
Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ

УДК: 629.4.027.4: 656.2
DOI:10.30987/2658-6436-2021-3-4-4-13

В.И. Воробьев, А.А. Пугачев, С.О. Копылов, Е.В. Николаев

МЕТОД ОБЪЕКТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ПАТЕНТОСПОСОБНЫХ КОНСТРУКЦИЙ УЗЛОВ ТЯГОВОГО ПРИВОДА

Показана актуальность моделирования при разработке новых конструкций тягового привода локомотивов и его узлов. Приведен синтез объектной модели технических решений узла подвешивания тягового электродвигателя локомотива, а также устройств увеличения сцепления. Разработана объектная модель технических объектов, состоящая из множества описаний и библиотеки описаний в виде иерархической структуры. Показано, что использование объектной модели позволяет создавать патентоспособные конструкции узлов экипажной части локомотива.

Ключевые слова: математическое моделирование, узел подвешивания, матрица мер, фрикционные автоколебания, устройство увеличения сцепления.

V.I. Vorobyev, A.A. Pugachev, S.O. Kopylov, E.V. Nikolaev

THE METHOD OF OBJECT MODELING IN THE DEVELOPMENT OF PATENTABLE DESIGNS OF TRACTION DRIVE MECHANISMS

*Work objective is to develop a patentable design of locomotive traction drive mechanisms using the example of a suspension unit. Research methods: object modeling method, analytical methods for calculating dynamics of rolling stock. Research results and novelty: the design of the railway electric motor suspension unit, which will reduce costs in the course of maintenance and repair of a locomotive with a solid gear by increasing the reliability of the suspension unit parts, eliminating their wear, has been developed; a compensation coupling device has been devised. We will synthesize the object model of a technical system based on the identification of its typical structure by classifying technical systems. **Conclusion:** the application of the object modeling method together with the object model allows avoiding errors in the development of new designs of technical objects based on existing comparables and eliminates defects of the selected prototype. The use of the object modeling method makes it possible to synthesize patentable designs of the locomotive underframe mechanisms.*

Keywords: math modeling, suspension unit, measure matrix, self-excited frictional vibrations, compensation coupling device.

Введение

Обзор применяемых методов проектирования и конструирования показал, что большая их часть основана на применении алгоритмических моделей [1]. Использование этих моделей в системах автоматизированного проектирования (САПР) затруднено по ряду причин. Прежде всего к ним относится эмпирический характер большинства моделей, из-за чего существует достаточно большое разнообразие алгоритмов поиска технических решений. Другой причиной является сложность сопряжения моделей технического решения с существующими САПР в связи с тем, что основная часть алгоритмических моделей была разработана для использования их человеком.

В данной работе моделирование технических решений узлов тягового привода осуществим на основании подхода, изложенного в [2] и апробированного в [3,4,5]. Согласно этому подходу, любой технический объект описывается выражением:

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

где множество $\varphi = \{S_1, \dots, S_p\}$ соответствует составу системы, $R = \{R_1, \dots, R_q\}$ описывает окружающую среду как надсистему, S_1, \dots, S_p и R_1, \dots, R_q – математическое описание внутренних и внешних элементов технического объекта C , $A^{(s)}$ представляет собой все соотношения на элементах технического объекта C , $A^{(sR)}$ и $A^{(Rs)}$ отображают все соотношения между элементами состава системы φ и окружающей средой R .

Таким образом, система из множеств описаний является математической моделью конструкции любого технического объекта. Существует множество описаний реальных объектов. Отметим, что 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 φ имеет тот же состав, что и множество φ' . Аналогично, отображение системы $C' = C(\varphi', R', A^{(s')}, A^{(R's')}, A^{(s'R')})$ на систему $C = C(\varphi, R, A^{(s)}, A^{(Rs)}, A^{(sR)})$ считается заданным, если задана пятерка отображений: $\alpha_1: \varphi' \rightarrow \varphi$; $\alpha_2: R' \rightarrow R$; $\alpha_3: A^{(s')} \rightarrow A^{(s)}$; $\alpha_4: A^{(R's')} \rightarrow A^{(Rs)}$; $\alpha_5: A^{(s'R')} \rightarrow A^{(sR)}$ [2,5].

Узел подвешивания тягового электродвигателя

В качестве примера сформулируем исходную задачу. Требуется создать конструкцию подвески тягового электродвигателя (ТЭД), которая позволит снизить затраты при эксплуатации и ремонте тепловоза с жесткой зубчатой передачей посредством повышения надежности деталей узла подвешивания за счет исключения их износа.

Синтез объектной модели технической системы проведем на основании идентификации ее типовой структуры посредством классификации технических систем.

Разработку классификации технических систем осуществим в порядке, аналогичном разработке новой конструкции. Общими признаками разработки является одинаковый набор функций, частными признаками – особенности конструкции и технологии производства или изготовления.

Математически представим меру сходства 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 .

Выполним поиск прототипа в библиотеке описаний узлов подвешивания. С учетом поставленной задачи по созданию конструкции подвески ТЭД конкретизируем введенные ранее обозначения: в табл. 1 и далее R_1 описывает проектируемый технический узел, $R_2 - R_7$ – выбранные для анализа прототипы, $S_1 - S_{19}$ – признаки объектов. На основании таблицы 1 составляем видовые списки (таблица 2, а).

На основании выражения (2) запишем меру включения множества признаков i -го варианта в j -й в виде:

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

Аналогично представим меру включения множества признаков j -го варианта в i -й:

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

На основании формул (3) и (4) определим количественные значения элементов матрицы мер включения (таблица 2, б).

Таблица 1. Признаки вариантов подвески ТЭД

	R1 Проект	R2 ВЛ80 Маятниковое подвешивание	R3 Подвеска 2ТЭ25А	R4 Траверсное подвешивани е	R5 Подвеска Кестрел	R6 АС СССР 925718	R7 Люлечное подвешивание
S1	Цельная тяга	Цельная тяга	Цельная тяга	-	Цельная тяга	-	Цельная тяга
S2	-	Цилиндрический шарнир	Цилиндрический шарнир	Цилиндрический шарнир	Цилиндрический шарнир	-	-
S3	-	Кронштейн рамы	Кронштейн рамы	Кронштейн рамы	Кронштейн рамы	Кронштейн рамы	-
S4	-	Выступы остова ТЭД	Выступы остова ТЭД	Выступы остова ТЭД	Выступы остова ТЭД	Выступы остова ТЭД	Выступы остова ТЭД
S5	Отъемный кронштейн ТЭД	-	-	-	Отъемный кронштейн ТЭД	-	-
S6	Сферические шарниры	-	-	-	-	-	-
S7	Резиновые блоки	-	-	-	-	Резиновые блоки	-
S8	-	-	Параллельные оси верхнего и нижнего шарниров	-	-	-	-
S9	-	Комплект пружин	-	-	-	-	Комплект пружин
S10	-	Направляющие стержни	-	-	-	-	-
S11	-	-	Взаимно перпендикулярные оси верхнего и нижнего шарниров	Взаимно перпендикулярные оси верхнего и нижнего шарниров	-	-	-
S12	Наличие направляющей	-	-	-	-	-	1
S13	-	-	Крепление на клиновых пазах	-	-	-	-
S14	Серьги	-	-	-	-	-	Серьги
S15	-	-	-	-	-	-	Два кронштейна на раме
S16	Две тяги	-	-	-	-	-	Две тяги
S17	Цапфа ТЭД	-	-	-	-	-	Цапфа ТЭД
S18	Два кронштейна ТЭД	-	-	-	-	-	-
S19	-	-	-	-	-	-	Два кронштейна рамы

Для вариантов R_1 и R_2 число видов в описаниях признаков $m(R_1)=9$, $m(R_2)=6$, $m(R_i \cap R_j)=1$. Тогда для второй строки первого столбца табл. 2б имеем:

$$W(R_2; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1)} \cdot 100\% = \frac{1}{9} \cdot 100\% = 11\%.$$

Таблица 2. Видовые списки и матрицы мер

Видовые списки

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
S1	1	1	1	0	1	0	1
S2	0	1	1	1	1	0	0
S3	0	1	1	1	1	1	0
S4	0	1	1	1	1	1	1
S5	1	0	0	0	1	0	0
S6	1	0	0	0	0	0	0
S7	1	0	0	0	0	1	0
S8	0	0	1	0	0	0	0
S9	0	1	0	0	0	0	1
S10	0	1	0	0	0	0	0
S11	0	0	1	1	0	0	0
S12	1	0	0	0	0	0	1
S13	0	0	1	0	0	0	0
S14	1	0	0	0	0	0	1
S15	0	0	0	0	0	0	1
S16	1	0	0	0	0	0	1
S17	1	0	0	0	0	0	1
S18	1	0	0	0	0	0	0
S19	0	0	0	0	0	0	1

а)

Матрица мер включения

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1		17	14	0	40	33	56
R2	11		57	75	80	67	33
R3	11	67		100	80	67	22
R4	0	50	57		60	67	11
R5	22	67	57	75		67	22
R6	11	33	29	50	67		11
R7	56	50	29	25	67	11	

б)

Матрица мер пересечения

R1	9						
R2	1	6					
R3	1	4	7				
R4	0	3	4	4			
R5	2	4	4	3	5		
R6	1	2	2	2	2	3	
R7	5	3	2	1	2	1	9
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7

в)

Матрица мер сходства

R2	13						
R3	13	62					
R4	0	60	73				
R5	29	73	67	67			
R6	17	44	40	31	80		
R7	56	40	25	50	80	67	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	

г)

Для первой строки второго столбца табл. 2б имеем:

$$W(R_1; R_2) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_2)} \cdot 100\% = \frac{1}{6} \cdot 100\% = 17\%$$

Соответственно, в табл. 2б первая строка $m(R_1)=9$, вторая строка первый столбец $m(R_i \cap R_j)=1$, вторая строка второй столбец $m(R_2)=6$.

Аналогично на основании формулы (2) определим количественные значения элементов матрицы мер сходства (табл. 2г).

Например, для первой строки первого столбца (табл. 2г) имеем:

$$C(R_1R_2) = \frac{2m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1) + m(R_2)} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 1}{9 + 6} \cdot 100\% = 13\%.$$

Анализ результатов расчета (таблица 2, г) показывает, что максимальное значение в столбце проектируемого технического узла R_1 , которым является узел подвешивания ТЭД, составляет 56 и находится в строке прототипа R_7 . Таким образом, в результате применения метода объектного моделирования установлено, что наиболее близким решением к проектируемому узлу подвешивания является люлечная подвеска ТЭД, подробно описанная в [6] (рис. 1), которую целесообразно применить в качестве прототипа.

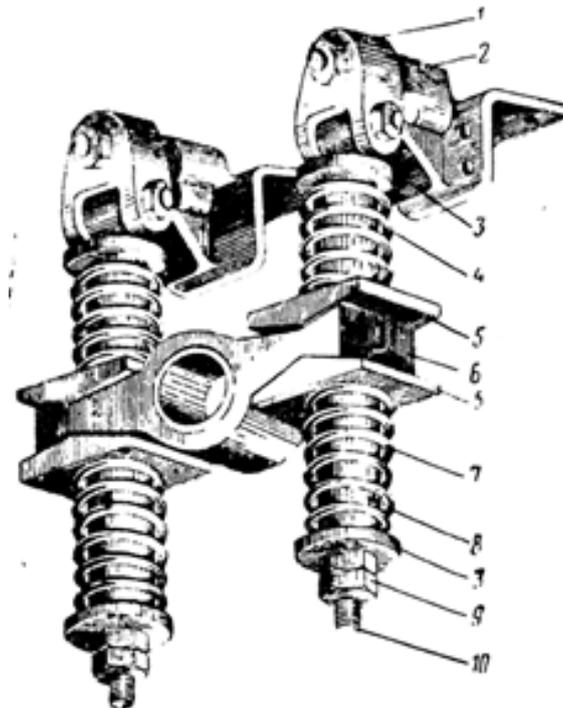


Рисунок 1. Люлечное подвешивание ТЭД

1 – серьги; 2 – кронштейны; 3 – шайбы; 4 – пружины; 5 – ножевые шайбы; 6 – направляющая; 7 – пружины; 8 – стакан; 9 – гайки; 10 – тяги

Недостатком выбранного узла подвешивания ТЭД является наличие большого числа изнашиваемых элементов, что приводит к недостаточной надежности работы узла в связи с тем, что темпы износа зависят от многих случайных факторов в эксплуатации, и, вследствие этого, к увеличению расходов на ремонт и обслуживание при эксплуатации локомотива.

Устранение недостатков прототипа достигается тем, что в узле подвешивания тягового электродвигателя, содержащем два кронштейна, к которым при помощи роликов и серег подвешиваются тяги, на которых установлены шайбы и упругие элементы, узел подвешивания содержит направляющую с отверстием и гайки, серьги выполнены в виде сферических резинометаллических шарниров, кронштейны расположены на корпусе тягового электродвигателя, упругие элементы выполнены в виде цилиндрических резиновых элементов с отверстиями, разделенных на несколько частей привулканизированной к резине арматурой в виде металлических шайб, а в отверстии направляющей находится двуслойный сферический резинометаллический шарнир, соединенный через цапфу с рамой тележки.

Конструкция предлагаемого узла подвешивания ТЭД показана на рис. 2.

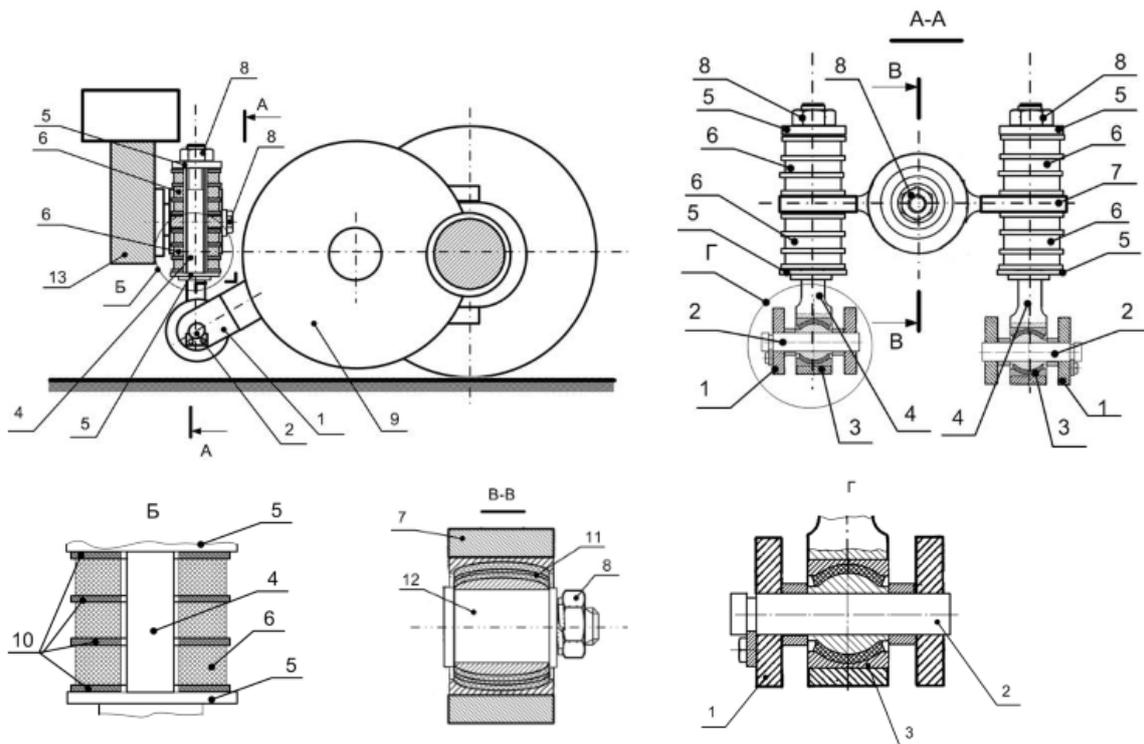


Рис. 2. Конструкция предлагаемого узла подвешивания ТЭД

1 – кронштейны; 2 – валики; 3 – серьги; 4 – тяги; 5 – шайбы; 6 – упругие элементы; 7 – направляющая; 8 – гайка; 9 – тяговый электродвигатель; 10 – арматура; 11 – двуслойный сферический резинометаллический шарнир; 12 – цапфа; 13 – рама тележки

Устройство для увеличения сцепления ведущих колес с рельсами

Рассмотрим пример решения следующей задачи. Требуется создать устройство для увеличения сцепления ведущих колес с рельсами, которое будет увеличивать тяговые свойства локомотива.

Осуществим поиск прототипа в библиотеке описаний технических объектов (табл. 3). Аналогично примеру с узлом подвешивания ТЭД составляем видовые списки (табл. 4а) на основании табл. 3.

Последовательность действий для данного примера аналогична предыдущему – определение значений элементов матриц мер включения и сходства осуществляем по формулам (3), (4) и (2) соответственно.

В результате имеем: для вариантов R_1 и R_2 число видов в описаниях признаков $m(R_1)=5$, $m(R_2)=2$, $m(R_1 \cap R_2)=1$. Тогда:

$$W(R_2; R_1) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1)} \cdot 100\% = \frac{1}{5} \cdot 100\% = 20\%,$$

$$W(R_1; R_2) = \frac{m(R_1 \cap R_2)}{m(R_2)} \cdot 100\% = \frac{1}{2} \cdot 100\% = 50\%.$$

Для первой строки первого столбца (табл. 2г) имеем:

$$C(R_1 R_2) = \frac{2m(R_1 \cap R_2)}{m(R_1) + m(R_2)} \cdot 100\% = \frac{2 \cdot 1}{5 + 2} \cdot 100\% = 29\%.$$

Анализ матрицы мер сходства (табл. 4г) показывает, что максимальное значение в столбце проектируемого технического узла R_1 , которым является устройство для увеличения сцепления ведущих колес с рельсами, составляет 75 и находится в строке прототипа R_4 . Таким образом, наиболее близким решением к проектируемому устройству является устройство, подробно описанное в [7] (рис. 3), которое целесообразно применить в качестве прототипа.

Таблица 3. Признаки вариантов устройств для увеличения сцепления

	R1 Проект	R2 US3307058	R3 AC СССР №1286453	R4 RU202706	R5 US709484	R6 US2198928	R7 US414996
S1	Катушка на оси колесной пары (КП)	-	-	Катушка на оси КП	-	-	Катушка на оси КП
S2	-	Катушки вблизи контакта колесо-рельс	-	-	-	Катушки вблизи контакта колесо-рельс	-
S3	Источник питания	Источник питания	Источник питания	Источник питания	Источник питания	Источник питания	Источник питания
S4	-	-	-	-	Электромагниты в разрезном колесе	-	-
S5	-	-	-	-	-	Катушка охватывающая диск колеса	-
S6	-	-	-	-	-	-	Продольное расположение ТЭД
S7	Логический элемент "ИЛИ"	-	-	-	-	-	-
S8	Датчик продольного усилия на подвеске ТЭД	-	-	Датчик продольного усилия на подвеске ТЭД	-	-	-
S9	Датчик угловых скоростей	-	-	-	-	-	-
S10	-	-	Магнитный догружатель	-	-	-	-

Таблица 4. Видовые списки и матрицы мер

Видовые списки

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

а)

Матрица мер включения

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7
R1		50	50	100	50	33	67
R2	20		50	33	50	67	33
R3	20	50		33	50	33	33
R4	60	50	50		50	33	67
R5	20	50	50	33		33	33
R6	20	100	50	33	33		33
R7	40	50	50	67	33	33	

б)

Матрица мер пересечения

R1	5						
R2	1	2					
R3	1	1	2				
R4	3	1	1	3			
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	29						
R3	29	50					
R4	75	40	40				
R5	29	50	50	40			
R6	25	80	40	33	40		
R7	50	40	40	67	40	67	
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	

г)

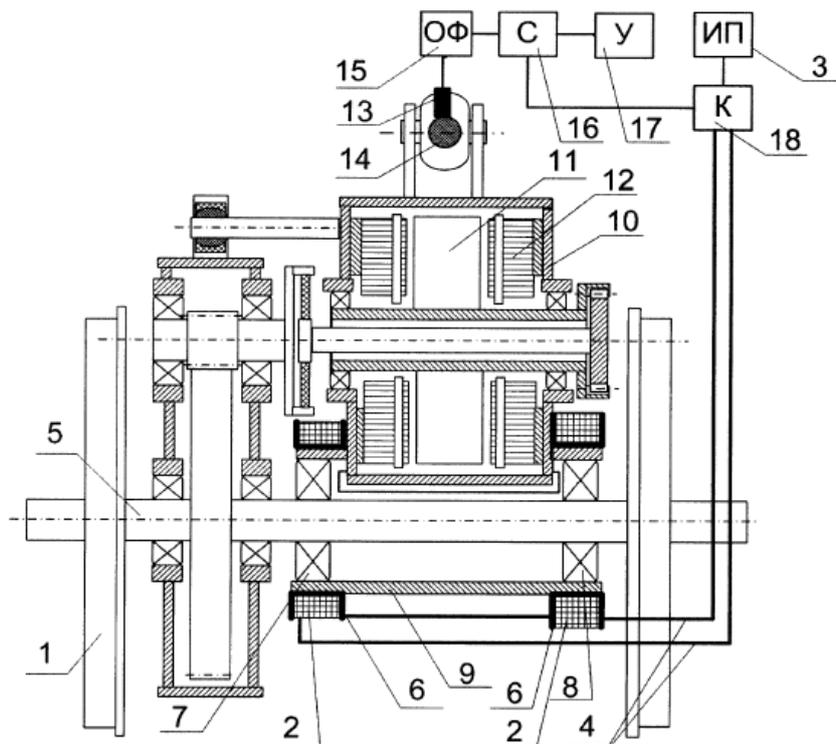


Рис. 3. Устройство для увеличения сцепления ведущих колес с рельсами

1- колесная пара; 2 – намагничивающая обмотка; 3 – источник питания; 4 – провода; 5 – ось колесной пары; 6 – каркас; 7, 8 – подшипники качения; 9 – труба; 10 – тяговый электродвигатель; 11 – ротор; 12 – статор; 13 – датчик продольного усилия; 14 – тяга подвески; 15 – осредняющий фильтр; 16 – сумматор; 17 – блок установки; 18 - ключ

Известно, что недостаток указанного устройства заключается в том, что в случае возникновения автоколебаний колесной пары при начавшемся скольжении колеса по рельсу коэффициент сцепления оказывается выше, чем при скольжении колеса по рельсу при отсутствии автоколебаний и, соответственно, среднее усилие в подвеске при развитии автоколебаний и скольжении колеса по рельсу выше, чем при скольжении колеса по рельсу без развития автоколебаний. При этом величина сигнала на выходе датчика продольного усилия, после обработки осредняющим фильтром, может оказаться ниже, чем величина сигнала от блока установки. В результате при начавшемся скольжении колеса по рельсу в катушку не будет подаваться ток до момента, когда при дальнейшем увеличении скорости скольжения колеса по рельсу не произойдет срыв фрикционных автоколебаний. Таким образом, в таких случаях возможности реализации локомотивом максимальной силы тяги не будут использованы из-за несвоевременной подачи тока в катушку.

Устранение недостатков прототипа достигается тем, что предлагаемое устройство содержит датчик угловых ускорений оси колесной пары, полосовой фильтр, выпрямитель, второй сумматор, второй блок установки и логический элемент «ИЛИ», при этом сигнал с выхода обоих сумматоров поступает на управляющий вход ключа через логический элемент «ИЛИ», при возникновении автоколебаний колесной пары датчик ускорений колесной пары вырабатывает сигнал, поступающий на полосовой фильтр, полосовой фильтр пропускает сигнал, соответствующий частоте фрикционных автоколебаний колесной пары, сигнал поступает на выпрямитель, выпрямитель выпрямляет сигнал, сигнал от выпрямителя поступает на первый вход второго сумматора, сигнал от блока установки поступает на другой вход второго сумматора. Если значение выходного сигнала выпрямителя превышает значение выходного сигнала блока установки, то выходной сигнал второго сумматора поступает на управляющий вход ключа через логический элемент «ИЛИ», что вызывает размыкание ключа, вследствие чего замыкается цепь «источника питания – катушку» и в ней начинает протекать ток, величина которого пропорциональна величине выходного сигнала второго сумматора. Предлагаемое устройство представлено на рис. 4.

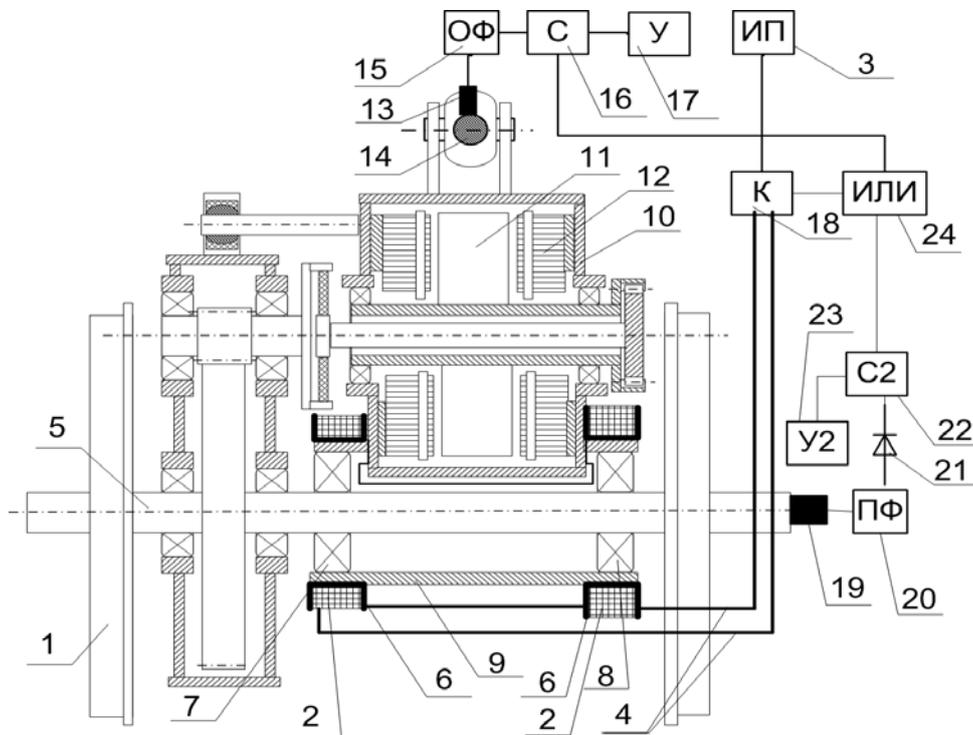


Рис. 4. Предлагаемое устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами
 1- колесная пара; 2 – намагничивающая обмотка; 3 – источник питания; 4 – провода; 5 – ось колесной пары; 6 – каркас; 7, 8 – подшипники качения; 9 – труба; 10 – тяговый электродвигатель; 11 – ротор; 12 – статор; 13 – датчик продольного усилия; 14 – тяга подвески; 15 – осредняющий фильтр; 16 – сумматор; 17 – блок установки; 18 – ключ; 19 – датчик угловых скоростей; 20 – полосовой фильтр; 21 – выпрямитель; 22 – второй сумматор; 23 – второй блок установки; 24 – логический элемент «ИЛИ»

Выводы

Применение метода объектного моделирования вместе с объектной моделью позволяет избежать ошибки при разработке новых конструкций технических объектов на основе существующих аналогов и устраняет недостатки выбранного прототипа. Использование метода объектного моделирования позволяет синтезировать патентоспособные конструкции узлов экипажной части локомотива.

На разработанные в статье узел подвешивания и устройство увеличения сцепления колеса с рельсом авторами поданы заявки на предполагаемые изобретения.

Список литературы:

1. **Аверченков, В.И.** Основы математического моделирования технических систем / В.И. Аверченков, В.П. Федоров, М.Л. Хейфец. – Брянск: БГТУ, 2004. – 271 с.
2. **Воробьев, В.И.** Синтез новых решений приводов транспортных систем в интеллектуальных САПР / В.И. Воробьев [и др.]. – Орел: ОГУ им. И.С. Тургенева, 2017. – 304 с.
3. **Воробьев, В.И.** Выбор объектной модели тягового привода локомотива / В.И. Воробьев, О.В. Измеров, М.А. Маслов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – № 6 (59). – С. 69 – 75.
4. **Копылов, С.О.** Поиск патентоспособных решений узлов подвешивания тягового электродвигателя / С.О. Копылов, М.А. Маслов, В.О. Корчагин // Совершенствование транспортных машин: сб. науч. тр. – Брянск, 2019. – С. 85 – 91.
5. **Космодамианский, А.С.** Применение объектной модели для конструирования тягового привода локомотива / А.С. Космодамианский [и др.] // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2019. – № 10 (83). – С. 39 – 47.
6. **Космодамианский, А.С.** Концепция развития энергосберегающих электромеханических систем / А.С. Космодамианский [и др.]. – Орел: ГУ-УНПК, 2014. – 244 с.
7. **Патент на полезную модель № 202706 РФ.** Устройство для увеличения сцепления ведущих колес локомотива с рельсами. / Космодамианский А.С., Воробьев В. И., Измеров О.В., Маслов М.А., Корчагин В.О., Стрекалов Н.Н., Капустин М.Ю., Самотканов А.В., Шевченко Д.Н. Опубл. 03.03.2021, бюл. № 7.

References:

1. **Averchenkov V.I.,** Fedorov V.P., Hejfec M.L. Osnovy matematicheskogo modelirovanija tehni-cheskih sistem [Fundamentals of Mathematical Modeling of Technical Systems: Tutorial]. Bryansk, Publ. House of BSTU, 2004. 271 p.
2. **Vorobyov, V.I.** Synthesis of new solutions for transport system drives in intelligent CAD systems / V.I. Vorobyov [et al.], Orel: OSU named after I.S. Turgenev, 2017, 304 p.
3. **Vorobyov, V.I.** The choice of an object model of a locomotive traction drive / V.I. Vorobyov, O.V. Izmerov, M.A., Maslov. Bulletin of the Bryansk State Technical University, 2017, no. 6 (59), pp. 69-75.
4. **Kopylov, S.O.** Search for patentable solutions of suspension units for traction motors., S.O. Kopylov, M.A. Maslov, V.O. Korchagin. *Sovershenstvovanie transportnikh mashin* [Improvement of transport vehicles], Proc., Bryansk, 2019, pp. 85-91.
5. **Kosmodamiansky, A.S.** Object model use for locomotive traction drive design. A.S. Kosmodamiansky [et al.] // Bulletin of the Bryansk State Technical University, 2019, no. 10 (83), pp. 39-47.
6. **Kosmodamiansky, A.S.** The concept of development of energy-saving electromechanical systems: monograph. A.S. Kosmodamiansky [et al.], Oryol: State University, UPPK, 2014, 244 p.
7. **Utility model patent No. 202706 of the Russian Federation.** Compensation coupling device of the locomotive drivers., Kosmodamiansky A.S., Vorobyev V. I., Izmerov O.V., Maslov M.A., Korchagin V.O., Strekalov N.N., Kapustin M.Yu., Samotkanov A.V., Shevchenko D.N.. Publ. 03.03.2021, bul. No. 7.

Статья поступила в редколлегию 15.10.2021

Рецензент: д-р техн. наук, доц. Брянский государственный технический университет Федяева Г.А.

Статья принята к публикации 22.10.2021

Сведения об авторах

Воробьев Владимир Иванович

кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог» Брянского государственного технического университета,
Тел. +7(962)137-32-77,
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Пугачев Александр Анатольевич

доктор технических наук, заведующий кафедрой «Промышленная электроника и электротехника» Брянского государственного технического университета
Тел. +7(919)192-88-70,
E-mail: alexander-pugachev@rambler.ru

Копылов Степан Олегович

инженер-конструктор ООО «ТМХ Инжиниринг», Брянск
E-mail: directr1993@yandex.ru

Николаев Евгений Владимирович

старший преподаватель кафедры «Тяговый подвижной состав» Российского университета транспорта
E-mail: work-omc@yandex.ru

Information about authors:

Vorobyev V.I.

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department "Rolling stock of Railways" of Bryansk State Technical University
Тел. +7(962)137-32-77,
E-mail: vladimvorobiev@yandex.ru

Pugachev A.A.

Doctor of Technical Sciences, Head of the Department of Industrial Electronics and Electrical Engineering of Bryansk State Technical University
Тел. +7(919)192-88-70,
E-mail: alexander-pugachev@rambler.ru

Kopylov S.O.

Design Engineer of TMH Engineering LLC
Bryansk
E-mail: directr1993@yandex.ru

Nikolaev E.V.

Senior lecturer of the Department "Traction rolling stock" of the Russian University of Transport
E-mail: work-omc@yandex.ru