

УДК 629.4.027.4: 656.2

DOI: 10.30987/article\_5db95e85cdf5d2.86330308

А.С. Космодамианский, Д.Я. Антипин, М.А. Маслов, Д.Н. Шевченко

## ПРИМЕНЕНИЕ ОБЪЕКТНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ПРИВОДА ЛОКОМОТИВА

Рассмотрена задача выбора объектной модели технических решений для узла тягового привода локомотива. Предложена модель локомотива в виде иерархии множеств описаний тягового привода при разной степени его схематизации и библиотеки, содержащей описания типовых объектов, представленных в виде иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами. Мо-

дель апробирована при синтезе резинокордной муфты тепловоза 2ТЭ121, обладающей повышенной надежностью.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, объектная модель, тяговый привод локомотива, упругая муфта, автоматизация проектирования.

A.S. Kosmodamiansky, D.Ya. Antipin, M.A. Maslov, D.N. Shevchenko

## OBJECT MODEL USE FOR LOCOMOTIVE TRACTION DRIVE DESIGN

The paper reports the consideration of the problem in choice and use of the locomotive traction drive design procedure giving possibilities both in properties and parts modeling, and in the automated identification of design solutions of latter. The object model of a design solution as a structure including the totality of object descriptions allowing the synthesis of engineering solution models as a multitude of interrelated elements described in the libraries of well-known designs.

The method differs from the earlier ones in which the creation of new solutions is stipulated by the definition of a prototype and then by its development in accordance with the tendencies revealed empirically. In the method developed the synthesis of a design object model is based on engineering system classifications.

### Введение

Как отмечено в [1-3], на вновь создаваемых локомотивах имеются выходы из строя различных узлов колесно-моторного блока. Использование привода с интеграцией ТЭД и осевого редуктора (например, электровоз 2ЭС10) снижает технологичность изготовления привода, повышает требования к точности обработки деталей и трудоемкость ремонта. Сложность поиска рациональных решений привода состоит в том, что САПР используют модели, не обеспечивающие распознавание технических решений, и процесс поиска конструктивных аналогов остается субъективным.

The integrated object model of a traction drive involves two parts: first, the multitude hierarchy of the traction drive description for different methods of an engineering solution schematization, secondly, a library which has descriptions of standard objects in the form of a hierarchal structure of functional interaction between elements (I-graph). The search of similar objects in the library takes place at the level of the definition of drive functional elements with the aid of the matrices of similarity measures. There are given offers for the increase of reliability and loading capacity of a rubber-cord clutch of a locomotive traction drive. There are obtained three patents for utility models and an invention patent on the solutions offered.

**Key words:** simulation, object model, locomotive traction drive, elastic clutch, design automation.

В [4; 5] описаны методы проектирования с применением алгоритмических (согласно классификации [6]) моделей процесса проектирования. Однако эмпирический характер указанных методов не дает однозначных критериев выбора наилучшего алгоритма решения задачи, а сами алгоритмы создавались в расчете на их неавтоматизированное использование. Таким образом, проблема состоит в отсутствии эффективной модели, позволяющей распознавать и классифицировать разные технические решения. Один из вариантов решения указанной проблемы приведен в статье.

### Анализ известных методов

В [7] предложена концепция, согласно которой техническое решение можно формально представить пятеркой

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

Здесь множество  $\varphi = \{S_1, \dots, S_p\}$  – состав системы, где  $S_1, \dots, S_p$  – внутренние элементы  $C$ , множество  $R = \{R_1, \dots, R_q\}$  –

окружающая среда (надсистема), где  $R_1, \dots, R_q$  – внешние элементы  $C$ , множество  $A^{(s)}$  – все  $n$ -арные соотношения на элементах (внутренняя структура системы  $C$ ), а множества  $A^{(SR)}$  и  $A^{(RS)}$  – все  $n$ -арные соотношения между элементами множеств  $\varphi$  и  $R$  (структура связи взаимодействия систем со средой).

Модель технического решения (в данном случае тягового привода) является системой из множеств описаний реальных объектов множества. Отображение  $\alpha: \varphi' \rightarrow \varphi$  считается гомоморфным отображением множества реальных объектов  $\varphi' = \{S'_1, \dots, S'_p\}$  на множество их описаний  $\varphi = \{S_1, \dots, S_p\}$ , если  $\varphi$  имеет тот же состав, что и множество  $\varphi'$ . Отображение системы  $C' = C(\varphi', R', A^{(s')}, A^{(RS')}, A^{(SR')})$  на систему  $C = C(\varphi, R, A^{(s)}, A^{(RS)}, A^{(SR)})$  считается заданным, если задана пятерка отображений:  $\alpha_1: \varphi' \rightarrow \varphi$ ;  $\alpha_2: R' \rightarrow R$ ;  $\alpha_3: A^{(s')} \rightarrow A^{(s)}$ ;  $\alpha_4: A^{(RS')} \rightarrow A^{(RS)}$ ;  $\alpha_5: A^{(SR')} \rightarrow A^{(SR)}$ . Таким образом, можно создавать математические модели конструкции, представляющие собой наборы связанных друг с другом элементов, входящих в библиотеки известных решений. К примеру, резинокордную муфту [8] (рис. 1) можно представить как систему из подконструкций «Резинокордный элемент», «Наружный фланец», «Внутренний фланец», «Нажимное кольцо», «Проставочное кольцо», «Болт», «Дистанционная втулка», «Гайка», соединенных с другими конструкциями и друг с другом.

Основной недостаток метода [7] состоит в том, что совершенствование прототипа ведется путем эмпирического анализа тенденций развития, которые не всегда могут отражать развитие потребностей

### Предлагаемая модель

Как утверждает в [6; 7], объектная модель технической системы основана на классификациях технических систем. Ранее авторами была предложена классификация тяговых приводов рельсового подвижного состава [8]; в [9] авторы разработали метод синтеза классификаций на

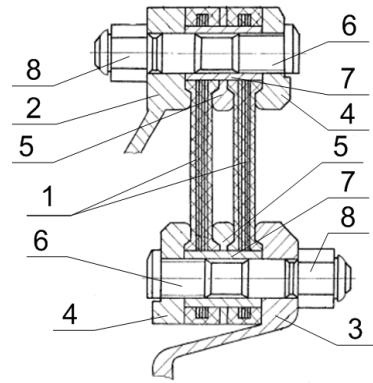


Рис. 1. Разбиение на подконструкции резинокордной муфты тягового привода:  
1 – резинокордный элемент; 2 – наружный фланец; 3 – внутренний фланец; 4 – нажимное кольцо; 5 – проставочное кольцо; 6 – болт; 7 – дистанционная втулка; 8 – гайка

в данном техническом решении, возможностей технологии производства, а также противоречий требований к узлу или детали. Предложенные в [7] характеристики создаваемых решений по признакам «банальности» и «экзотичности», деления их на «сильные» и «слабые» основаны на степени внешних отличий и не отражают новизны как степени недостатка информации, требуемой для разработки конструкции. Еще одним недостатком метода [7] является то, что эволюция технических решений рассматривается как некий независимый от конструктора процесс, подчиненный эмпирически исследуемым закономерностям. Такой подход может привести к абсолютизации эмпирических трендов в изменении конструкции, принимаемых за некую объективную неизбежность, и, как результат, к ошибочным решениям. Так, в 80-х годах считалось, что тяговый привод с опорно-осевым подвешиванием двигателя бесперспективен, однако до настоящего времени он продолжает широко применяться на транспорте.

базе предложенной ими матрицы синтеза технических решений [10]. Отсюда следует, что объектная модель, или, иначе, модель, описывающая структуру объектов, из которых состоит система, их атрибуты, операции, взаимосвязи с другими объектами и соответствующая прагматике разра-

батываемой системы [11], должна использовать алгоритмическую модель феномена проектирования как основу классификации и увеличить степень автоматизации проектирования путем стандартизации элементов и комплектующих изделий. Для достижения данной цели в общем случае объектная модель тягового привода локомотива состоит из двух частей. Первая включает в себя иерархию множеств описаний тягового привода для разной степени его схематизации, а вторая - библиотеку в виде множества описаний типовых объектов, представленных в форме иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами (И-графа). На уровне определения функциональных элементов привода осуществляется поиск подобных объектов в библиотеке с помо-

щью матриц мер сходства. После определения близких прототипов производится поиск в библиотеке данных о прототипах для выяснения недостатков последних, после чего выполняется поиск решения без недостатков и проектирование элементов конструкции на базе нового решения.

Для пояснения изложенного метода рассмотрим пример распознавания сходных технических решений для резинокордной муфты, изображенной на рис. 1. В таблице описаны признаки условного проектируемого варианта муфты и ряда известных конструкций. На рис. 2а представлены списки видов на основе описаний признаков, где 1 – наличие признака, 0 – его отсутствие для данного варианта муфты.

Таблица 1

Признаки вариантов резинокордной муфты

	R <sub>1</sub> Проект	R <sub>2</sub> ТЭ125	R <sub>3</sub> ЭП1	R <sub>4</sub> CENTA- DISC-C	R <sub>5</sub> ТЭП150	R <sub>6</sub> 2ТЭ121	R <sub>7</sub> ДЭЛ-02
S <sub>1</sub>	Цельный РКЭ	-	Цельный РКЭ	Цельный РКЭ	-	Цельный РКЭ	-
S <sub>2</sub>	-	Разрезной РКЭ	-	-	Разрезной РКЭ	-	Разрезной РКЭ
S <sub>3</sub>	Цельный фланец	-	Цельный фланец	Цельный фланец	-	Цельный фланец	-
S <sub>4</sub>	-	Составной фланец	-	-	Составной фланец	-	Составной фланец
S <sub>5</sub>	РКЭ параллельны	РКЭ параллельны	РКЭ параллельны	-	РКЭ параллельны	РКЭ параллельны	РКЭ параллельны
S <sub>6</sub>	-	-	-	РКЭ последовател.	-	-	-
S <sub>7</sub>	Плоские торцы РКЭ	Плоские торцы РКЭ	Плоские торцы РКЭ	-	Плоские торцы РКЭ	Плоские торцы РКЭ	Плоские торцы РКЭ
S <sub>8</sub>	-	-	-	Зубчатые торцы РКЭ	-	-	-
S <sub>9</sub>	Торцовое крепление	Торцовое крепление	-	Торцовое крепление	Торцовое крепление	Торцовое крепление	Торцовое крепление
S <sub>10</sub>	-	-	Крепление посередине	-	-	-	-
S <sub>11</sub>	Гладкие болты	Гладкие болты	Гладкие болты	Гладкие болты	-	Гладкие болты	Гладкие болты
S <sub>12</sub>	-	-	-	-	Болты с поясками	-	-

Пусть мера сходства представляет собой неотрицательную вещественную функцию

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

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  $R_j$ . Допустим, что  $R_1$  - описание проектируемой муфты,  $R_2 \dots R_7$  - описания найденных аналогов,  $S_1 \dots S_{12}$  - признаки объектов (таблица). По данным таблицы составляем видовые списки (рис. 2а).

Пусть множества  $m(R_i)$ ,  $m(R_j)$  - количество признаков  $i$ -го и  $j$ -го вариантов в видовых списках, множество  $m(R_i \cap R_j)$  - количество признаков, одновременно имеющих у  $i$ -го и  $j$ -го вариантов. Отсюда мера включения множества признаков  $i$ -го варианта в  $j$ -й

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

а мера включения множества признаков  $j$ -го варианта в  $i$ -й

$$C(R_1 R_2) = \frac{2m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1) + m(R_2)} = \frac{2 \cdot 4}{6 + 6} = \frac{8}{12} = 67\%$$

(1-я строка, 1-й столбец матрицы на рис. 2г).

Из матрицы мер сходства (рис. 2г) следует, что максимальное значение в столбце прототипа  $R_1$ , равное 100, соответствует строке прототипа  $R_6$ . Это значит, что близкой к проектируемому объекту оказывается муфта тепловоза 2ТЭ121, которая используется в качестве прототипа. В рассмотренном примере число видов в описаниях всех признаков получилось одинаковым и равным 6, но в общем слу-

$$W(R_i; R_j) = \frac{m(R_i \cap R_j)}{m(R_j)} \quad (4)$$

В соответствии с (3) и (4) вычисляем значения элементов матрицы мер включения (рис. 2б) в процентах, округляя результат до целых чисел.

Элемент матрицы мер пересечения (рис. 2в) в  $i$ -й строке и  $j$ -м столбце есть  $m(R_i \cap R_j)$ , отсюда  $m(R_i \cap R_i) = m(R_i)$ . Элементы матрицы мер сходства (рис. 2г) определены по формуле (2).

Для вариантов  $R_1$  и  $R_2$  число видов в описаниях признаков  $m(R_1)=6$ ,  $m(R_2)=6$ ,  $m(R_1 \cap R_2) = 4$ . Тогда

$$W(R_2; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1)} = \frac{4}{6} = 67\%$$

(2-я строка, 1-й столбец матрицы на рис. 2б),

$$W(R_1; R_2) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_2)} = \frac{4}{6} = 67\%$$

(1-я строка, 2-й столбец матрицы на рис. 2б). Соответственно в матрице на рис. 2в 1-я строка  $m(R_1)=6$ ; 2-я строка, 1-й столбец  $m(R_1 \cap R_2) = 4$ ; 2-я строка, 2-й столбец  $m(R_2)=6$  и т.п., а в матрице на рис. 2г

чае эта величина будет различна для разных вариантов конструкции.

Затем в конструкции муфты определяется подконструкция, отличающая ее от прототипа, и для нее аналогичным образом производится поиск прототипа-подконструкции. Таким образом можно автоматизированно генерировать подсказки типовых решений, решая проблему поиска элементов в каталогах (например, в [4; 5]).

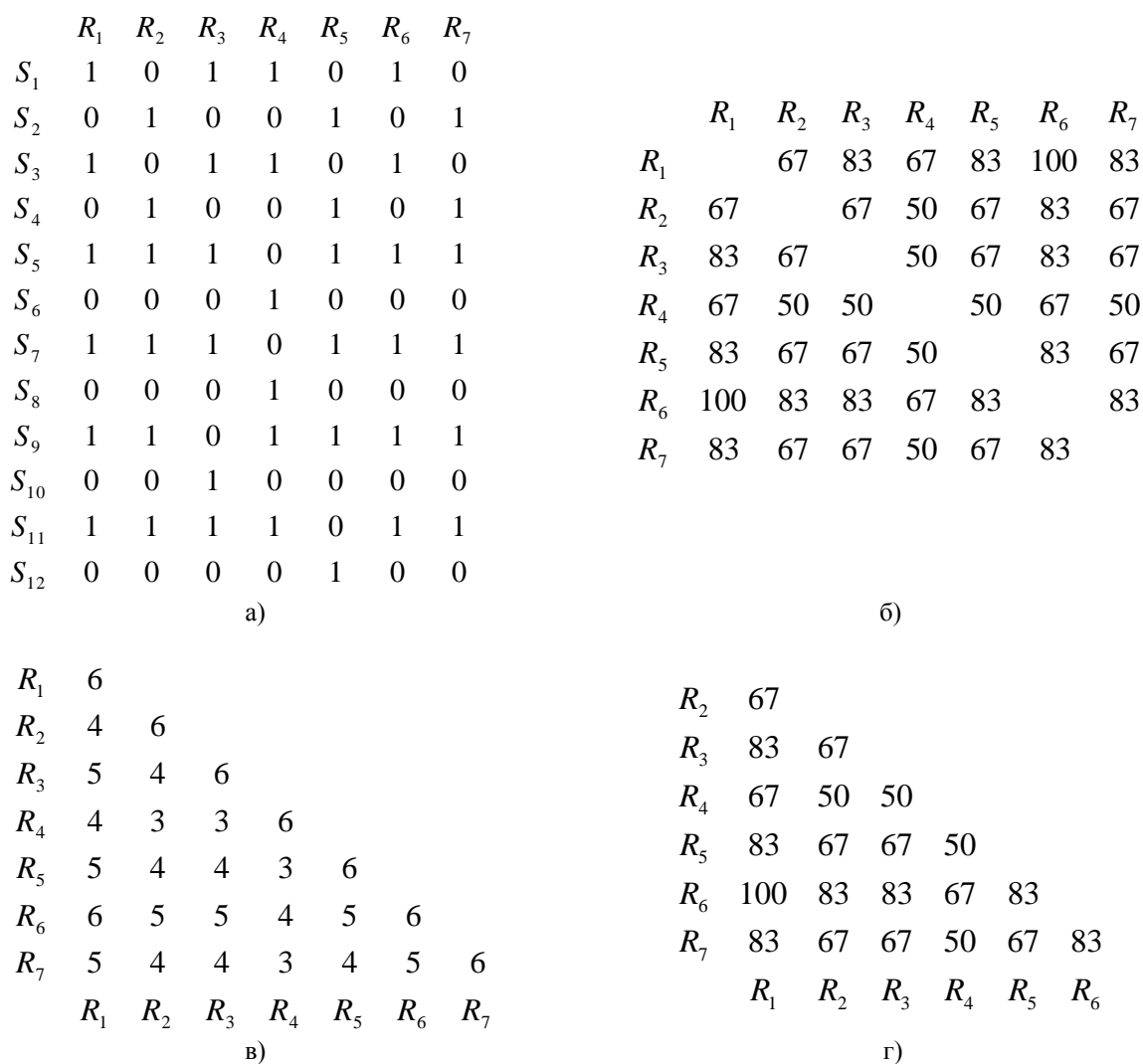


Рис. 2. Видовые списки и матрицы мер: а - видовые списки; б - матрица мер включения; в - матрица мер пересечения; г - матрица мер сходства

### Использование объектной модели для устранения недостатков конструкции

С прототипом в БД связывается справочная текстовая и графическая информация об опыте освоения производством и эксплуатации с описанием выявленных недостатков, возникавших проблем, данных исследований и т.п. Известно, что основной проблемой муфты теплового 2ТЭ121 является то, что ее несущая способность ограничена, а при сборке муфты возникали дефекты, вызванные нарушением технологии затяжки болтов крепления, что приводило к ослаблениям болтов в эксплуатации и разрывам резинокордных элементов. Таким образом, предложенная объектная модель позволяет заблаговременно прогнозировать возможные недостатки конструкции и искать пути решения проблем с помощью алгоритмических методов поиска.

Рассмотрим пример решения указанной выше проблемы. Будем исходить из необходимости повысить надежность муфты в эксплуатации и увеличить ее несущую способность. Стоит учитывать противоречивые требования объекта исследования: обеспечение требуемого усилия затяжки болтов при монтаже муфты, с одной стороны, и технологическая простота ее монтажа - с другой. Это требование обусловлено тем, что болты одновременно выполняют функции деталей, обеспечивающих предварительную деформацию резиновых элементов и деталей крепления муфты к фланцам. В случае, когда эти функции будут выполнять различные детали, конструкция будет являться непротиворечивой (рис. 3).

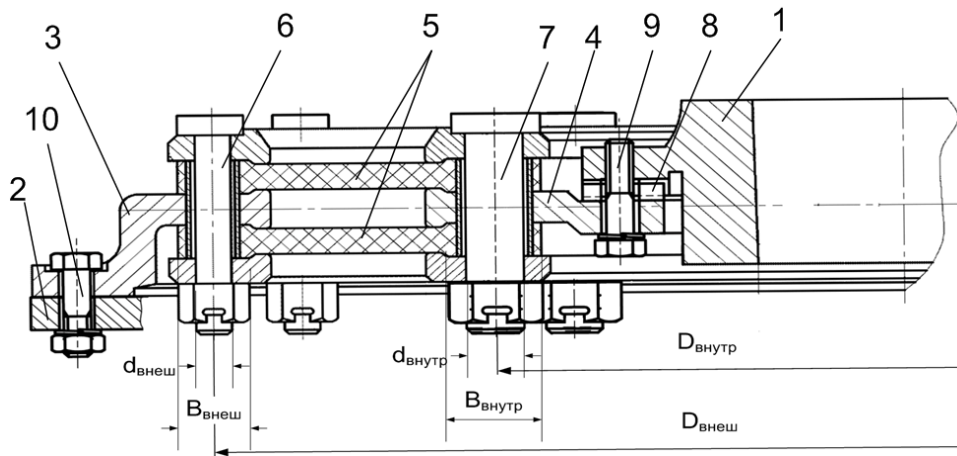


Рис. 2. Предложенная конструкция резинордной муфты:

- 1 – фланец на валу ТЭД; 2 – фланец на валу редуктора; 3 – наружный фланец муфты;  
 4 – внутренний фланец муфты; 5 – резинордные элементы;  
 6 – болты наружного фланца; 7 – болты внутреннего фланца;  
 8 – шлицы; 9 – болт крепления муфты к фланцу на валу ТЭД;  
 10 – болт крепления муфты к фланцу на валу редуктора

Крутящий момент передается за счет сил трения между резинордными элементами и фланцами муфты, а также торцевыми шлицами внутреннего фланца и болтовым соединением внешнего фланца. Торцевые шлицы на внутреннем фланце и дополнительное болтовое соединение на внутреннем и наружном фланцах позволяют производить затяжку резинордных элементов и проверку несущей способности муфты до монтажа с тяговым приводом, что снижает вероятность выхода из строя в процессе эксплуатации. В связи с этим обеспечивается возможность автоматизации процесса затяжки [12]. Конструкция муфты защищена патентом РФ на изобретение № 2527254 [13], а ее модификация с центрирующим пояском для фланца 4 - патентом РФ на полезную модель № 166918 [14].

Дальнейшим развитием конструкции резинордной муфты является разрешение противоречия между необходимостью повышения несущей способности муфты и

ограничениями по условиям проскальзывания нажимных колец по муфте; при этом лимитирующими оказываются внутренние бортовые зоны резинордных элементов. Известно, что при разработке муфты для тепловоза 2ТЭ121 были использованы параметры углового перекоса муфт для завышенной величины вертикального перемещения буксы. В связи с этим предложено для повышения величины передаваемых муфтой нагрузок площади поверхностей внутренней и внешней бортовых зон резинордного элемента выполнять равными друг другу, а диаметры болтов, соединяющих внешние и внутренние прижимные кольца соответственно с внешним и внутренним фланцами, выполнять обратно пропорциональными средним диаметрам бортовых зон, на которых расположены болты. Усовершенствованная конструкция резинордного элемента защищена патентами РФ на полезную модель № 157519 и 173560 [16; 17].

## Выводы

1. В результате анализа известных методов моделирования новых технических решений механической части тягового привода локомотива установлено, что их основным недостатком является использование формально-эмпирических

тенденций для прогнозирования путей дальнейшего развития конструкции.

2. Разработана улучшенная объектная модель технического решения, представляющая собой иерархию множеств описаний при разной степени схематизации тех-

нического решения и библиотеку описаний типовых объектов в виде иерархической структуры функционального взаимодействия между элементами (И-графа). Модель дает возможность автоматизировать поиск подобных решений в виде типовых конструкций из библиотеки описаний путем определения матриц мер сходства. Данная модель позволяет уменьшить количество ошибок проектирования путем

создания новой конструкции на базе изученных и технологически отработанных аналогов и устранения недостатков прототипов.

3. Применение предложенной объектной модели позволило получить новые патентоспособные решения резинокордной муфты тягового привода. Получены патент на изобретение и три патента на полезные модели.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Ю.Н. Повышение надежности узлов тягового привода пассажирских электровозов ЭП1М и ЭП10 / Ю.Н. Соколов, А.С. Пономарев, В.Е. Дегтярев // Локомотив-информ. – 2010. – № 6. – С. 4-11.
2. Вахромеева, Т.О. Снижение динамических нагрузок в тяговых приводах электровозов с рамным подвешиванием тяговых двигателей и карданными муфтами: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Т.О. Вахромеева. – М., 2014. – 24 с.
3. Корнев, А.М. Модернизация системы подвешивания ТЭД электровоза постоянного тока 2ЭС6 / А.М. Корнев, Д.В. Липунов // Эксплуатационная надежность локомотивного парка и повышение эффективности тяги поездов. – Омск: ОмГУПС, 2016. – С. 237-242.
4. Koller, R. Konstruktionsmethode fur den Maschinen-, Gerate- und Apparatebau / R. Koller. – Springer-Verlag, 1976. – 191 p.
5. Roth, K. Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1. Konstruktionslehre / K. Roth. – Berlin: Springer, 2000. – 440 p.
6. Аверченков, В.И. Основы математического моделирования технических систем / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. – Брянск: Изд-во БГТУ, 2004. – 271 с.
7. Antipin, D.Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D.Ya. Antipin, V.I. Vorobiev, S.O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. – 2018.
8. Никитин, С.В. Моделирование новых технических решений локомотивов / С.В. Никитин. – Брянск: БИТМ, 1988. – 84 с.
9. Тепловоз ТЭП150. Руководство по эксплуатации. Ч. 2. Альбом иллюстраций. 2060.00.00.000 РЭ1 / Лугансктепловоз. – Луганск, 2004. – 117 с.
10. Измеров, О.В. Кибернетические аспекты методов синтеза электромеханических систем: монография / О.В. Измеров [и др.]; под ред. А.С. Космодамианского. – Орел: Госуниверситет - УНПК, 2015. – 234 с.
11. Буч, Гради. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений: [пер. с англ.] / Гради Буч, Роберт А. Максимчук, Майкл У. Энгл, Бобби Дж. Янг, Джим Коналлен, Келли А. Хьюстон. - 3-е изд. - М.: Вильямс, 2008. – 720 с.
12. Принцип системности при модернизации тягового привода электровозов с коллекторными электродвигателями / С.Н. Злобин, О.В. Измеров, О.В. Дорофеев, М.А. Маслов // Мир транспорта и технологических машин. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. - № 4 (59). - С. 71-79.
13. Пат. на изобрет. 2527254 Российская Федерация, МПК F16D 3/78. Компенсационная муфта тягового привода локомотива / Н.М. Луков, О.Н. Ромашкова, А.С. Космодамианский, Ю.В. Попов, Н.Н. Стрекалов, С.А. Серин, Г.С. Михальченко, В.И. Воробьев, В.Г. Новиков, О.В. Измеров, А.А. Пугачев. - Оpubл. 27.08.14, Бюл. № 24.
14. Пат. на полез. модель 166918 Российская Федерация, МПК F16D 3/78, B61C 9/00. Компенсационная муфта тягового привода локомотива / Д.Я. Антипин, В.И. Воробьев, Д.А. Бондаренко, А.А. Пугачев, С.Г. Цыганков, О.В. Измеров, С.Г. Шорохов. - Оpubл. 10.12. 16, Бюл. № 34.
15. Резинокордная муфта тягового привода тепловоза 2ТЭ121 / В.И. Власов, Е.М. Боговявленский, Ю.И. Соколенко, Ю.М. Студенцов // Результаты испытаний тепловоза 2ТЭ121: тр. ВНИТИ. - Коломна, 1985. - Вып. 62. - С. 131-135.
16. Пат. на полез. модель 157519 Российская Федерация, МПК F16D 3/78. Оболочка резинокордная для высокоэластичной муфты / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, О.В. Дорофеев, С.Н. Злобин. - Оpubл. 10.12.15, Бюл. № 34.
17. Пат. на полез. модель 173560 Российская Федерация, МПК B61C 9/00, F16D 3/78. Компенсационная муфта тягового привода локомотива / В.И. Воробьев, Д.Я. Антипин, О.В. Измеров, А.С. Новиков, А.С. Космодамианский, С.Г. Шорохов, М.В. Мануева. - Оpubл. 30.08.17, Бюл. № 25.
1. Sokolov, Yu.N. Reliability increase in traction drive of passenger electric locomotives EP1M and EP10 / Yu.N. Sokolov, A.S. Ponomaryov, V.E. Degtyaryov // *Locomotive-Inform.* – 2010. – No.6. – pp. 4-11.

2. Vakhromeeva, T.O. *Dynamic Load Decrease in Electric Locomotives with Frame Suspension of Traction Engines and Cardan Clutches* : author's abstract of Can. Sc. Tech. Thesis / T.O. Vakhromeeva. – М., 2014. – pp. 24.
3. Kornev, A.M. Updating of TED suspension system of DC electric locomotive 2ES6 / A.M. Kornev, D.V. Lipunov // *Operation Reliability of Locomotive Fleet and Effectiveness Increase in Train Traction*. – Omsk: OmsUC, 2016. – pp. 237-242.
4. Koller, R. *Konstruktionsmethode für den Maschinen-, Geräte- und Apparatebau* / R. Koller. – Springer-Verlag, 1976. – 191 p.
5. Roth, K. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen. Band 1. Konstruktionslehre* / K. Roth. - Berlin: Springer, 2000. – 440 p.
6. Averchenkov, V.I. *Fundamentals of Engineering System Simulation* / V.I. Averchenkov, V.P. Fyodorov, M.L. Heifets. – Bryansk: BSTU Publishers, 2004. – pp. 271.
7. Antipin, D.Ya. Application of the object model in the modelling process of locomotive drive units / D.Ya. Antipin, V.I. Vorobiev, S.O. Kopylov // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. - 2018.
8. Nikitin, S.V. *Modeling of Locomotive New Engineering Solutions* / S.V. Nikitin. – Bryansk: BITM, 1988. – pp. 84.
9. *Diesel Locomotive TEP150. Application Guide. Part 2. Illustration Album.* 2060.00.00.000 RE1 / Lugansk-teplovoy, 2004. – pp. 117.
10. Izmerov, O.V. *Cybernetic Aspects of Methods of Electric Engineering System Synthesis*: monograph / O.V. Izmerov [et al.]; under the editorship of A.S. Kosmodamiansky. – Orel: State University-ESPC, 2015. – pp. 234.
11. Buch, Grady. *Object-directed Analysis and Design with Application Examples*: [transl. from Engl.] / Grady Butch, Robert A. Maximchuk, Michael W. Engl, Bobby J. Young, Jim Conallen, Kelly A. Houston. – 3rd Edition. – М.: Williams, 2008. – pp. 720.
12. System principle at updating traction drive of electric locomotives with collector-type electric engines / S.N. Zlobin, O.V. Izmerov, O.V. Dorofeev, M.A. Maslov // *World of Transport and Engineering Machines*. – Orel: Turgenev State University, 2017. – No.4 (59). – pp. 71-79.
13. Invention Pat. 2527254 the Russian Federation, IPC F16D 3/78. *Compensation Clutch of Locomotive Traction Drive* / N.M. Lukov, O.N. Romashkova, A.S. Kosmodamiansky, Yu.V. Popov, N.N. Strekalov, S.A. Serin, G.S. Mikhailchenko, V.I. Vorobiyov, V.G. Novikov, O.V. Izmerov, A.A. Pugachyov. – published: 27.08.14, Bull. No.24.
14. Pat. for Utility Model 166918 the Russian Federation, IPC F16D 3/78, B61C 9/00. *Compensation Clutch of Locomotive Traction Drive* / D.Ya. Antipin, V.I. Vorobiyov, D.A. Bondarenko, A.A. Pugachyov, S.G. Tsygankov, O.V. Izmerov, S.G. Shorokhov. – published: 10.12.16, Bull. No.34.
15. Rubber-cord clutch of traction drive of diesel locomotive 2TE121/ V.I. Vlasov, R.M. Bogoyavlensky, Yu.I. Sokolenko, Yu.M. Studentsov // *Test Results of Diesel Locomotive 2TE121*: Proceedings of AR-RITI. – Kolomna, 1985. – Edition 62. – pp. 131-135.
16. Pat. for Utility Model 157519 the Russian Federation, IPC F16D 3/78. *Rubber-cord Shell for High-elastic Clutch* / V.I. Vorobiyov, O.V. Izmerov, O.V. Dorofeev, S.N. Zlobin. – published: 10.12.15, Bull. No.34.
17. Pat. for Utility Model 173560 the Russian Federation, IPC B61C 9/00, F16D 3/78. *Compensation Clutch of Locomotive Traction Drive* / V.I. Vorobiyov, D.Ya. Antipin, O.V. Izmerov, A.S. Novikov, A.S. Kosmodamiansky, S.G. Shorokhov, M.V. Malueva. – published: 30.08.17, Bull. No.25.

Ссылка для цитирования:

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. – С. 39 – 46. – DOI: 10.30987/article\_5db95e85cdf5d2.86330308.

Статья поступила в редакцию 7.10.19

Рецензент: д.т.н., профессор Акционерного общества «Научно-исследовательский и конструкторско-технологический институт подвижного состава (АИЦ «ВНИКТИ»), член редсовета журнала «Вестник БГТУ»

Волохов Г.М.

Статья принята к публикации 18. 10. 19.

#### Сведения об авторах:

Космодамианский Андрей Сергеевич, д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Тяговый подвижной состав» РУТ (МИИТ), тел.: +7(495)649-19-38.

Антипин Дмитрий Яковлевич, к.т.н., доцент кафедры «ПСЖД», директор Учебно-научного института транспорта Брянского государственного тех-



нического университета, e-mail:  
[adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

**Маслов Максим Александрович**, аспирант кафедры «ПСЖД» Брянского государственного тех-

**Kosmodamiansky Andrey Sergeevich**, Dr. Sc. Tech., Prof., head of the Dep. "Traction Rolling-Stock", RUC (MITE),  
phone: +7(495)649-19-38.

**Antipin Dmitry Yakovlevich**, Can. Sc. Tech., Assistant Prof. of the Dep. "PSZD", Director of Educational-Scientific Institute of Communications of Bryansk State Technical University, e-mail:  
[adya24@rambler.ru](mailto:adya24@rambler.ru).

нического университета, e-mail:  
[maslovmaksim32@mail.ru](mailto:maslovmaksim32@mail.ru).

**Шевченко Дмитрий Николаевич**, аспирант кафедры «Тяговый подвижной состав» РУТ (МИИТ), тел.: +7(495)649-19-38.

**Maslov Maxim Alexandrovich**, Post graduate student of the Dep. "PSZD", Bryansk State Technical University,  
e-mail: [maslovmaksim32@mail.ru](mailto:maslovmaksim32@mail.ru).

**Shevchenko Dmitry Nikolaevich**, Post graduate student of the Dep. "Traction Rolling-Stock", RUC (MITE), phone: +7(495)649-19-38.