

УДК 629-413-592.112

Вольченко А.И., д.т.н.; Возный А.В., к.т.н.; Стаднык О.Б., аспирант
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

РОБАСТИЧЕСКАЯ МЕТОДОЛОГИЯ РАЗРАБОТКИ ФРИКЦИОННЫХ УЗЛОВ ДИСКОВО-КОЛОДОЧНЫХ ТОРМОЗОВ (часть первая)

Аннотация. В материалах статьи наведена и обоснована робастическая методология разработки фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов, состоящая из шести уровней (качество, устойчивость, стабилизация, регулирование, управление и оптимизация) исходя из энергетических уровней материалов пар трения и их соответствия конструкции фрикционного узла и которая базируется на структурно-параметрическом синтезе пар трения.

Анотація. У матеріалах статті наведена і обґрунтована робастична методологія розробки фрикційних вузлів дисково-колодочних гальм, що складається з шести рівнів (якість, стійкість, стабілізація, регулювання, керування і оптимізація) виходячи з енергетичних рівнів матеріалів пар тертя і їх відповідності конструкції фрикційного вузла, і яка базується на структурно-параметричному синтезі пар тертя.

Abstract. We've pointed and justified robastic methodology of development of friction units of the disk brakes, consisting of six levels (quality, stability, stabilization, control, management and optimization) based on the energy levels of materials of the friction pairs and its compliance with the design of the friction unit and which is based on structural and parametric synthesis of friction pairs.

Введение. Робастный подход к расчету и проектированию фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов подъемно-транспортных машин является новым, перспективным направлением, поскольку включает в себя состояния их поверхностных и подповерхностных слоев, связанных с качеством фрикционных поверхностей, устойчивостью и стабилизацией эксплуатационных параметров. Кроме того, осуществляется регулирование и управление эксплуатационными параметрами при электротермомеханическом трении. В конечном итоге, проводится оптимизация как конструктивных, так и эксплуатационных параметров фрикционных узлов дисково-колодочного тормоза [1, 2].

Состояние проблемы. Остановимся на конструктивных особенностях и работе дисково-колодочного тормоза [1]. На рис. 1 а, б показаны пары трения дисково-колодочного тормоза. Пары трения состоят из фрикционных накладок 2, которые находятся в

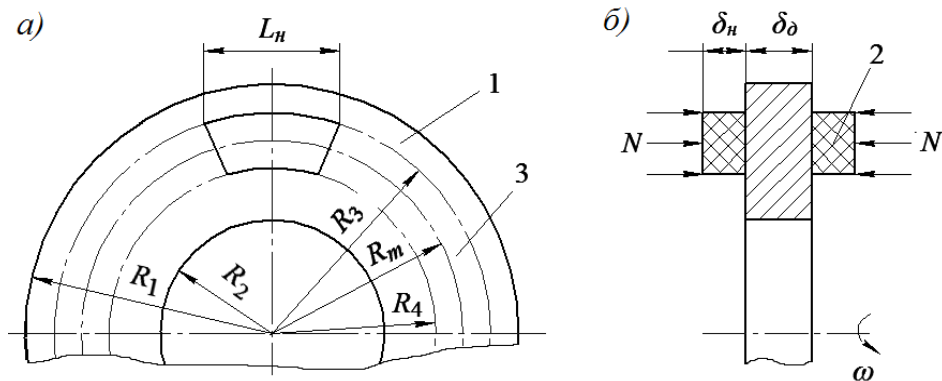


Рисунок 1 а, б – Схема фрикционных узлов дисково-колодочного тормоза (продольный (а) и поперечный (б) разрез)

перемещающихся тормозных колодках. При фрикционном взаимодействии рабочих поверхностей накладок 2 с вращающимся тормозным диском 1 под действием нормального прижимного усилия N образуется беговая дорожка трения диска 3.

В табл. 1 проиллюстрированы расчетные схемы узлов трения.

Использованные обозначения в табл. 1: ω – угловая скорость вращения металлического фрикционного элемента; N – нормальное прижимное усилие; $q_1(\tau)$, $q_2(\tau)$ и $q_3(\tau)$ – удельные тепловые потоки: аккумулируемые в парах трения и рассеиваемые во времени металлическим фрикционным элементом.

В табл. 2 приведены условия работы фрикционных материалов в «сухих» узлах трения дисковых и дисково-колодочных тормозов [1]. Использованные обозначения в табл. 2: $K_{вз}$ – коэффициент взаимного перекрытия пар трения; E – энергия торможения; W – удельная работа трения; V – скорость скольжения; p – удельные нагрузки; τ_m – время торможения; I_h – интенсивность линейного износа.

Проанализируем условия работы фрикционных материалов в «сухих» узлах трения дисково-колодочных тормозов, применяемых в машиностроении. Они характеризуются высокими скоростями скольжения, большими удельными нагрузками, поверхностными температурами, удельными тепловыми потоками, удельной работой трения, энергией торможения за время торможения, изменяющейся от 5,0 до 30,0с при износе рабочих поверхностей пар трения от 10^{-8} до 10^{-6} мм. Высокая энергонагруженность пар трения дисково-колодочных тормозов и заставила обратиться к робастическому подходу к

Таблица 1 – Расчетные схемы узлов трения дисковых и дисково-колодочных тормозов

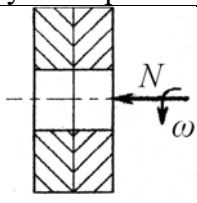
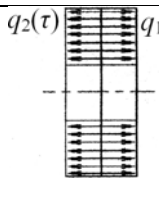
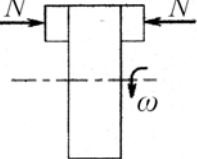
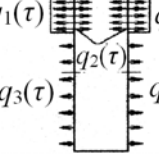
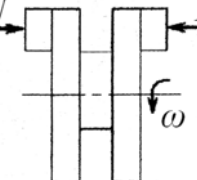
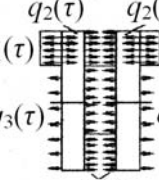
№ п/п	Фрикционные пары	Схемы:	
		узлов трения	тепловые
1.	Диск по диску		
2.	Фрикционные накладки колодок по торцу: сплошного диска		
3.	вентилируемых дисков		

Таблица 2 – Условия работы фрикционных материалов в «сухих» узлах трения тормозов

Узел трения	$K_{вз}$	E , МДж	W , МДж/м ²	q , МВт/м ²	V , м/с	p , МПа	τ_m , с	t , °С	I_h , мм
		до							
Дисково-колодочный (автомобильный)	0,3-0,6	5,0	20,0	6,0	15,0	5,0	5,0	600	10^{-8} - 10^{-7}
То же (ж/д вагона)	0,2-0,4	5,0	250,0	35,0	80,0	1,0	30,0	800	10^{-7} - 10^{-6}
Дисковый (авиационный)	1,0	25,0	40,0	2,5	50,0	2,5	30,0	1400	10^{-8} - 10^{-7}

разработке фрикционных узлов дисково-колодочных тормозных устройств.

Цель работы – обоснование робастической методологии разработки фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов, исходя из энергетических уровней материалов пар трения и их соответствия конструкции фрикционного узла.

Общие принципы робастического подхода. Остановимся на значимости терминологии, входящей в робастический подход:

- качество – объективная и всеобщая характеристика объектов, обнаруживающаяся в совокупности их свойств; одним из основных свойств является переход количественных изменений в качественные;

- устойчивость применительно к энергосистеме – способность восстанавливать исходные (или близкое к нему) состояние после какого-либо возмущения, проявляющегося в отклонении параметров системы от номинального значения;

- стабилизация – упрочнение, приведение в постоянное устойчивое состояние системы или поддержание этого ее состояния, а также само состояние устойчивости, постоянства;

- регулирование стока – перераспределение во времени количества теплового потока от поверхности трения металлического фрикционного элемента изменением его теплового режима;

- управление – воздействие на объект с целью его упорядочения, сохранение качественной специфики, совершенствования и развития;

- оптимизация – процесс выбора наилучшего варианта из возможных или приведение системы в наилучшее (оптимальное) состояние.

На рис. 2 показаны уровни робастической методологии разработки фрикционных узлов дисково-колодочного тормоза с прямой и обратной связью со структурно-параметрическим синтезом его пар трения. Составляющие последнего проиллюстрированы на рис. 3.

Алгоритм синтеза фрикционного узла формируют в соответствии с техническими условиями на пару трения тормоза, в которых должны учитываться для материалов пары составляющие их поверхностных и подповерхностных слоев, рассматриваемые на нано-, микро- и миллиуровнях. при этом необходимо обратить внимание на: работу выхода электронов на их дебаевскую длину пробега, уровень Ферми, тип контакта (омический, нейтральный и блокирующий) и его электро- и теплопроводность, а также условие снижения трибоэффекта [3].

В развитии понимания рис. 2 на рис. 4 – 6 показана детализация уровней (качества, устойчивости, стабилизации, регулирования, управления, оптимизации) робастической методологии разработки узла трения при контактно-импульсном фрикционном взаимодействии. Погруппируем уровни робастического подхода и проанализируем их возможности.

Первый и второй уровни робастической методологии. Процессы, явления и эффекты применительно к электротермомеханическому трению и изнашиванию узлов трения в машиностроении требуют робастического подхода к подбору для них фрикционных материалов на основе параметрического синтеза. Кроме того, должны соблюдаться для материалов узла трения качество

поверхностей, устойчивость и стабилизация как внешних так и внутренних (поверхностных и подповерхностных слоев, исходя из их энергетических уровней) параметров. Нагрузочные режимы узлов трения должны быть регулируемы и управляемы при оптимизированных их конструктивных элементах.

На рис. 4 а, б показаны первый и второй уровни (нано и микро) робастической методологии, касающихся: а – качества поверхностей трибосопряжения; б – внутренних параметров поверхностных и приповерхностных слоев трибосопряжения.

Необходимо обратить внимание на тот факт, что в данном случае качество является свойством фрикционных поверхностей узлов трения, которое может быть с таким же успехом отнесено к стабилизационным, регулируемым и управляемым процессам и режимам, а также к выбору оптимизационных задач.

Вопрос коррозионной стойкости затронут потому, что коррозия металла приводит ежегодно к миллиардным убыткам, и разрешение этой проблемы является важной задачей в тормозостроении. Основной ущерб, причиняемый коррозией, заключается в разрушении поверхностей тормозных дисков косвенным путем.

В случае когда готовая конструкция фрикционного узла не удовлетворяет техническим условиям, то разрабатывается новая конструкция с другими фрикционными материалами, которые в дальнейшем подвергаются как стендовым так и эксплуатационным испытаниям в составе дисково-колодочного тормоза.

Третий, четвертый и пятый уровни робастической методологии. Указанные уровни (рис. 5 а, б, в) в значительной мере зависят от возбуждающих факторов, которыми во фрикционных узлах дисково-колодочных тормозов являются:

- температуры поверхностей фрикционных накладок колодок, которые превышают допустимые для их материалов;

- коробление тормозного диска – результат действия суммарных напряжений, состоящих из остаточных линейных напряжений и напряжений, введенных в диск при его механической обработке, а также температурных напряжений, возникающих в беговой дорожке трения диска при его электротермомеханическом нагружении;

- низкочастотные вибрации, вызванные: торможениями; «холодным» и «горячим» состоянием беговой дорожки трения тормозных дисков на степень усиления или ослабления которых влияет ряд факторов: демпфирующие характеристики кинематической цепи от источника вибрации (пары трения «металл-полимер») до рулевого колеса транспортного средства; неодинаковая толщина тормозного диска в условиях изготовления и эксплуатации; износостойкость материалов диска и рабочих поверхностей накладок

колодок; биение тормозного диска, вызванное его короблением при релаксации остаточных напряжений в эксплуатационных условиях.

Перечисленные факторы необходимо устранять, т.е. уменьшать или полностью «гасить» на первом и втором уровнях робастического



Рисунок 2 – Уровни робастической методологии разработки фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов



Рисунок 3 – Робастическая методология оценки структурно-параметрического синтеза фрикционного узла

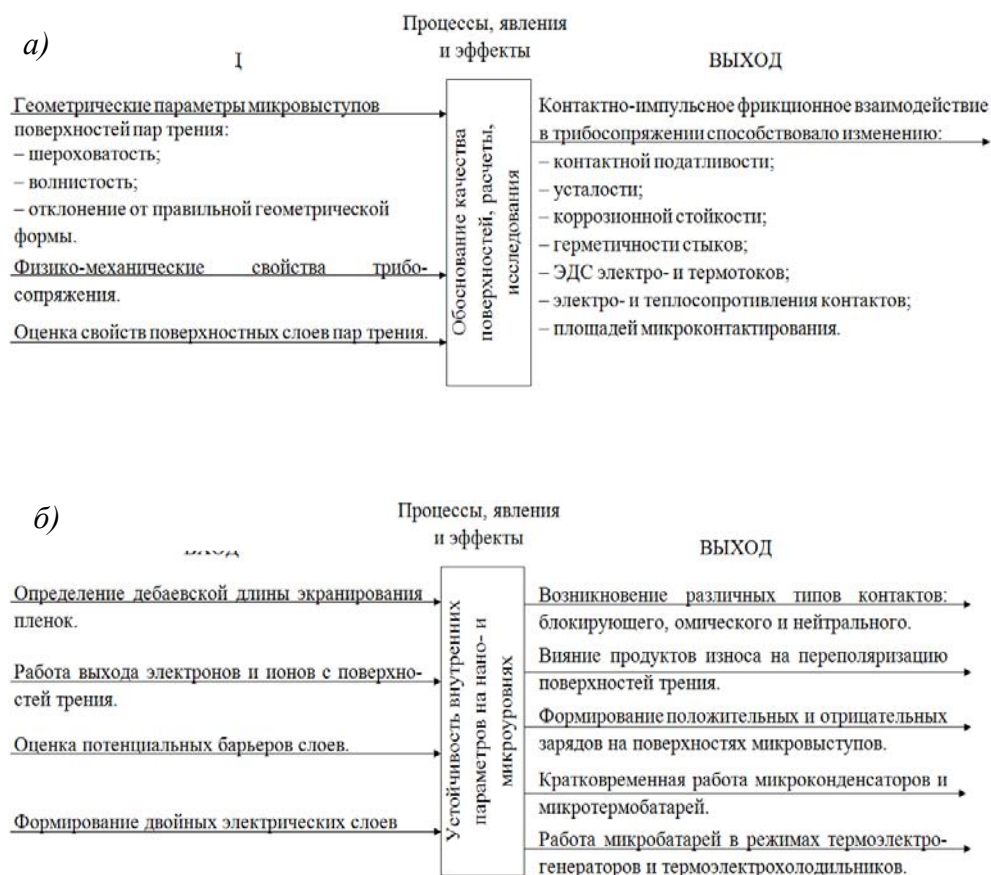


Рисунок 4 *a, б* – Первый и второй уровни (нано и микро) робастической методологии, касающейся: *a* – качества поверхностей трибосопряжения; *б* – устойчивостью внутренних параметров поверхностных и приповерхностных слоев трибосопряжения



Рисунок 5 а, б, в – Третий, четвертый и пятый уровни робастической методологии, касающейся: а - стабилизации эксплуатационных параметров трибосопряжения; б, в – регулирование и управление эксплуатационными параметрами и тормозными режимами фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов

подхода и только тогда можно будет качественно реализовать третий, четвертый и пятый уровни.

Шестой уровень робастической методологии. Последний уровень является итоговым для ранее рассмотренных пяти уровней с точки зрения оптимальных конструктивных параметров фрикционного

узла дисково-колодочного тормоза, в котором обеспечивается оптимум эксплуатационных параметров (рис. 6) Оптимум это наилучшая совокупность наиболее благоприятствующих режимов торможения, т.е. наилучший вариант решения поставленной робастической задачи или путь достижения цели при полученных эксплуатационных параметрах.

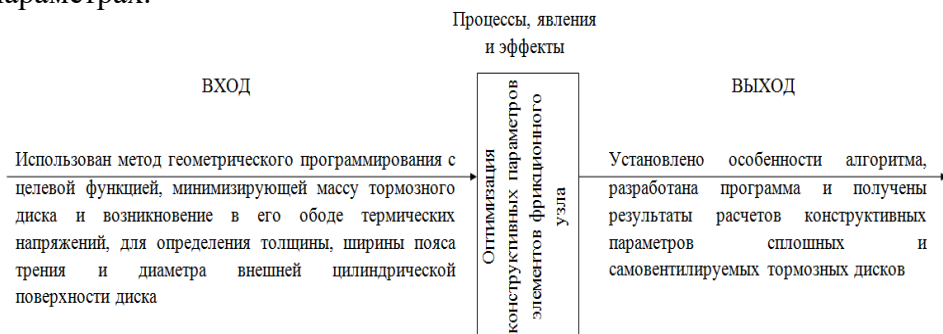


Рисунок 6 – Шестой уровень робастической методологии, касающейся оптимизированных основных конструктивных параметров сплошных и самовентилируемых тормозных дисков

При оптимизации конструктивных и эксплуатационных параметров различных типов фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза необходимо правильно выбрать критерии оптимальности и ограничения выше приведенных параметров. При этом критерии оптимальности элементов фрикционных узлов ленточно-колодочного тормоза могут быть как локальные и комплексные. Для их оценки предлагается использовать многокритериальный анализ [4].

Выводы. Таким образом, проиллюстрирована шестиуровневая робастическая методология разработки фрикционных узлов дисково-колодочных тормозов (кратко). В последующих статьях будет рассмотрен детально каждый из ее уровней.

ЛИТЕРАТУРА

1. Проектный и проверочный расчет фрикционных узлов барабанно- и дисково-колодочных тормозов автотранспортных средств / А. И. Вольченко, А. В. Возный, О. Б. Стаднык [и др.]. – Баку: Апострофф, 2016. – 253с.
2. Трибология / А. И. Вольченко, М. В. Киндрачук, Н. А. Вольченко [и др.]. - Киев-Краснодар: Изд-во «Плай», 2015. - 371с.
3. Джанахмедов А.Х. Синергетика и фракталы в трибологии / А.Х. Джанахмедов, О.А. Дышин, М.Я. Джавадов // Баку: Апострофф, 2014. - 504 с.
4. Даффин Р. Геометрическое программирование / Р. Даффин, Э. Питтерсон, К. Зенер. – М.: Мир, 1972. – 311с.