рельс	-
S2	Ферромагнит. сердечник	-	-	Ферромагнит. сердечник	-	-	-
S3	Катушка на оси колесной пары	-	-	Катушка на оси колесной пары	-	-	Катушка на оси колесной пары
S4	-	-	Магнитн. допуж.	-	-	-	-
S5	Датчик скорости	-	-	Датчик скорости	-	-	-
S6	Ролик для сравнения скоростей	-	-	-	-	-	-
S7	-	-	-	-	Электромагнит в разрезном колесе	-	-
S8	-	-	-	-	-	Катушка охват. колесо	-
S9	Источник напряжения	Источник напряжения	Источник напряжения	Источник напряжения	Источник напряжения	Источник напряжения	Источник напряжения
S10	-	-	Управл. гидро- цилиндры	-	-	-	-
S11	Сердечники на буксах	-	-	Сердечники на буксах	-	-	-
S12	-	-	-	-	-	-	Питание от контактной сети

Математически меру сходства запишем в виде неотрицательной вещественной функции

$$C(R_i R_j) = \frac{2m(R_i \cap R_j)}{m(R_i) + m(R_j)}, \quad (2)$$

где  $m(R_i \cap R_j)$  – число общих видов в описаниях  $R_i$  и  $R_j$ ,  $m(R_i)$  и  $m(R_j)$  – число видов в описаниях  $R_i$  и  $R_j$ .

На основании таблицы 1 составляем видовые списки (таблица 2а).

Мера включения множества признаков  $i$ -го варианта в  $j$ -й:

$$W(R_j; R_i) = \frac{m(R_i \cap R_j)}{m(R_i)}. \quad (3)$$

Матрица мер включения представлена в таблице 2б.

Например, для вариантов  $R_1$  и  $R_2$  число видов в описаниях признаков  $m(R_1) = 6$ ,  $m(R_2) = 2$ ,  $m(R_1 \cap R_2) = 1$ , как это отражено в матрице мер пересечения (таблица 2в).

В этом случае мера включения множества признаков предлагаемого устройства  $R_1$  в прототип  $R_2$  будет равна:

$$W(R_2; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1)} = \frac{1}{6} = 17\%,$$

что отражено во второй строке первого столбца таблицы 2б.

Мера включения множества признаков прототипа  $R_2$  в предлагаемое устройство  $R_1$  будет равна:

$$W(R_1; R_2) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_2)} = \frac{1}{2} = 50\%,$$

что отражено в первой строке второго столбца таблицы 2б.

Элементы матрицы мер сходства (таблица 2г) вычислены по формуле (2). Соответственно, в таблице 2в первая строка  $m(R_1) = 6$ , вторая строка первый столбец  $m(R_1 \cap R_2) = 1$ , вторая строка второй столбец  $m(R_2) = 2$ , а в таблице 2г имеем следующее значение меры сходства:

$$C(R_1 R_2) = \frac{2m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1) + m(R_2)} = \frac{2 \cdot 1}{6 + 2} = 25\%$$

что отражено в первой строке первого столбца таблицы 2г.

Таблица 2

**Видовые списки и матрицы мер**

Table 2

*Viewlists and measure matrices*

Видовые списки

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
S1	0	1	0	0	0	1	0
S2	1	0	0	1	0	0	0
S3	1	0	0	1	0	0	1
S4	0	0	1	0	0	0	0
S5	1	0	0	1	0	0	0
S6	1	0	0	0	0	0	0
S7	0	0	0	0	1	0	0
S8	0	0	0	0	0	1	0
S9	1	1	1	1	1	1	1
S10	0	0	1	0	0	0	0
S11	1	0	0	1	0	0	0
S12	0	0	0	0	0	0	1

а)

Матрица мер включения

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1		50	33	100	50	33	67
R2	17		33	20	50	67	33
R3	17	50		20	50	33	33
R4	83	50	33		50	33	67
R5	17	50	33	20		33	33
R6	17	100	33	20	33		33
R7	33	50	33	40	33	33	

б)

Матрица мер пересечения

R1	6						
R2	1	2					
R3	1	1	3				
R4	5	1	1	5			
R5	1	1	1	1	2		
R6	1	2	1	1	1	3	
R7	2	1	1	2	1	1	3
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7

в)

Матрица мер сходства

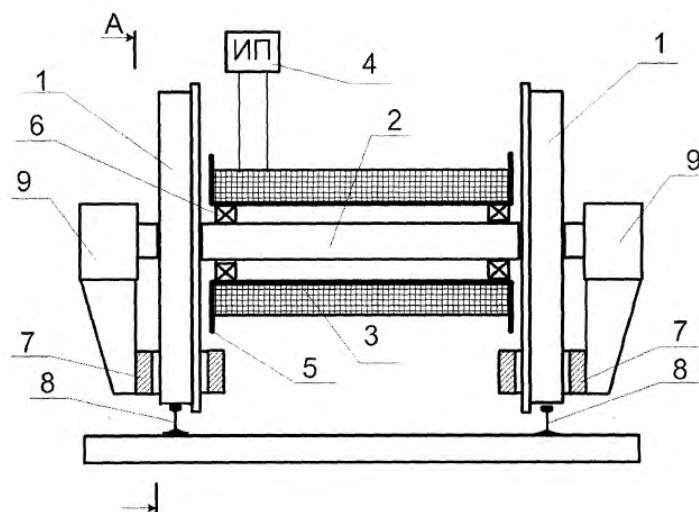
R2	25						
R3	22	40					
R4	91	29	25				
R5	25	50	40	29			
R6	22	80	33	25	40		
R7	44	40	33	50	40	33	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	

г)

Как видно из матрицы мер сходства (таблица 2г), наибольшее значение в столбце прототипа  $R_1 = 91$ , оказывается для строки прототипа  $R_4$ . Следовательно, близким к проектируемому объекту оказывается устройство, представленное в [7] (рис. 1), которое и выбираем в качестве прототипа.

## Результаты объектного моделирования устройства для предотвращения боксования

Анализ устройства [7] показывает, что его недостатком является то, что в нем не предусмотрено регулирование тока намагничивающей обмотки. При движении локомотива закрепленные на буксе ферромагнитные сердечники, через которые проходит магнитный поток, остаются неподвижными относительно колес, совершающих вращательное движение. Одновременно ферромагнитные сердечники движутся поступательно относительно неподвижных рельсов. Это приводит к изменению магнитного потока как в колесах, так и в рельсах, и к появлению в металле колес и рельсов вихревых токов, что создает дополнительные потери энергии на тягу локомотива. Отсутствие регулирования тока намагничивающей обмотки приводит к повышенному расходу энергии на создание магнитного потока и при этом не исключает возникновения боксования в случаях, когда при ухудшении условий сцепления (например, прохождение кривых участков пути) магнитный поток оказывается недостаточен для создания достаточной силы трения между колесом и рельсом.



**Рис. 1. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес транспортного средства с рельсами:**

1 - колесная пара; 2 - ось колесной пары; 3 - намагничивающая обмотка (катушка); 4 - источник напряжения;  
5 - корпус; 6 - подшипники; 7 - ферромагнитный сердечник; 8 - рельс; 9 - буксы

**Fig. 1. Device for the increasing of vehicle drive wheels' adhesion with rails:**

1 - wheelset; 2 - axle of wheelset; 3 - magnetizing winding coil; 4 - voltage source; 5 - case; 6 - bearings;  
7 - ferromagnetic core; 8 - rail; 9 - axle boxes

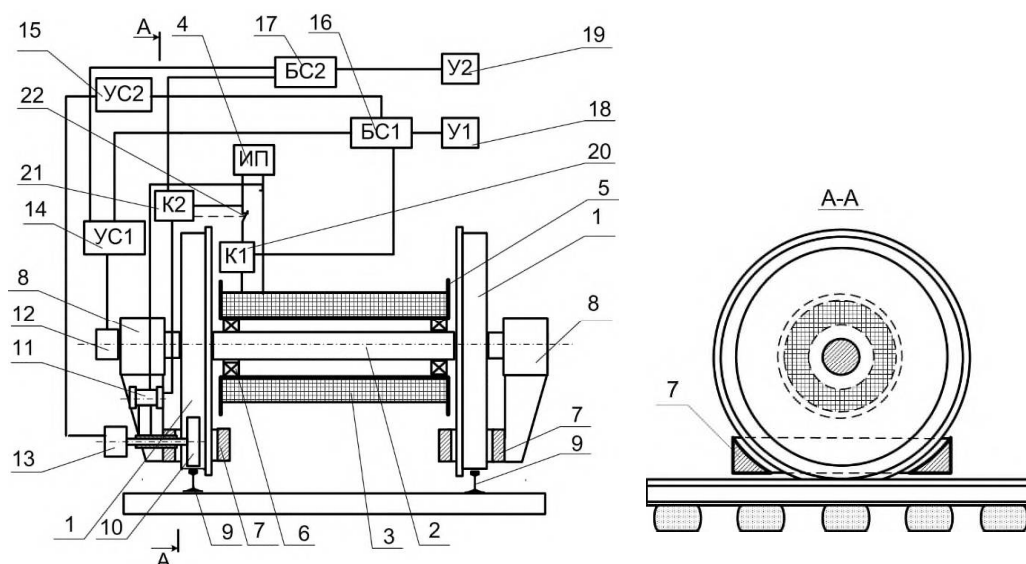
Маневровые тепловозы развивают расчетную силу тяги, близкую к предельной по условиям сцепления, при небольших скоростях (обычно 9...11 км/ч). При скоростях около 25 км/ч сила тяги маневрового локомотива составляет примерно 10% от сцепного веса локомотива, что практически исключает возможность боксования даже при рельсах, загрязненных маслом. Таким образом, для маневрового локомотива применение устройств, увеличивающих силу сцепления, требуется при скорости движения ниже 25 км/ч.

В предлагаемом устройстве предпринята попытка снизить потери энергии на тягу маневрового локомотива и уменьшить проскальзывание колес по рельсам посредством создания тока в обмотке лишь в условиях возможности появления боксования локомотива и регулирования его величины в зависимости от ухудшения условий сцепления.

Технический результат достигается тем, что предлагаемое устройство для предотвращения боксования локомотива дополнительно по отношению к устройству [7] содержит ролик, лежащий на рельсе и связанный с буксой, электропривод подъема ролика, два датчика частоты вращения, один из которых связан с осью колесной пары, а другой с роликом, два усилителя, соединенных с датчиками частоты вращения, при этом коэффициент усиления усилителя, соединенного с датчиком частоты вращения, связанного с осью колесной пары, выше коэффициента усиления усилителя, соединенного с датчиком частоты вращения, связанного с роликом в число, равное отношению диаметра колеса колесной пары к диаметру ролика, два блока сравнения, два блока уставки, два ключа, один

из которых находится в цепи питания катушки, а другой в цепи электропривода подъемника ролика и размыкатель.

Принцип действия предлагаемого устройства (рис. 2) предотвращения боксования локомотива следующий. При малой скорости движения маневрового тепловоза ролик 10 катится по рельсу 9 без проскальзывания, поскольку момент сопротивления, создаваемый датчиком частоты вращения 12, незначителен. Датчики частоты вращения 12 и 13 вырабатывают сигналы, пропорциональные скорости движения, которые поступают соответственно на входы усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2). Поскольку коэффициент усиления усилителя 14 (УС1), соединенного с датчиком частоты вращения 12, связанного с осью 2 колесной пары, выше коэффициента усиления усилителя 15 (УС2), соединенного с датчиком частоты вращения 13, связанного с роликом 10, в число, равное отношению, диаметра колеса 1 колесной пары к диаметру ролика 10, сигналы на выходах усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2) одинаковы. Сигналы с выхода усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2) поступают на входы блока сравнения 16 (БС1), на еще один вход блока сравнения 16 (БС1) поступает сигнал с выхода блока уставки 18 (У1), соответствующий заданному предельному значению скорости скольжения колеса 1 относительно рельса 9, и определяемый по результату тяговых испытаний. Если сигналы с выходов усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2) равны, или их разница меньше, чем величина сигнала с выхода блока уставки 18 (УС1), на выходе блока сравнения 16 (БС1) не возникает сигнала.



**Рис. 2. Предлагаемое устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами:**

- 1 – колесная пара; 2 – ось колесной пары; 3 – катушка; 4 – источник питания; 5 – каркас;  
6 – подшипники качения; 7 – ферромагнитные сердечники; 8 – буксы; 9 – рельсы; 10 – ролик;  
11 – электропривод ролика; 12, 13 – датчики частоты вращения; 14, 15 – усилители;  
16, 17 – блоки сравнения; 18, 19 – блоки уставки; 20, 21 – ключи; 22 – размыкатель

**Fig. 2. Synthesized device for the increasing of locomotive drive wheels' adhesion with rails:**

- 1 - wheelset; 2 - axle of wheelset; 3 - coil; 4 - power supply; 5 - frame; 6 - rolling bearings; 7 - ferromagnetic cores; 8 - axle boxes; 9 - rails; 10 - roller; 11 - electric drive of roller; 12, 13 - speed sensors; 14, 15 - amplifiers; 16, 17 - comparison blocks; 18, 19 - setpoint units; 20, 21 - switches; 22 - breaker

Сигнал с выхода усилителя 14 (УС1) также поступает на вход блока сравнения 17 (БС2). На другой вход блока сравнения 17 (БС2) поступает сигнал от блока уставки 19 (У2), соответствующий заданному предельному значению скорости, при которой возможно боксование маневрового тепловоза. Если величина сигнала с выхода усилителя 14 (УС1) меньше величины сигнала от блока уставки 19 (У2), на выходе блока сравнения 17 (БС2) сигнала не возникает.

При возникновении боксования соотношение частоты вращения датчиков частоты вращения 12 и 13 перестает быть обратно пропорциональным соотношению диаметров колеса 1 и ролика 10, и между сигналами с выходов усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2) возникает разница. Когда разница сигналов с выходов усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2) становится больше величины сигнала с выхода блока уставки 18 (У1), на выходе блока сравнения 16 (БС1) возникает сигнал, который поступает на вход ключа 20 (К1), приводит к

открытию ключа 20 (K1), и источник питания 4 (ИП) создает ток в катушке 3. В свою очередь ток в катушке индуктивности вызывает появление магнитного потока, проходящего через ось колесной пары 2, ферромагнитные сердечники 7 и контакт колес 1 с рельсами 9, что приводит к увеличению коэффициента сцепления колес 1 с рельсами 9 и прекращению буксования.

При увеличении скорости движения тепловоза сигнал с выхода усилителя 14 (УС1) становится больше, чем сигнал с выхода блока уставки 19 (У2), на выходе блока сравнения 17 (БС2) появляется сигнал, который поступает на вход ключа 21 (K2), приводит к открытию ключа 20 (K2), и ток от источника питания 4 (ИП) поступает на электропривод 11 подъема ролика 10. Электропривод 11 поднимает ролик 10, прекращая его контакт с рельсом 7 и тем самым предотвращая износ ролика 7 и возможность повреждения ролика 7 от ударов при прохождении неровностей пути на большой скорости. Одновременно ток от источника питания 4 (ИП) поступает на размыкатель 22, который размыкает цепь питания катушки 3 и предотвращает подачу в нее тока при появлении разности сигналов с выходов усилителей 14 (УС1) и 15 (УС2). Таким образом, при малой скорости движения маневрового тепловоза (при отсутствии буксования), в колесах и рельсах не создаются вихревые токи.

Технико-экономический эффект предлагаемого устройства заключается в том, что его применение для предотвращения буксования локомотива позволяет уменьшить потери, вызванные вихревыми токами, создаваемыми магнитным полем в колесах и рельсе, снизить расход энергии на создание магнитного поля, благодаря тому, что магнитное поле создается только при появлении возможности буксования колес, а значения тока поддерживаются на минимально-необходимом уровне, а также уменьшить вероятность буксования за счет прогнозирования возможности его возникновения.

### Заключение

Предложенный метод объектного моделирования повышает степень автоматизации проектирования и позволяет разрабатывать новые технические решения, направленные на предотвращение буксования локомотива. Концептуально метод основан на использовании заранее известных и широко используемых при проектировании элементов, что уменьшает время разработчика на поиск в каталогах, что характерно, например, для методики, изложенной в [8]. Ожидаемый экономический эффект заключается в уменьшении непроизводительных издержек, вызванных ошибками проектирования.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

### References:

1. Воробьев, В.И. Поиск рациональных технических решений тепловоза для восточного полигона / В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, О.В. Измеров, Е.В. Николаев // Вестник Брянского государственного технического университета. 2021. – № 10 (107). – С. 53 – 63.
2. Космодамианский, А.С. Системы скалярного управления тяговым асинхронным двигателем / В.И. Воробьев, А.А. Пугачев // Электротехника, 2016. – № 9. – С. 44 – 50.
3. Маслов, М.А. Совершенствование конструкции магнитных усилителей сцепления колёс локомотива с рельсами при осевом расположении индуктора / М.А. Маслов, В.О. Корчагин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения, 2018. – №4. – С. 71 – 74.
4. Воробьев, В.И. Метод объектного моделирования при разработке патентоспособных конструкций узлов тягового привода / В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, С.О. Копылов, Е.В. Николаев // Автоматизация и моделирование в проектировании и управлении, 2021. – № 3-4 (13-14). – С. 4 – 13.
5. Космодамианский, А.С. Применение объектной модели для конструирования тягового привода локомотива / А.С. Космодамианский, Д.Я. Антипин, М.А. Маслов, Д.Н. Шевченко // Вестник Брянского государственного технического университета, 2019. – № 10 (83). – С. 39 – 47.
1. Vorobiev V.I., Pugachev A.A., Izmerov O.V., Nikolaev E.V. Search for Ways to Improve the Traction Properties of Locomotives and Traction Drive Design. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2021; 10 (107): 53-63.
2. Kosmodamianskiy A.S., Vorobiev V.I., Pugachev A.A. Scalar Control Systems for a Traction Induction Motor. Russian Electrical Engineering. 2016; 9:44-50.
3. Maslov M.A., Korchagin V.O. Improvement of Design of Magnetic Amplifiers of Locomotive Wheels Coupling with Rails at Axial Location of Inductor. Bulletin of Rostov State Transport University. 2018; 4:71-74.
4. Vorobiev V.I., Pugachev A.A., Kopylov S.O., Nikolaev V.O. The Method of Object Modeling in the Development of Patentable Designs of Traction Drive Mechanisms. Automation and Modeling in Design and Management. 2021; 3-4(13-14):4-13.
5. Kosmodamianskiy A.S., Antipin D.Ya., Maslov M.A., Schevchenko D.N. Object Model Use For Locomotive Traction Drive Design. Bulletin of Bryansk State Technical University. 2019; 10(83):39-47.

6. Копылов, С.О. Поиск патентоспособных решений узлов подвешивания тягового электродвигателя / С.О. Копылов, М.А. Маслов, В.О. Корчагин // Совершенствование энергетических машин: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Роголёва, В.И. Воробьева – Брянск: БГТУ, 2019. – С. 85 – 91.
7. Патент на полезную модель № 163519 РФ. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами / Воробьев В.И., Новиков В.Г., Измеров О.В., Корчагин В.О., Авдащенко В.С., Моспанова М.Ю. Оpubл. 20. 07. 2016, бюл. № 20.
8. Booch G. [et al.] Object-Oriented Analysis and Design with Sample Applications. Addison-Wesley. 2007.
6. Kopylov S.O., Maslov M.A., Korchagin V.O. Search for Patentable Solutions of Suspension Units for Traction Motors. Improvement of transport vehicles. 2019: 85-91.
7. Utility model patent No. 202706 of the Russian Federation. Compensation Coupling Device of the Locomotive Drivers. Vorobiev V.I., Novikov V.G., Izmerov O.V., Korchagin O.V., Avdaschenko V.S., Mospanova M.Yu. Publ. 20.07.2016, bul. No. 20.
8. Booch G. [et al.] Object-Oriented Analysis and Design with Sample Applications. Addison-Wesley. 2007.

#### **Информация об авторах:**

##### **Андрей Сергеевич Космодамианский**

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта, ORCID:0000-0002-7835-3039.

##### **Сергей Иванович Баташов**

кандидат технических наук, доцент кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта.

##### **Евгений Владимирович Николаев**

старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта.

#### **Information about authors:**

##### **Andrey Sergeevich Kosmodamianskiy**

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Traction rolling stock» of the Russian University of Transport, ORCID-ID: 0000-0002-7835-3039.

##### **Sergey Ivanovich Batashov**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department «Traction rolling stock» of the Russian University of Transport.

##### **Eugeni Vladimirovich Nikolaev**

Senior lecturer of the Department «Traction rolling stock» of the Russian University of Transport.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.  
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.  
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья поступила в редакцию 10.05.2022; одобрена после рецензирования 20.05.2022; принята к публикации 03.06.2022.**

**The article was submitted 10.05.2022; approved after reviewing 20.05.2022; accepted for publication 03.06.2022.**

**Рецензент – Пугачев А.А., доктор технических наук, профессор, Брянский государственный технический университет.**

**Reviewer – Pugachev A.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, Bryansk State Technical University.**