

*В. В. Шаповалов, Т. Л. Саямова, С. Л. Горин, Д. А. Рябыш, О. И. Коваленко*

## РАЗРАБОТКА ФРИКЦИОННОЙ МНОГОДИСКОВОЙ СОЕДИНИТЕЛЬНОЙ МУФТЫ ДЛЯ ПЕРЕДВИЖНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**Аннотация.** Представлена разработка новой фрикционной многодисковой соединительной муфты с тремя каскадами усиления взамен импортного аналога от машиностроительного концерна Voith. Первый и третий каскады представляют собой многодисковые муфты, работающие в масле, а второй – фрикционное усилительное звено (ФУЗ) в виде двух дисков и тел качения. Данный агрегат имеет электромагнитное управление, которое приводит его в работу. Установлено, что использование трех каскадов усиления повышает прочность соединения и снижает износ деталей. За счет применения многокаскадной системы затрачивается меньшее количество энергии на включение муфты. Ее конструкция с электромагнитным управлением обеспечивает надежное соединение агрегатов.

**Ключевые слова:** соединительная муфта, каскад усиления, электромагнит, коэффициент усиления, коэффициент трения.

**Для цитирования:** Разработка фрикционной многодисковой соединительной муфты для передвижных электростанций / В. В. Шаповалов, Т. Л. Саямова, С. Л. Горин [и др.] // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 4. – С. 60–69. – DOI 10.46973/0201-727X\_2024\_4\_60.

### **Введение**

Соединительные управляемые и неуправляемые муфты играют важную роль в современных механизмах и машинах, обеспечивая надежное соединение и передачу мощности.

Существует несколько типов соединительных управляемых муфт с механическим, гидравлическим, пневматическим и электрическим приводами. Каждый из этих приводов имеет свои преимущества и недостатки.

Соединительные муфты с механическим приводом обеспечивают быстрое и надежное соединение, но требуют ручного управления и в ряде случаев значительных усилий для включения. Муфты с гидравлическим приводом позволяют управлять соединением с помощью гидравлической системы, что обеспечивает более точное и плавное управление техническими системами. Муфты с пневматическим приводом используют сжатый воздух для передачи усилия, а электрические муфты управляются с помощью электрических (электромагнитных) сигналов [1, 2].

Для передачи крутящего момента между силовыми агрегатами, как правило, используются эластичные муфты – механизмы, позволяющие создавать мягкое, но надежное соединение, компенсирующее смещение валов. Такие муфты производит и немецкий концерн Voith. Они применяются для легкорельсового транспорта, очень технологичны и имеют широкую модельную линейку для разного рода задач, оснащены одним или несколькими высокоэластичными элементами, позволяющими растягивать во времени процесс соединения подключаемого агрегата [1, 2]. Соединительные муфты такой конструкции эффективны, но не могут применяться в регионах Крайнего Севера и районах с суровыми условиями климата, где сохраняются низкие температуры до  $-50^{\circ}\text{C}$ .

В данной статье рассмотрена отечественная конструкция соединительной муфты для путевых машин, которая имеет в своем составе три каскада усиления и электромагнитное управление. Этот агрегат создан для замены устанавливаемых ранее иностранных муфт Voith. Отечественная муфта спроектирована с применением российских компонентов.

### **Описание соединительной муфты немецкой фирмы Voith**

Специалистами и учеными Ростовского государственного университета путей сообщения (РГУПС) по заказу Тихорецкого машиностроительного завода им. В.В. Воровского в соответствии с государственной программой импортозамещения разработана конструкция многодисковой фрикционной муфты, пришедшая взамен ранее поставляемому зарубежному аналогу, который импортировала немецкая фирма Voith, для передвижных электростанций. На рис. 1 представлена схема соединительной муфты машиностроительного концерна Voith, имеющая ведущую полумуфту, расположенную на кри-

вошипном валу дизельного двигателя ЯМЗ-8502.10-08, и ведомую полумуфту, соединяющую карданный вал с генератором ГС-400-Б1-440 УХЛ2. Конструкция муфты имеет упругий элемент, который представляет собой кольцо, выполненное из эластичного резинового материала, обладающего свойствами упругой деформации, с углом поворота  $\alpha$  до 5 градусов. Такой угол деформации  $\alpha$  позволяет растянуть во времени процесс запуска генератора, а также снизить уровень динамических нагрузок в процессе передачи крутящего момента от дизельного двигателя к генератору. Соединительная муфта предназначена для передвижных электростанций, она применяется для эксплуатации машин и механизмов, не имеющих в своём составе приводящего их в движение силового агрегата. Соединение дизельного двигателя передвижной электростанции с генератором с помощью муфты через карданный вал позволяет выполнять раздачу энергии потребителям, осуществлять работы в широком диапазоне климатических условий – от  $-40$  до  $+50$  °С, а также выдерживать различные атмосферные осадки в виде дождя и снега.

Основным недостатком соединительных муфт фирмы Voith [1] является неполное исключение возможности динамических нагрузок в определенных режимах эксплуатации, например, в условиях низких отрицательных температур. Соединительная муфта Voith имеет высокую стоимость, а также для ее эксплуатации требуется поставка импортных запасных частей. С целью повышения конкурентоспособности, снижения энергозатрат разработанная в России муфта основана на широко используемых и высоконадежных элементах: роликовых подшипниках, подобранных из стандартного размерного ряда, серийно выпускаемых дисках – стальных и с металлокерамическими фрикционными накладками, типовых шлицевых соединениях. Вышеназванные элементы прошли длительную апробацию и оптимизацию в различных механизмах и устройствах, они обладают надежными эксплуатационными характеристиками. Технология их изготовления тщательно отработана и имеет относительно невысокую себестоимость. Данные положения обеспечивают высокую надежность и низкую стоимость отечественного агрегата по сравнению с существующими вариантами соединительных муфт, в частности, немецкого концерна Voith.

В основе высокой эффективности многодисковой управляемой соединительной муфты с шарикоподшипниковым усилительным модулем лежат результаты фундаментальных исследований в области трибологии нелинейных динамических систем, разработанных учеными РГУПСа: динамической анизотропии нелинейных фрикционных связей,  $n$ -вариантного физико-математического моделирования и динамического мониторинга фрикционных нелинейных систем [3–8].

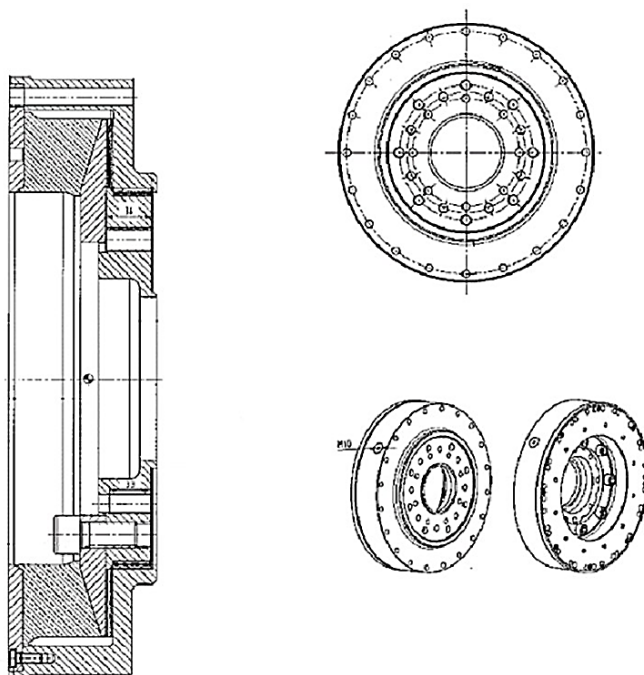


Рис. 1. Соединительная муфта немецкой фирмы Voith

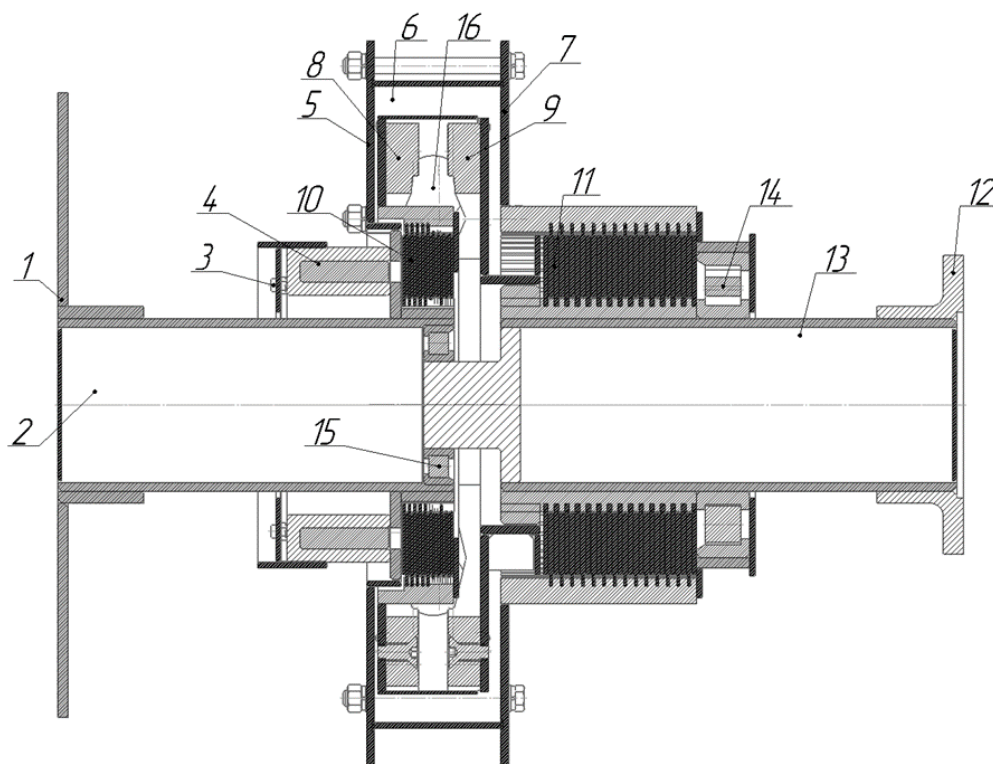
Как следует из результатов многочисленных исследований, коэффициент трения является коэффициентом передачи нелинейного упруго-диссипативного звена и не может быть описан монофункцией в виде отношения средних значений силы трения и силы нормального давления [5–8]. Применение коэффициента

передачи фрикционного звена в виде отношения трибоспектров (взаимного и автоспектра) позволяет корректно отразить природу явлений, протекающих во фрикционном контакте [4–9].

**Описание отечественной фрикционной многодисковой соединительной муфты с электромагнитным управлением**

Соединительная муфта, разработанная учеными РГУПСа, спроектирована для снижения динамических нагрузок при соединении вращающихся и не вращающихся элементов силовых трансмиссий, например, передвижных электростанций.

Конструкция соединительной муфты (рис. 2) предназначена для снижения затрат мощности на работу управляющего электромагнита, а также уменьшения габаритов и металлоёмкости, содержит в себе три каскада усиления.



**Рис. 2. Схема соединительной муфты:**

- 1 – ведущий фланец; 2 – ведущий вал; 3 – фиксирующий болт; 4 – электромагнит; 5 – ведущая крышка левая; 6 – корпус ведущей полу муфты; 7 – ведущая крышка правая; 8 – левый нагружающий диск; 9 – правый нагружающий диск; 10 – муфта включения; 11 – основная муфта; 12 – ведомый фланец; 13 – ведомый вал; 14 – подшипник муфты основной; 15 – подшипник муфты; 16 – сферическое тело качения

Первым каскадом усиления является многодисковая фрикционная муфта включения 10, работающая в закрытом корпусе в масляной ванне, она связана со вторым каскадом усиления, который состоит из левого 8 и правого 9 нагружающих дисков, между ними располагаются сферические тела качения 16. Третьим каскадом усиления является основная многодисковая фрикционная муфта 11, также находящаяся в своем картере с маслом. Включение многодисковой муфты осуществляется за счёт подачи напряжения на электромагнит 4.

В конкретном случае используются шесть ведущих стальных и пять ведомых металлокерамических дисков. В режиме отключенного электромагнита 4 крутящий момент от дизельного двигателя передается на элементы ведущей муфты, а именно на фланец 1, полый ведущий вал 2, левую крышку 5, правую крышку 7 и ведущие диски муфт 10 и 11, следовательно, они находятся в движении и вращаются со скоростью вращения вала двигателя. Пакет дисков муфты 10 состоит из двух типов дисков: ведущих, которые крепятся на ведущем валу 2, и ведомых, имеющих зацепление с левым нагружающим диском 8. Блок дисков муфты 11 состоит из двух типов дисков: ведущих, которые крепятся на ведомом валу 13,

и ведомых, имеющих зацепление с ведущей правой крышкой. При этом ведомая полумуфта и её элементы – ведомый фланец 12, ведомый вал 13, нагружающие диски 8 и 9, а также ведомые диски многодисковой муфты 11 – неподвижны.

При включении электромагнита осуществляется запуск муфты, происходит соединение ведущих дисков муфты 10 с ведомыми и начинается вращение левого нагружающего диска 8, а следовательно, его кручение (вращение) относительно правого нагружающего диска 9. При их относительном вращении происходит смещение диска 9 вправо и включение основной многодисковой муфты 11. После создания расчётного значения усилия прижатия между ведущими и ведомыми дисками муфты 11 начинают вращаться ведомый вал 13 и фланец 12.

Устройство второго каскада усиления представлено на схеме данного усилительного звена 14. При обеспечении равенства тангенса угла наклона нагружающих поверхностей дисков 8 и 9 коэффициента трения  $f_2$  коэффициент усиления данного звена стремится в бесконечность. Для работы данной фрикционной системы, находящейся в условиях неустойчивого равновесия, и ее включения не требуется затрат мощности. Практическое значение коэффициента усиления зависит от величины колебаний коэффициента трения  $f_2$ , т.е. условием реализации  $k_{yc} \rightarrow \infty$  является равенство  $\Delta f_2 = 0$ . Такое состояние системы неработоспособно, и значение  $\Delta f_2 = 0$  нереально. Процессы фрикционного взаимодействия сложно и нелинейно взаимосвязаны более чем с 40 факторами, при этом значения коэффициента трения меняются от нуля до бесконечности. В связи с этим во фрикционных усилительных звеньях в целях эффективной и надежной работы предусматриваются мероприятия по управлению коэффициентами трения и их стабилизации. Фрикционно-усилительные звенья обязательно должны иметь в своем составе механизм включения.

Одним из наиболее важных моментов тягового расчета является обеспечение процесса трогания машины, ее разгона без динамических нагрузок. Для обеспечения безопасного разгона машины существуют специальные муфты [3, 8].

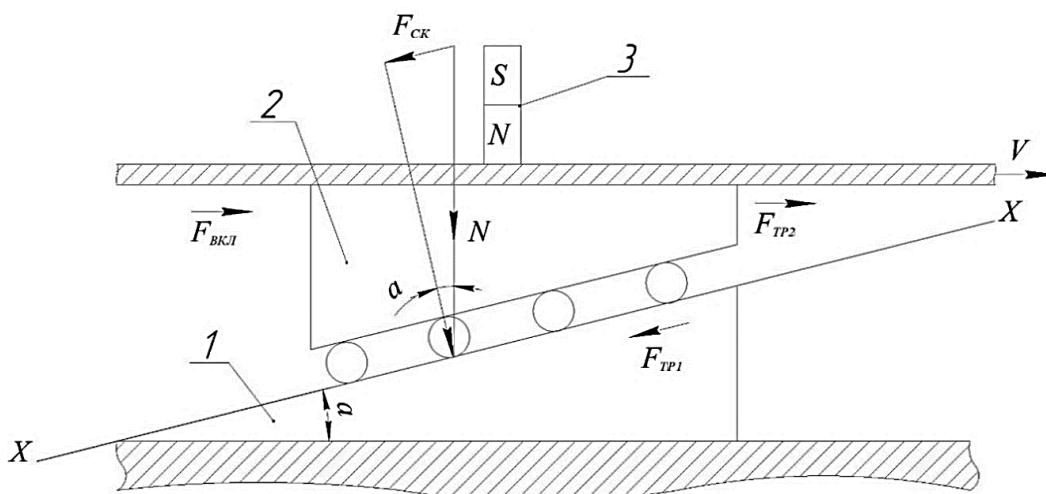
Фрикционное усилительное звено (рис. 3) работает следующим образом: угол  $\alpha$ , который закладывается при проектировании нагружающего устройства, рассчитывается из условия

$$\vec{F}_{ск} \geq \vec{F}_{тр2} \quad (1)$$

или

$$N \cdot \sin \alpha \geq N \cdot f_{2 \max} \cdot \cos \alpha; \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} \alpha \geq f_{2 \max}. \quad (3)$$



**Рис. 3. Схема фрикционного усилительного звена:**  
1 – ведомый элемент; 2 – ведущий элемент; 3 – электромагнит

Условие (3) исключает возможность самозаклинивания элементов усилительного звена, т.е. неуправляемое включение муфты. В данном режиме (3) муфта отключена. Для включения соединительной

муфты необходимо включить электромагнит 3 (см. рис. 3) и получить соответствующее выражение, при котором муфта включена:

$$\vec{F}_{\text{тр}2} + \vec{F}_{\text{вкл}} > \vec{F}_{\text{ск}}. \quad (4)$$

Расчёт соединительной муфты для передвижных электростанций выполняется на основании следующих данных:

1 Максимальный момент, передаваемый муфтой,  $M_{\text{max}}$ , Нм.

2 Средний радиус дисков фрикционной муфты включения равен среднему радиусу фрикционных дисков основной муфты:  $r_1 = r_2$ , м.

3 Средний радиус фрикционного усилительного звена  $R_2$ , м.

4 Коэффициент усиления первого каскада усилительного модуля

$$k_{\text{yc-1}} = n_1 - 1, \quad (5)$$

где  $n_1$  – число дисков муфты включения.

5 Коэффициент усиления второго каскада усилительного модуля

$$k_{\text{yc-2}} = \text{arctg}\alpha, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – угол наклона нагружающих дорожек усилительного звена.

6 Коэффициент усиления третьего каскада усилительного модуля

$$k_{\text{yc-3}} = n_3 - 1, \quad (7)$$

где  $n_3$  – число дисков муфты включения.

Усилительные каскады 1, 2 и 3 соединены последовательно, тогда суммарный коэффициент усилительного модуля при последовательном соединении каскадов усиления равен произведению коэффициентов усиления каждого из каскадов:

$$k_{\text{общ}} = k_{\text{yc-1}} \cdot k_{\text{yc-2}} \cdot k_{\text{yc-3}}. \quad (8)$$

Значения коэффициента трения фрикционных дисков основной муфты [9]:

– минимальное –  $f_{2\text{min}} = 0,12$ ;

– максимальное значение коэффициента трения фрикционных дисков основной муфты –  $f_{2\text{max}} = 0,15$ ;

– дельта (разница между максимальным и минимальным значениями) –  $\Delta f_{2\text{max}} = 0,03$ .

Алгоритм расчета соединительной многодисковой муфты представлен ниже.

Для расчета  $F_{\text{эл}}^{\text{max}}$  определим значение  $N_{\text{max}}$  – силы нормального взаимодействия ведущих и ведомых фрикционных дисков основной муфты 11 из выражения (9):

$$M_{\text{max}} = N_{\text{max}} \cdot f_{2\text{min}} \cdot r_3 \cdot k_{\text{yc-3}}; \quad (9)$$

$$N_{\text{max}} = \frac{M_{\text{max}}}{f_{2\text{min}} \cdot r_3 \cdot k_{\text{yc-3}}}; \quad (10)$$

$$F_{\text{вкл}} \cdot \cos\alpha \geq N_{\text{max}} \cdot \sin\alpha - N_{\text{max}} \cdot f_{2\text{min}} \cdot \cos\alpha. \quad (11)$$

Разделим выражение (11) на  $\cos\alpha$ . Исходя из формулы (11), получаем

$$F_{\text{вкл}} \geq N_{\text{max}} \cdot (\text{tg}\alpha_{\text{max}} - f_{2\text{min}}) = N_{\text{max}} \cdot (f_{2\text{max}} - f_{2\text{min}}) = N_{\text{max}} \cdot \Delta f_2. \quad (12)$$

В выражении (12)  $\alpha_{\text{max}}$  – угол наклона нагружающей дорожки; значение угла  $\alpha_{\text{max}}$  определяется из условия  $\text{tg}\alpha_{\text{max}} \geq f_{2\text{max}}$ , что исключает заклинивание муфты при любом значении  $f_2$ , в том числе и при  $f_{2\text{max}} = 0,15$ .

В свою очередь, величина  $F_{\text{вкл}}$  усилия включения определяется с учетом любого значения  $f_2$ , в том числе и  $f_{2\text{min}} = 0,12$ . Данное условие обеспечивает управляемое состояние фрикционной соединительной муфты в диапазоне от  $f_{2\text{min}}$  до  $f_{2\text{max}}$ .

Определим максимальный уровень электромагнитного силового воздействия, необходимого для включения соединительной муфты, и при  $f_{2\text{min}}$ :

$$F_{\text{вкл}} = N_{\text{max}} \cdot (f_{2 \text{ max}} - f_{2 \text{ min}}) = N_{\text{max}} \cdot \Delta f_{2 \text{ max}}. \quad (13)$$

Так как  $R \cdot F_{\text{вкл}} = F'_{\text{эл}} \cdot f_{2 \text{ min}} \cdot r_2 \cdot k_{\text{ус-2}}$ ,

где  $k_{\text{ус-2}} = \text{arctg} \alpha$ , то

$$F'_{\text{эл}} = \frac{F_{\text{вкл}} \cdot R}{f_{2 \text{ min}} \cdot r_2 \cdot k_{\text{ус-2}}}. \quad (14)$$

С учетом наличия первого каскада усиления с коэффициентом усиления  $k_{\text{ус-1}}$  (5) находим  $F''_{\text{эл}}$  по следующей формуле:

$$F''_{\text{эл}} = \frac{F'_{\text{эл}}}{k_{\text{ус-1}}}. \quad (15)$$

Применение трехкаскадного усилительного модуля с коэффициентом усиления позволило разработать энергосберегающий электромагнитный привод, имеющий высокие технико-экономические показатели и низкую металлоемкость по сравнению с известными современными электромагнитными муфтами.

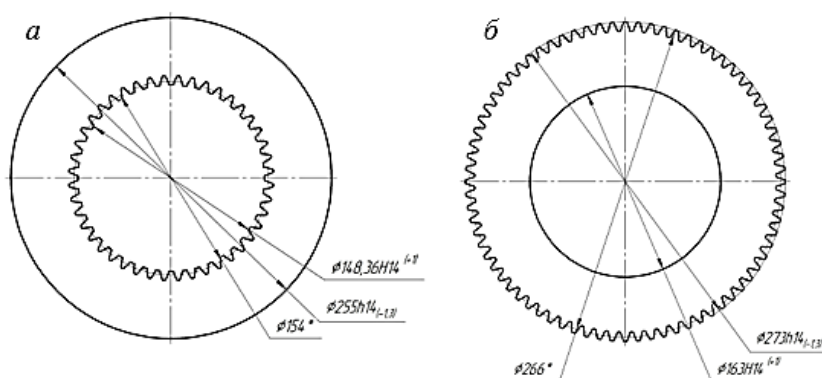
#### **Описание работы фрикционных дисков и электромагнита**

Как было сказано ранее, коэффициент трения и его стабильность зависят более чем от 40 факторов и, согласно [9], во многодисковых фрикционных муфтах используют стальные диски (рис. 4, а) и стальные диски с металлокерамическим покрытием (металлокерамика на железной основе) (рис. 4, б), где коэффициент трения колеблется от 0,12 до 0,15. Этот незначительный разброс существенно влияет на коэффициент усиления трехкаскадного усилительного модуля. В качестве элементов нагружения используются сферические тела качения (шарики) 16, взаимодействующие с нагружающими поверхностями дисков 8 и 9 (см. рис. 2).

Согласно теории вероятностей, геометрические параметры тел качения располагаются по нормальному закону, в котором в начальный период работы реализуются три точки контакта: максимальная и две наиболее близкие к этому значению.

Процесс входа в рабочее состояние остальных элементов (сферических тел качения) происходит после активного износа нагружающих профилей левого 8 и правого 9 дисков (см. рис. 2), что приводит к нарушению их геометрии и возникновению условий, снижающих надёжность работы соединительной муфты, т.е. происходит отклонение угла  $\alpha$  от математически точных значений.

Для обеспечения надёжной и эффективной работы второго каскада – фрикционного усилительного звена применяется трёхточечный контакт, который обеспечивает стабильно устойчивое опирание системы, равномерное нагружение тел качения и передачу одинакового усилия прижатия дисков основной муфты 11.



**Рис. 4. Стальные диски фрикционных муфт:**

а – стальной диск; б – стальной диск с металлокерамическим покрытием

Для освобождения дисков от электромагнита (рис. 5) иногда оказывается недостаточно отключить его питание. Магнитный поток не снижается до нуля из-за остаточного магнетизма в сердечнике электромагнита и дисках, а составляет некоторую величину, определяемую свойствами их материалов. Этого может

оказаться достаточно для того, чтобы диск остался притянутым к электромагниту. Для полного освобождения необходимо на короткое время «перемагнитить» электромагнит, т.е. пропустить ток через его катушку в обратном направлении. При этом, когда магнитный поток снизится до нуля, диск освободится. Величина такого тока, называемого «обратным», составляет 12–20 % от рабочего.

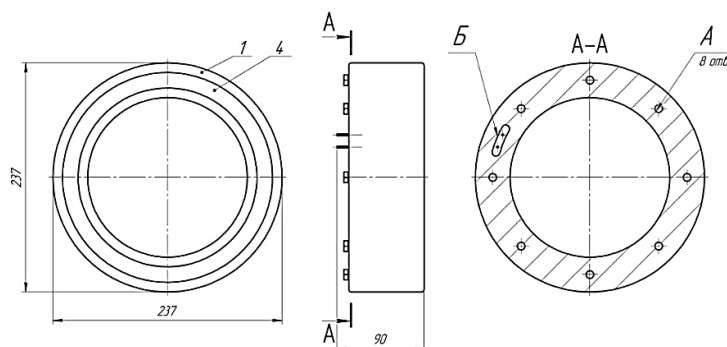


Рис. 5. Электромагнит

При отключении электромагнита происходит быстрое снижение магнитного потока, направляющее в его катушке электромагнитную силу самоиндукции. Величина индуктированного напряжения возрастает при быстром отключении тока и в некоторых случаях может достигнуть 3000–4000 В, т.е. в 15–18 раз превысит номинальное напряжение, что не исключает возможности пробоя изоляции катушки электромагнита.

В блоках управления электромагнитом для ограничения величины перенапряжения параллельно катушке электромагнита подключалось так называемое разрядное сопротивление. При величине разрядного сопротивления, в 5–6 раз превышающей сопротивление катушки электромагнита, перенапряжение практически снижалось до 700–800 В. Так как разрядное сопротивление постоянно подключено к электромагниту, то при его работе оно потребляет дополнительный ток.

Для оперативности управления системой в отключенном состоянии в конструкции муфты используются результаты исследований в области взаимосвязи динамических процессов, происходящих в механической системе и фрикционном контакте. В основе этих исследований лежит упруго-диссипативная природа формирования и разрыва деформационных и адгезионных связей фрикционно-механической системы [12–14].

Таким образом, фрикционная муфта с электромагнитным управлением является важным компонентом многих механизмов и машин. Она позволяет осуществлять плавный пуск и остановку оборудования, а также обеспечивает защиту от перегрузок. Одним из главных преимуществ фрикционной муфты являются минимальные затраты энергии на ее эксплуатацию.

В результате на основе использования теоретических основ трибологии создана высокоэффективная система управления муфтами. В частности, в системе управления соединительными масляными муфтами (см. рис. 1) при использовании явления динамической анизотропии фрикционных связей [13, 14] был создан высокоэффективный усилительный каскад.

С целью снижения затрат мощности на управление соединительной муфтой, предназначенной для тяжёлых путевых машин, в конструкцию введены три усилительных звена, или три каскада усиления.

Первым каскадом усиления является масляная многодисковая фрикционная муфта с электромагнитным управлением. Коэффициент усиления первого каскада

$$k_{yc-1} = n_1 - 1,$$

где  $n_1$  – число ведущих и ведомых дисков.

Вторым каскадом усиления является фрикционное усилительное звено с коэффициентом усиления

$$k_{yc-2} = \text{arcctg} \alpha,$$

где  $\alpha$  – угол наклона нагружающих дорожек.

Третьим каскадом усиления является основная многодисковая масляная фрикционная муфта с электромагнитным управлением с коэффициентом усиления

$$k_{yc-3} = n_3 - 1,$$

где  $n_3$  – число дисков.

В связи с тем, что каскады усиления связаны между собой последовательно, суммарный коэффициент усиления

$$k_{\text{общ}} = k_{\text{ус-1}} \cdot k_{\text{ус-2}} \cdot k_{\text{ус-3}}.$$

Применение мощного трехкаскадного усилительного модуля позволило значительно снизить затраты энергии на работу электромагнитной муфты, снизить её габариты и создать условия для реализации вариантов встроенных в корпус муфты электромагнита и питающего аккумулятора для него.

### **Выводы**

1 Применение мощного усилительного модуля позволяет снизить расходы энергии до 300 и более раз на эксплуатацию соединительной муфты для передвижной электростанции.

2 Усилительный модуль в соединительной муфте позволяет увеличить в 10 и более раз ресурс ее работы без подзарядки встроенного в корпус муфты аккумулятора, что значительно упрощает ее эксплуатацию, а также повышает конкурентоспособность агрегата.

3 Применение явления динамической анизотропии фрикционных связей во втором каскаде усиления позволяет отказаться от первого каскада усиления в виде пусковой многодисковой муфты, что обеспечивает значительное снижение металлоемкости и габаритов муфты.

4 Высокоэффективная, компактная конструкция соединительной муфты может стать основой создания автоматических силовых трансмиссий мобильных технических систем.

### **Список литературы**

1 Highly flexible couplings. Torsional vibrations under control : our product portfolio // Materials of the official website of the German mechanical engineering concern Voith. – 2024. – URL: <https://voith.com/corp-en/highly-flexible-couplings.html> (дата обращения: 20.11.2024).

2 Industrial Power Transmission Equipment. Industrial Clutches // Materials of the official website of the American company WPT Power Corporation – the world's leading manufacturer of mechanical power transmission equipment. – 2024. – URL: <https://wptpower.com> (дата обращения: 20.11.2024).

3 **Озябкин, А. Л.** Динамический мониторинг трибосистемы «подвижной состав – путь» / А. Л. Озябкин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2011. – № 2. – С. 35–47. – ISSN 02101-727X.

4 **Шаповалов, В. В.** Актуальные задачи современной триботехники и пути их решения / В. В. Шаповалов, А. Сладковски, А. Ч. Эркенов // Известия высших учебных заведений. – (Серия «Машиностроение»). – 2015. – № 1 (658). – С. 64–75. – ISSN 0536-1044.

5 Development of methods for analyzing patterns of current consumption in a system for wireless monitoring the effectiveness of metalworking production / A. D. Lukyanov, M. A. Vernezi, O. I. Katin [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2020. – DOI 10.1088/1757-899X/900/1/012017.

6 **Озябкин, А. Л.** Выбор информационных каналов для динамического мониторинга аномальных термодинамических процессов в контакте «колесо – рельс» / А. Л. Озябкин, А. А. Александров

### **References**

1 Highly flexible couplings. Torsional vibrations under control : our product portfolio // Materials of the official website of the German mechanical engineering concern Voith. – 2024. – URL: <https://voith.com/corp-en/highly-flexible-couplings.html> (date of access: 11/20/2024).

2 Industrial Power Transmission Equipment. Industrial Clutches // Materials of the official website of the American company WPT Power Corporation – the world's leading manufacturer of mechanical power transmission equipment. – 2024. – URL: <https://wptpower.com> (date of access: 11/20/2024).

3 **Ozyabkin, A. L.** Dynamic monitoring of the "rolling stock – track" tribosystem / A. L. Ozyabkin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2011. – No. 2. – P. 35–47. – ISSN 02101-727X.

4 **Shapovalov, V. V.** Actual tasks of modern tribotechnics and ways to solve them / V. V. Shapovalov, A. Sladkovsky, A. Ch. Erkenov // Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedeniy. – (Series "Machine Building"). – 2015. – No. 1 (658). – P. 64–75. – ISSN 0536-1044.

5 Development of methods for analyzing patterns of current consumption in a system for wireless monitoring the effectiveness of metalworking production / A. D. Lukyanov, M. A. Vernezi, O. I. Katin [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – 2020. – DOI 10.1088/1757-899X/900/1/012017.

6 **Ozyabkin, A. L.** The choice of information channels for dynamic monitoring of anomalous thermodynamic processes in the contact "wheel – rail" / A. L. Ozyabkin, A. A. Alexandrov // Vestnik

// Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2010. – № 4. – С. 9–20. – ISSN 02101-727X.

7 Optimization of dynamically loaded nonlinear technical systems / V. V. Shapovalov, P. V. Kharlamov, S. L. Gorin [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : Rostov-on-Don, September 11–13, 2020. – Rostov-on-Don, 2021. – Vol. 16. – P. 012043. – DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012043.

8 **Озябкин, А. Л.** Теоретические основы динамического мониторинга фрикционных мобильных систем / А. Л. Озябкин // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2011. – № 10. – С. 17–28. – ISSN 1819-2092.

9 **Бухарин, Н. А.** Автомобили. Конструкция, нагрузочные режимы, рабочие процессы, прочность агрегатов автомобиля : учебное пособие для вузов / Н. А. Бухарин, В. С. Прозоров, М. М. Щукин. – Ленинград : Машиностроение (Ленинградское отделение), 1973. – 504 с.

10 **Харламов, П. В.** Применение физико-химического подхода для изучения механизма образования вторичных структур фрикционного переноса на поверхности контртела / П. В. Харламов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 3. – С. 37–45. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_3\_37.

11 **Харламов, П. В.** Проектирование системы подачи модификаторов трения к фрикционным поверхностям трибологического контакта «колесо – рельс» / П. В. Харламов // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2021. – № 2 (82). – С. 58–66. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_2\_58.

12 **Kharlamov, P.** Application of elastic-dissipative characteristics of the friction contact monitoring for the study of tribological processes in the system “railway track – rolling stock” / P. Kharlamov / Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 403 LNNS. – P. 510–518. – DOI 10.1007/978-3-030-96383-5\_57.

13 **Патент № 2343450 Российская Федерация, МПК G 01 N 3/56 (2006.01).** Способ испытаний узлов трения / В. В. Шаповалов, А. В. Челохьян, А. М. Лубягов [и др.]. – № 2006121024/28 (022825) : заявл. 13.06.06 : опубл. 10.01.2009, Бюлл. № 1. – 33 с.

14 **Патент № 2674899 Российская Федерация, МПК F 16 D 65/00 (2006.01).** Способ повышения эффективности фрикционных систем 2018 / В. В. Шаповалов, М. М. Шестаков, Р. А. Корниенко [и др.]. – № 2016128401 : заявл. 12.07.2016 : опубл. 15.12.2018. Бюлл. № 35. – 20 с.

Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2010. – No. 4. – P. 9–20. – ISSN 02101-727X.

7 Optimization of dynamically loaded nonlinear technical systems / V. V. Shapovalov, P. V. Kharlamov, S. L. Gorin [et al.] // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering : Rostov-on-Don, September 11–13, 2020. – Rostov-on-Don, 2021. – Vol. 16. – P. 012043. – DOI 10.1088/1757-899X/1029/1/012043.

8 **Ozyabkin, A. L.** Theoretical foundations of dynamic monitoring of friction mobile systems / A. L. Ozyabkin // Friction and lubrication in machines and mechanisms. – 2011. – No. 10. – P. 17–28. – ISSN 1819-2092.

9 **Bukharin, N. A.** Automobiles. Design, load conditions, working processes, strength of automobile units : a textbook for universities / N. A. Bukharin, V. S. Prozorov, M. M. Shchukin. – Leningrad : Mechanical Engineering (Leningrad branch), 1973. – 504 p.

10 **Kharlamov P. V.** Application of a physico-chemical approach to studying the mechanism of formation of secondary structures of frictional transfer on the surface of a counterbody / P. V. Kharlamov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2021. – No. 3. – P. 37–45. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_3\_37.

11 **Kharlamov, P. V.** Designing a system for supplying friction modifiers to the friction surfaces of the tribological contact "wheel – rail" / P. V. Kharlamov // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2021. – No. 2 (82). – P. 58–66. – DOI 10.46973/0201-727X\_2021\_2\_58.

12 **Kharlamov, P.** Application of elastic-dissipative characteristics of the friction contact monitoring for the study of tribological processes in the system “railway track-rolling stock” / P. Kharlamov / Lecture Notes in Networks and Systems. – 2022. – Vol. 403 LNNS. – P. 510–518. – DOI 10.1007/978-3-030-96383-5\_57.

13 **Patent No. 2343450 Russian Federation, IPC G 01 N 3/56 (2006.01).** Method for testing friction units/ V. V. Shapovalov, A. V. Chelokhyan, A. M. Lubyagov [et al.]. – No. 2006121024/28 (022825) : declared 13.06.06 : published 10.01.2009, Bull. No. 1. – 33 p.

14 **Patent No. 2674899 Russian Federation, IPC F 16 D 65/00 (2006.01).** Method for increasing the efficiency of friction systems V. V. Shapovalov, M. M. Shestakov, R. A. Kornienko [et al.]. – No. 2016128401 : declared 12.07.2016 : published 15.12.2018 / Bull. No. 35. – 20 p.

*V. V. Shapovalov, T. L. Sayamova, S. L. Gorin, D. A. Ryabysh, O. I. Kovalenko*

## DEVELOPMENT OF A FRICTION MULTI-DISC CONNECTING COUPLING FOR MOBILE POWER PLANTS

**Abstract.** Couplings are of great importance for modern engineering. This paper describes the development of a new frictional multi-disc coupling with three amplification stages to replace the imported analog from Voith engineering concern. The first and third stages are multi-disc couplings operating in oil, and the second one is a friction reinforcement unit (FRU) in the form of two disks and rolling elements. This unit has an electromagnetic control that drives it. It has been established in the study that the use of three stages of amplification increases the strength of the connection and reduces wear of the parts. Due to the use of a multi-stage system, it is possible to use less energy to activate the coupling. Its design with electromagnetic control ensures reliable connection of the units.

**Keywords:** coupling, amplification stage, electromagnet, coefficient of amplification, friction coefficient.

**For citation:** Development of a friction multi-disc connecting coupling for mobile power plants / V. V. Shapovalov, T. L. Sayamova, S. L. Gorin [et al.] // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 4. – P. 60–69. – DOI 10.46973/0201–727X\_2024\_4\_60.

### Сведения об авторах

#### **Шаповалов Владимир Владимирович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Проектирование и технология производства машин»,  
доктор технических наук, профессор,  
e-mail: sha.vv@bk.ru

#### **Саямова Татьяна Липаридовна**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Начертательная геометрия и графика»,  
старший преподаватель,  
e-mail: tmt@rgups.ru

#### **Горин Станислав Леонидович**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Проектирование и технология производства машин»,  
кандидат технических наук, доцент,  
профессор,  
e-mail: Gorinsl@mail.ru

#### **Рябыш Денис Алексеевич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Физика»,  
ассистент,  
e-mail: fiz@rgups.ru

#### **Коваленко Олег Игоревич**

Ростовский государственный университет путей сообщения (РГУПС),  
кафедра «Проектирование и технология производства машин»,  
аспирант,  
e-mail: olegkovalenko2000@mail.ru

### Information about the authors

#### **Shapovalov Vladimir Vladimirovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Design and Technology of Production of Machines»,  
Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
e-mail: sha.vv@bk.ru

#### **Sayamova Tatiana Liparidovna**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Descriptive Geometry and Graphics»,  
Senior Lecturer,  
e-mail: tmt@rgups.ru

#### **Gorin Stanislav Leonidovich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Design and Technology of Production of Machines»,  
Candidate of Engineering Sciences,  
Associate Professor,  
e-mail: Gorinsl@mail.ru

#### **Ryabysh Denis Alekseevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Physics»,  
Assistant,  
e-mail: fiz@rgups.ru

#### **Kovalenko Oleg Igorevich**

Rostov State Transport University (RSTU),  
Chair «Design and Technology of Production of Machines»,  
Postgraduate Student,  
e-mail: olegkovalenko2000@mail.ru