

УДК 629.3

DOI 10.52928/2070-1616-2024-49-1-71-78

## АКТИВНЫЙ МОНИТОРИНГ СЛОЖНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

*д-р. техн. наук, доц. С.А. РЫНКЕВИЧ*

*(Полоцкий государственный университет имени Ефросинии Полоцкой)*

*Отражены вопросы активного мониторинга и диагностирования технического состояния мобильной машины, оснащенной гидромеханической трансмиссией. Рассмотрены факторы, влияющие на снижение КПД машины и ухудшение работоспособности трансмиссии. Отмечено, что основными процессами, способствующими утрате работоспособности гидромеханической трансмиссии, являются трение и изнашивание рабочих поверхностей деталей и их сопряжений; усталостные процессы в деталях, подверженных действию переменных нагрузок; старение материалов. Названы причины возникновения дефектов и характер их проявления в гидромеханических трансмиссиях, даны мероприятия по непрерывному и активному мониторингу неисправностей в автоматических коробках передач. Установлено, что для проведения активного мониторинга автоматизированных механических и гидромеханических трансмиссий, имеющих сложные элементы взаимодействия зубчатых передач, необходимо получить взаимозависимости между диагностическими параметрами и критериями оценки технического состояния для того, чтобы данную информацию реализовать в алгоритмах мониторинга и диагностики мобильного применения.*

**Ключевые слова:** гидромеханическая передача, мобильная машина, техническое состояние, мониторинг.

**Введение.** Транспортные средства (ТС) и мобильные машины (ММ) широкого назначения (карьерные автомобили-самосвалы, шахтные землевозы, строительно-дорожная техника, тракторы, погрузчики и др.) включают в себя трансмиссии, основные элементы которых – механические и гидромеханические передачи. Взаимодействующие друг с другом звенья и элементы этих механизмов являются принадлежностью валных и планетарных коробок передач, которые неизбежно подвергаются знакопеременным нагрузкам и тепловым напряжениям. Для эффективного выполнения мобильными машинами, оборудованными такими передачами, транспортной работы, повышения ресурса и обеспечения работоспособности необходимо непрерывно в режиме реального времени отслеживать техническое состояние этих сложных передач, т.е. осуществлять активный мониторинг.

Многие мобильные машины оснащены гидромеханическими трансмиссиями (ГМТ). Условия эксплуатации ММ с ГМТ являются настолько сложными и многообразными, что существует большая проблема повышения ресурса машин и обеспечения долговечности их механизмов. Долговечность этих машин, т.е. их способность длительное время сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при определенных условиях эксплуатации, определяется двумя основными условиями: физическим либо моральным износом. Физический износ наступает в том случае, когда дальнейший ремонт и эксплуатация машин и их важнейших механизмов становятся уже невыгодными, т.к. затраты превышают доход в эксплуатации. Моральный износ означает несоответствие параметров машины современным условиям их эксплуатации.

**Основная часть.** Для обеспечения надежности сложных гидромеханических передач и повышения КПД механизмов необходимо обязательное изучение функциональных взаимосвязей элементов в структуре объекта с учетом всего комплекса внешних воздействий. Важную роль при этом играют характеристики механизмов отказов, а также моделирование физических процессов и получение зависимостей, что позволяет анализировать состояние работоспособности элементов. На снижение КПД машины и ухудшение работоспособности ГМТ оказывают влияние внешние и внутренние факторы. К ним относится ряд явлений, которые определяются физико-механическими (деформация, разрушение, разрегулирование, износ и др.), химическими (коррозия, разъедание, диффузия и т.д.), тепловыми (деструкция, перегрев) процессами, протекающими с разной скоростью как независимо друг от друга, так и во взаимосвязи в результате внешних воздействий и внутренних процессов [1].

Анализ состояния работоспособности ГМТ в зависимости от условий функционирования и выбранных оценочных критериев производится с использованием известных теоретических положений по оценке износа деталей, их прочности, герметичности и работоспособности гидравлических устройств.

Для современных сложных гидравлических систем понятие «отказ» не полностью приемлемо. Оно достаточно полно характеризует нарушение работоспособности отдельных элементов и устройств. В сложной разветвленной системе с избыточностью отказ отдельных элементов еще не приводит к отказу всей системы. Чаще его последствия проявляются в снижении эффективности функционирования системы, хотя накопление отказов отдельных элементов, а также воздействие поврежденных деталей на зависимые и связанные с ними элементы могут приводить к полной потере работоспособности всей системы.

Многочисленные исследования и результаты эксплуатационных испытаний подтверждают, что в процессе эксплуатации неисправностям чаще всего подвержены насосы, исполнительные гидравлические устройства, регулирующая аппаратура, фильтры и трубопроводы.

При эксплуатации ММ с ГМТ происходят изменения физических свойств и состояний материала деталей. В результате этого гидравлические и гидротехнические устройства, входящие в состав ГМТ, даже в усло-

виях нормальной эксплуатации ММ подвергаются износу и отказам, снижая тем самым надежность и работоспособность.

Опыт исследований и эксплуатации мобильных машин различного назначения, в частности, карьерной техники, показывает, что основными процессами, способствующими утрате работоспособности ГМТ, являются трение и изнашивание рабочих поверхностей деталей и их сопряжений; усталостные процессы в деталях, подверженных действию переменных нагрузок; старение материалов [1; 2].

Условия протекания процессов в ГМТ ММ в значительной степени зависят как от случайных внешних воздействий, так и от режимов работы механических устройств и гидравлических аппаратов. При этом изменение характеристик этих устройств зачастую подчиняется статистическо-вероятностным зависимостям.

Следуя положениям механики разрушений, длительность времени  $t$ , необходимого для разрушения твердого тела, в частности, картера коробки передач и корпусных деталей, определяется по следующей зависимости:

$$t = t_0 \exp\left(\frac{U_0 - \zeta \sigma_p}{KT_p}\right), \quad (1)$$

где  $U_0$  – энергия активации процесса разрушения для данного материала, Дж;  $\zeta$  – постоянная, близкая к периоду тепловых колебаний;  $\sigma_p$  – разрушающее напряжение, Н/м<sup>2</sup>;  $K$  – постоянная Больцмана,  $K = 1,38 \cdot 10^{-16}$  эрг/град;  $T_p$  – температура в области разрушения, град.

Для анализа напряжений, приводящих к короблению фрикционных дисков ГМТ вследствие повышения термических напряжений, можно воспользоваться выражением

$$\sigma = \frac{2E\delta_d\varphi}{r_B + r_H}, \quad (2)$$

где  $r_B$  и  $r_H$  – внутренний и наружный радиусы диска, м;  $E$  – модуль упругости;  $\delta_d$  – толщина диска, м;  $\varphi$  – угол поворота сечения диска под воздействием разности тепловых расширений диска с нагреваемой и ненагреваемой сторон, определяемый по формуле, экспериментально полученной в заводских условиях при исследовании на стендах фрикционных дисков:

$$\varphi = \frac{2r_B\Delta T}{\delta_d}, \quad (3)$$

где  $\Delta T$  – разность между температурой на поверхности и минимальной температурой диска.

Прогиб  $f$  при короблении диска, вызванный изменением площади контакта и радиальным перепадом температур, для случая несимметричного нагрева вычисляется по формуле

$$f = \varphi(r_H - r_B). \quad (4)$$

Рассмотрим процессы, происходящие при износе элементов гидравлических приводов (ГП), а также деталей коробок передач гидромеханических и механических трансмиссий.

Важными элементами, влияющими на надежность ММ с ГМТ, являются уплотнительные элементы гидравлических аппаратов, насосов, сопряженных деталей ГП. В связи с этим даже небольшой по абсолютной величине износ деталей приводит к потере герметичности и преждевременному выходу из строя устройства в целом.

На основе изучения различных пар трения механических и гидромеханических устройств мобильной машины можно выделить несколько характерных классов этих сопряжений (таблица 1).

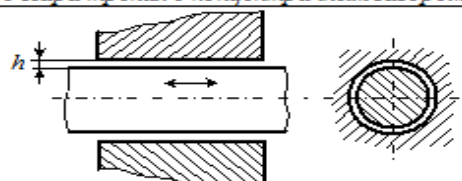
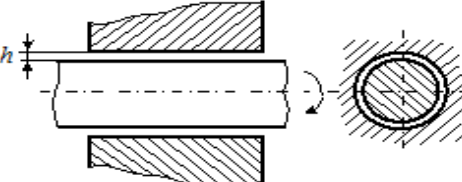
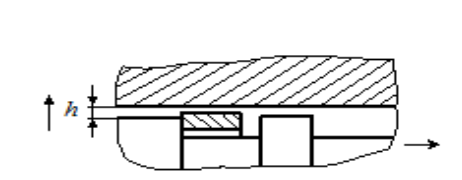
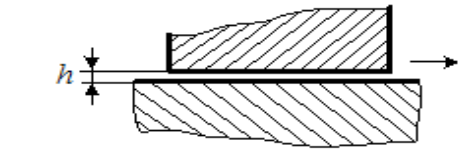
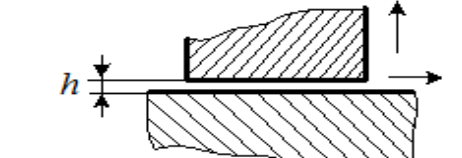
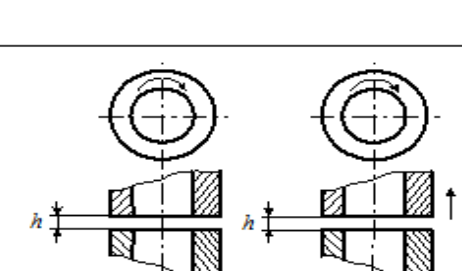
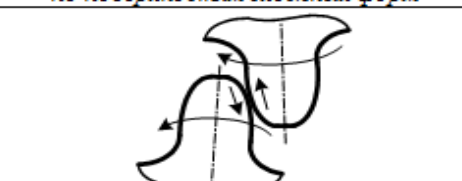
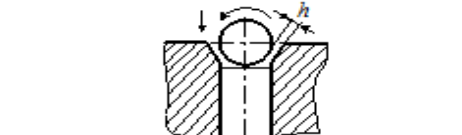
Классификация видов пар трения механических и гидромеханических устройств позволяет более обоснованно подходить к имитационному моделированию условий работы трансмиссии, что важно на стадии проектирования передач, а также помогает выбирать рациональные схемы обеспечения надежности и повышения КПД и работоспособности ГМТ.

Кроме общего требования минимальной силы трения между сопрягаемыми элементами к ним предъявляется требование обеспечения надежной герметизации, что обусловливается функциональными особенностями гидравлических механизмов и спецификой их работы. Для учета этих противоречивых требований необходимо четко представлять механизм износа в таких элементах и прогнозировать закономерности его протекания.

В механических и гидромеханических трансмиссиях «слабыми звеньями» являются зубчатые зацепления. Рассмотрим основные виды дефектов зубчатых передач трансмиссий мобильных машин<sup>1</sup> [3].

<sup>1</sup> Рынкевич С.А. Концептуальные основы диагностики гидрофицированных трансмиссий карьерной техники // Наземные транспортно-технологические комплексы и средства: материалы междунар. конф. / Тюмень (1 февр. 2018 г.) / отв. ред. Ш.М. Мерданов. – Тюмень, 2018. – С. 237–241.

Таблица 1. – Классы сопряжений элементов для анализа износа в ГМП

Класс	Схема взаимодействия	Вид сопряжения и типы элементов
1	2	3
<i>1 Пара трения с концентричным зазором</i>		
1.1 Перемещение одного элемента вдоль оси при неподвижном другом		Элементы насосов; плунжер-корпус золотника; поршень-цилиндр; шток-элемент уплотнения
1.2 Вращение одного элемента вокруг общей оси при неподвижном другом		Элементы вал-корпус насосов; контрольно-регулирующих устройств
1.3 Перемещение с изменением концентричного зазора между элементами		Поршневые кольца-гильза цилиндра; упругие уплотнительные кольца (манжеты); вали (штоки); детали самоуплотняющихся элементов насосов
<i>2 Парты трения с касанием по плоским поверхностям</i>		
2.1 Перемещение одного элемента в своей плоскости, другой – неподвижен или перемещается в другой плоскости		Элементы плоских золотников; поршневые кольца-стенки канавок поршней
2.2 Пары трения с соприкасающимися поверхностями, представляющими параллельные стенки кольцевой формы, из которых одна вращается в своей плоскости, а другая неподвижна		Элементы торцового распределения насосов; торцовые уплотнения гидроаппаратов
2.3 Одна из поверхностей трения имеет возвратно-поступательное движение в направлении, перпендикулярном к плоскости своего размещения		Уплотнительные и распределительные элементы гидравлических устройств с гидрокомпенсацией зазоров
<i>3 Пары трения с касанием взаимодействующих деталей по поверхностям сложных форм</i>		
3.1 Пары с перекачиванием и переменным проскальзыванием деталей в контакте		Зацепление шестерен в шестеренном насосе
3.2 Пары с прерывистым движением деталей в различных плоскостях		Элементы клапанов (шарик-гнездо корпуса), дросселей

Зубчатые передачи как ответственные элементы трансмиссий работают в условиях высоких ударных и вибрационных нагрузок в широком диапазоне температур. В зависимости от конструкции ММ или ТС влияние различных факторов на надежность и долговечность трансмиссии в целом и зубчатых зацеплений в частности изменяется в широких пределах. Для разработки алгоритмов диагностики и мониторинга сложных звеньев и зубчатых зацеплений полезно знать, какие дефекты возникают в процессе эксплуатации ММ, каким образом они влияют на характеристиках передач и какова опасность их для дальнейшей эксплуатации трансмиссии.

Анализ показал, что работа практически любой зубчатой передачи сопровождается таким явлением, когда зубья, проходя зону зацепления, ввиду воздействия знакопеременных нагрузок подвергаются циклическому нагружению. При этом на контактирующих поверхностях зубьев действуют нормальная к ним сила и сила трения. Для каждого зуба напряжения варьируются во времени по прерывистому отнулевому циклу. Повторно-переменные нагружения являются причиной усталостного разрушения зубьев – это их поломки или выкрашивания рабочих поверхностей.

Скольжение и силы трения в зацеплении вызывают ряд дефектов, самыми распространенными из которых являются изнашивание и заедание зубьев. При изнашивании рабочих поверхностей зубьев изменяется исходный эвольвентный профиль, а значит, изменяется направление силовых реакций на подшипники. Увеличиваются зазоры в зубчатом зацеплении, вызывающие дополнительные динамические нагрузки на зубья.

Рассмотрим подробнее причины возникновения дефектов и характер их проявления в период эксплуатации ТС или ММ.

*Усталостное выкрашивание рабочих поверхностей зубьев* (рисунок 1, а) является основным видом разрушения зубьев для большинства зубчатых передач. На ножке зуба вблизи полюсной линии действуют наибольшая нагрузка и большая сила трения, что вызывает разрушительные знакопеременные напряжения. Этот процесс содействует образованию микротрещин на поверхности зубьев. Развитию трещин способствует также расклинивающий эффект смазочного материала, который проникает в трещины зубьев. В результате происходит выкрашивание частиц материала с поверхности, при этом образуются мелкие ямки, из которых зарождаются более крупные раковины на целой поверхности зубьев. К быстрому износу и задиру зубьев приводит такое явление, как нарушение условия образования сплошной масляной пленки из-за того, что масло выжимается в ямки. В итоге возрастают динамические нагрузки, возникают шум и вибрация, повышается температура.

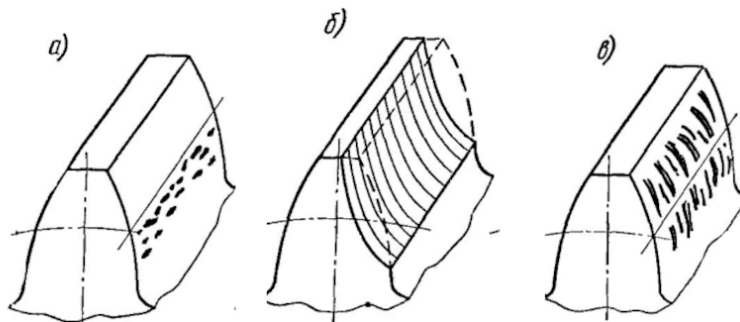


Рисунок 1. – Виды дефектов зубьев

Для предотвращения выкрашивания рекомендуется повышать твердость поверхности зубьев, уменьшать шероховатость рабочих поверхностей, выбирать требуемые сорта масла.

*Изнашивание зубьев* – основной вид разрушения зубьев открытых передач (см. рисунок 1, б). Интенсивность изнашивания зависит от скоростных и нагрузочных режимов работы передачи, а также условий смазки. По мере изнашивания ослабляется ножка зуба, он становится тоньше, увеличиваются зазоры в зацеплении. Все это приводит к потере кинематической точности и в дальнейшем к поломке зубьев.

При правильной эксплуатации трансмиссии изнашивание зубьев будет равномерным. Неравномерность износа зубьев по диаметру делительной окружности может быть вызвана смещением делительного диаметра зубчатого колеса по отношению к оси его вращения или прогибом вала, на котором закреплено зубчатое колесо.

В гидромеханических трансмиссиях коробки передач снабжены фрикционными муфтами, поэтому неравномерное изнашивание зубьев возможно при износе поверхностей качения подшипников, на которых размещены ведомые зубчатые колеса. Ось вращения зубчатого колеса при возникновении зазора в подшипнике смещается, и при замыкании фрикциона происходит неравномерный износ зубьев по диаметру делительной окружности.

Для уменьшения изнашивания необходимо обеспечить защиту от попадания абразивных частиц, можно повысить твердость и снизить шероховатость рабочих поверхностей зубьев, а также за счет модификации уменьшить скольжение зубьев.

*Заедание зубьев* (см. рисунок 1, в) заключается в эффекте микросварки, т.е. приваривании частиц материала одного зуба к другому. При этом разрушается смазочная пленка из-за местного нагрева, что происходит вследствие высоких давлений и скоростей скольжения в зоне контакта. Оторвавшиеся наросты на зубьях задирают рабочие поверхности сопряженных зубьев, бороздя их в направлении скольжения. Заедание зубьев предупреждают повышением твердости, понижением шероховатости рабочих поверхностей зубьев, применением модификации, подбором противозадирных масел, искусственным охлаждением передачи. Заедание является наиболее опасным видом отказа тяжело нагруженных зубчатых передач.

В процессе автоматизации трансмиссий современных транспортных средств следует создавать адаптивные алгоритмы управления и диагностирования для бортовых электронных систем, которые учитывают в режиме реального времени большой объем информации различной физической природы. На современном этапе такие алгоритмы должны быть наделены интеллектуальными качествами, обеспечивая функции управления, контроля и мониторинга в совокупности трансмиссий и других механизмов мобильных машин на высоком уровне [3].

*Дефекты зубьев муфт переключения передач.* Зубчатые муфты (ЗМ) коробок передач представляют собой съемные жесткие муфты, при этом используется внутреннее и внешнее сцепление зубьев для передачи крутящего момента и вращательного движения между двумя половинами муфты. ЗМ выполняют с прямыми зубьями, имеющими наиболее технологичный эвольвентный профиль. Для обеспечения небольшого хода вилок переключения передач стремятся уменьшить длину зубьев муфты за счет увеличения ее диаметра.

Зубья муфт переключения передач с течением времени подвергаются износу. Изнашивание происходит как по боковым поверхностям зубьев, так и по заходным кромкам зубьев ведущих и ведомых зубчатых полумуфт (рисунок 2). При изнашивании или разбивании заходных кромок зубьев изменяется их конфигурация, что затрудняет поворот запирающего звена после синхронизации угловых скоростей и перемещение подвижной полумуфты для ее включения.

Причиной затруднения включения передачи могут быть и поломки как зубьев блокирующего кольца, так и зубьев ведомых или ведущих полумуфт.



**Рисунок 2. – Конфигурация заходных кромок и форма боковых поверхностей зубьев подвижной зубчатой полумуфты**

*Дефекты фрикционных муфт.* В качестве элементов управления в современных вальных и планетарных коробках передач применяются работающие в масле многодисковые фрикционные муфты (ФМ) и тормоза с гидравлическим управлением. Их преимущества: высокая энергоемкость, обеспечивающая передачу большой мощности при относительно малых размерах; плавность изменения момента трения, реализуемая подбором определенного числа дисков; отсутствие необходимости в регулировке зазоров между поверхностями трения; способность передавать вращающий момент в любом направлении; отсутствие радиальных сил, нагружающих валы и их опоры при передаче момента; высокое быстродействие. Недостатки: невозможность полного выключения и, как следствие, необходимость в постоянном подводе рабочей жидкости к поверхностям трения для смазки и охлаждения, что снижает общий КПД трансмиссии; зависимость момента трения от угловой скорости вращения фрикциона из-за действия центробежных сил жидкости, находящейся внутри силового цилиндра.

Многодисковые фрикционные муфты ГМТ работают в довольно сложных условиях, поэтому подвержены ряду дефектов. Рисунок 3 иллюстрирует поломки зубьев блокирующего кольца и ведущей полумуфты.

Некоторые фирмы применяют не плоские, а волнистые фрикционные диски. Высота волны делается обычно 0,3–0,5 мм. Это дает возможность уменьшить суммарную поверхность трения дисков в выключенном состоянии, что снижает потери крутящего момента. Кроме того, такие диски позволяют улучшить плавность включения. Ведущие диски ФМ выполняют из высокоуглеродистых сталей, а ведомые имеют накладки из фрикционных материалов. К материалу фрикционных накладок предъявляются особые требования: высокий и стабильный коэффициент трения; необходимые теплоемкость, теплопроводность, износостойкость и плавность включения, а также прочность соединения со стальной основой диска.

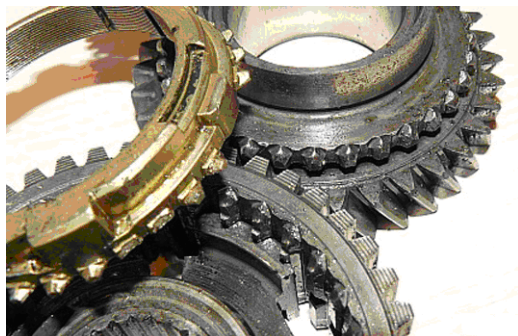


Рисунок 3. – Поломки зубьев блокирующего кольца и ведущей полумуфты

Наиболее широко применяются металлокерамические фрикционные материалы на медной или железной основе, обладающие стабильным коэффициентом трения и высокой износостойкостью, не вызывающие задиоров и схватывания с сопряженной поверхностью, допускающие высокие нагрузки. Толщина металлокерамического слоя составляет 0,25–3 мм. Рабочие поверхности дисков имеют систему каналов, обеспечивающих подвод масла к поверхности трения, отвод тепла и удаление продуктов изнашивания.

Основные дефекты фрикционных муфт: коробление фрикционных дисков от перегрева, вызывающее увеличение остаточного момента трения в выключенных фрикционах; спекание фрикциона при длительном буксовании; износ и отслаивание фрикционных материалов от стальной основы; трещины и поломки дисков; нарушение герметичности нажимных цилиндров; поломка отжимных пружин; деформации шлицев ведущей и ведомой частей фрикционов или их разрушение. Эти дефекты проявляются как металлические шумы и скрежет при переключении передач; рывки при переключении, вызывающие дергание машины; часто возникающая пробуксовка автомобиля, иногда автомобиль не может тронуться с места и его самостоятельное движение невозможно.

*Коробление дисков фрикционов.* Циклический характер процесса функционирования фрикциона приводит к интенсивным повышениям температуры поверхностей трения при включении и постепенном их охлаждении по окончании процесса буксования. Зачастую за промежуток времени между включениями диски не успевают остыть до начальной температуры. При этом максимальная и средняя температуры поверхностей трения будут неуклонно возрастать с каждым последующим включением и могут достигать недопустимо высоких значений, что приведет к короблению дисков (рисунок 4). Стрелками показан характер искривленной при короблении поверхности диска.

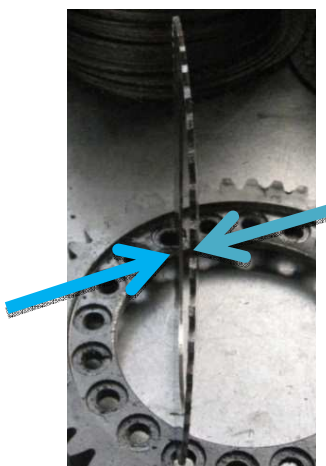


Рисунок 4. – Коробление диска

Коробление дисков ФМ возможно при снижении давления сжатия пакета дисков вследствие утечек через уплотнительные кольца валов, герметизирующего подвижное соединение гидравлических магистралей управления фрикционами или повышенных зазоров в самих гидроцилиндрах фрикционов. В этом случае при передаче больших крутящих моментов возможно длительное буксование фрикционов, которое может привести не только к перегреву и короблению дисков, но и их спеканию.

Коробление дисков ФМ приводит к возрастанию остаточного момента трения в выключенных фрикционах, что сказывается на КПД трансмиссии, к перекоосу и заеданию дисков на шлицах ведомой или ведущей полумуфт (рисунок 5).



**Рисунок 5. – Заедание покоробленного диска на шлицах фрикционной муфты**

Происходит однобокое истирание фрикционного слоя, находящегося в постоянном контакте с покоробленным диском (рисунок 6).



**Рисунок 6. – Односторонний износ фрикционного слоя ведомого диска**

Следствием коробления дисков является увеличение времени буксования ФМ при включении, а также уменьшение передаваемого крутящего момента из-за потери давления на выравнивание пакета дисков для создания необходимой силы трения, увеличение момента поводок в выключенном фрикционе.

Внешними проявлениями коробления дисков фрикциона являются повышенный остаточный момент трения (момент поводок), вызывающий движение автомобиля при выключенных передачах, заглохание двигателя на режиме холостого хода и «нейтрали» в коробке передач.

**Заключение.** Для проведения активного мониторинга автоматизированных механических и гидромеханических трансмиссий, имеющих сложные элементы взаимодействия зубчатых передач, необходимо получить взаимозависимости между диагностическими параметрами и критериями оценки технического состояния, для того чтобы данную информацию реализовать в алгоритмах мониторинга и диагностики мобильного применения, т.е. средствами бортовой микроэлектроники. На предварительном этапе на основе всестороннего изучения физических процессов, приводящих к дефектам и неисправностям элементов коробок передач, выявляют закономерности и тенденции развития дефектов, что позволяет прогнозировать работоспособное состояние и обеспечить повышение ресурса мобильной машины.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рынкевич С.А. Автоматизация диагностирования механических и гидромеханических трансмиссий // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр. В 2 т. / Белорус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д.В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск: БНТУ, 2020. – Т. 1. – С. 46–50.
2. Рынкевич С.А. Управление и диагностирование гидрофицированных трансмиссий: состояние проблемы и перспективы развития // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. – Минск: БНТУ, 2021. – С. 77–88.
3. Рынкевич С.А. Методология проектирования подвижных объектов // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. – Минск: БНТУ, 2018. – С. 130–153.

## REFERENCES

1. Rynkevich, S.A. (2020). Avtomatizatsiya diagnostirovaniya mekhanicheskikh i gidromekhanicheskikh transmissii [Diagnostic automation mechanical and hydromechanical transmissions]. In D. Kapskii (Ed.). *Avtotraktorostroenie i avtomobil'nyi transport*: Vol. 1, (46–50). Minsk: BNTU. (In Russ., abstr. in Engl.)
2. Rynkevich, S.A. (2021). Upravlenie i diagnostirovanie gidrofitsirovannykh transmissii: sostoyanie problemy i perspektivy razvitiya [Control and diagnosis of hydraulic transmissions: state of the problem and prospects for development]. *Transport i transportnye sistemy: konstruirovaniye, ekspluatatsiya, tekhnologii* (77–88). Minsk: BNTU. (In Russ., abstr. in Engl.)
3. Rynkevich, S.A. (2018). Metodologiya proektirovaniya podvizhnykh ob"ektov [Methodology for designing moving objects]. *Transport i transportnye sistemy: konstruirovaniye, ekspluatatsiya, tekhnologii* (130–153). Minsk: BNTU. (In Russ., abstr. in Engl.)

Поступила 11.11.2023

## ACTIVE MONITORING OF COMPLEX ELEMENTS OF HYDROMECHANICAL TRANSMISSIONS OF MOBILE MACHINES

S. RYNKEVICH

(*Euphrosyne Polotskaya State University of Polotsk*)

*The issues of active monitoring and diagnosing the technical condition of a mobile machine equipped with a hydromechanical transmission are reflected. The factors influencing the decrease in machine efficiency and the deterioration of transmission performance are considered. It is noted that the main processes contributing to the loss of performance of a hydromechanical transmission are friction and wear of the working surfaces of parts and their interfaces; fatigue processes in parts subject to variable loads; aging of materials. The causes of defects and the nature of their manifestation in hydromechanical transmissions are given, as well as measures for continuous and active monitoring of faults in automatic transmissions. It is noted that in order to carry out active monitoring of automated mechanical and hydromechanical transmissions that have complex elements of gear interaction, it is necessary to obtain interdependencies between diagnostic parameters and criteria for assessing the technical condition in order to implement this information in monitoring and diagnostic algorithms for mobile applications.*

**Keywords:** *hydromechanical transmission, mobile machine, technical condition, monitoring.*