

7. Agricultural Machinery / N. Murakami, K. Otsuka, K. Inoue // Sugimoto 61(5) 93. DOI: 10.11357 / jsam 1937.61.5 93.

### **Information about authors**

1. **Alatyrev Sergey Sergeevich**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Chuvashskaya, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: if7@academy21.ru, tel. 8 9373911350;

2. **Alatyrev Aleksey Sergeevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport and Technological Machines and Complexes, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; Tel. 8 9050273957;

3. **Kruchinkina Irina Sergeevna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mathematics, Physics and Information Technologies, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; Tel. 8 9176533438.

УДК 621.792:621.815

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СОЕДИНЕНИЙ С НАТЯГОМ (НА ПРИМЕРЕ ПОДШИПНИКОВЫХ ПОСАДОК)**

**Ю. В. Иванщиков, А. М. Новиков, Ю. Н. Доброхотов, В. Н. Гаврилов**

*Чувашский государственный аграрный университет  
428003, Чебоксары, Российская Федерация*

**Аннотация.** Ресурс отремонтированной сельскохозяйственной техники во многом определяется качеством ремонта узлов подшипников качения, материалами и способами, применяемыми для их восстановления. Для сравнения эффективности применения новых материалов и способов их нанесения проводились эксплуатационные и лабораторные испытания. При этом предпочтение отдавалось лабораторным ускоренным испытаниям. Обеспечивая наиболее короткую обратную связь, ускоренные испытания позволяют своевременно контролировать качество деталей, оперативно вносить коррективы в технологические процессы восстановления и незамедлительно оценивать их эффективность. Одним из основных объектов измерений при испытаниях является износ техники. В работе представлены результаты разработки устройства для безразборного определения технического состояния испытываемых соединений с гарантированным натягом. Предлагаемое устройство может успешно применяться при сборке и демонтаже соединений с натягом, для их восстановления с помощью полимерных материалов и повышения несущей способности прессовых посадок внесением в зону контакта составов с абразивными порошками без их разборки. В частности, подача микропорошка М5 позволило увеличить усилие, необходимое для радиального смещения испытываемого соединения в 1,9 раза.

**Ключевые слова:** ускоренное испытание, измерение износа, неразрушающий контроль, восстановление натяга.

**Введение.** Эксплуатационная надежность отремонтированной сельскохозяйственной техники в значительной степени определяется долговечностью узлов подшипников качения [1], [21], [29], [31].

Недолговечность подшипниковых узлов является одним из факторов, ограничивающих рост межремонтной наработки отремонтированных машин [3], [19], [24].

Сложившаяся ситуация объясняется тем, что при восстановлении работоспособности подшипниковых узлов не учитываются сложность и многофакторность процессов трения и износа, протекающих в зоне контакта [13], [18], [22]. Для повышения долговечности этих соединений и обеспечения необходимой прочности в течение межремонтного срока эксплуатации продолжают поиски новых материалов и разрабатываются способы их нанесения на изношенные посадочные поверхности [5], [12], [15]. Для успешного сравнения эффективности применения новых материалов и технологий их использования необходимы испытания этих соединений. Испытания соединений могут проводиться как в эксплуатационных (при установке их в узлы или агрегаты работающих машин), так и в лабораторных условиях (с использованием соответствующих испытательных стендов). При этом особое место занимают методы и средства, обеспечивающие высокую достоверность информации, получаемую в процессе испытаний. Достоверность результатов стеновых испытаний определяется, прежде всего, уровнем моделирования характера и формы изнашивания рабочих поверхностей деталей объектов испытания, свойственных естественному изнашиванию в реальных условиях. Достоверность будет высокой, если выдержан основной принцип ускоренных испытаний – сохранение природной основы всех процессов изнашивания рабочих поверхностей деталей, то есть воспроизведение качественной стороны износа [4], [8], [30]. Это возможно лишь в том случае, если вся совокупность физико-химических воздействий на изучаемый объект будет подобна условиям эксплуатации.

Обеспечивая наиболее короткую обратную связь, ускорение испытания позволит своевременно проконтролировать качество деталей, оперативно внести коррективы в технологические процессы восстановления и незамедлительно оценить их эффективность [1], [16], [23].

Одним из основных объектов измерений при трибологических испытаниях соединений с гарантированным натягом является износ. Износ представляет собой результат изнашивания (изменение размеров, формы, массы деталей и др.), определяемый в установленных единицах.

Существуют интегральные и дифференциальные методы оценки износа или степени повреждения изношенной детали. Классификация известных методов измерения износа поверхностей трения представлена в таблице [20].

Таблица – Классификация методов измерения износа поверхностей

Группа методов	Метод измерения износа	Критерий оценки износа
Интегральные	Измерение суммарного износа	Изменение массы образца (детали) Изменение объема образца (детали) Изменение зазора в сопряжении трущихся поверхностей
	Анализ содержания продуктов изнашивания в смазочном материале	Изменение химического состава смазочного материала (химический метод) Изменение спектра пламени при сжигании пробы смазочного материала (спектральный метод) Изменение радиоактивности смазочного материала (радиометрический метод) Изменение спектров гамма – излучения пробы смазочного материала (активизационный метод)
	Измерение эксплуатационных параметров сопряжений	Изменение коэффициента трения с контролем Изменение утечек или расхода смазочного материала в сопряжении
Дифференциальные	Метод микрометрических измерений	Изменение размеров образца (детали) Изменение профилограммы поверхности (метод профилографирования)
	Метод искусственных баз	Изменение размеров отпечатка на поверхности (метод отпечатков) Изменение размеров вырезанной на поверхности лунки (метод лунок) Изменение размеров слепков поверхности (метод слепков)
	Метод поверхностной активизации	Изменение радиоактивности участка поверхности Изменение радиоактивности вставки (вставок) в поверхность

Область применения тех или иных методов определяется поставленной целью исследования, требуемой точностью и возможностью измерения в условиях эксплуатации без разборки (а в ряде случаев без остановки) машины, затратами времени и средств, необходимых для всего цикла подготовки, обработки результатов измерений.

Каждый из указанных методов не является универсальным, имеет свои положительные и отрицательные стороны.

К основным требованиям триботехнических характеристик соединений с гарантированным натягом (функции отклика системы) при определении износа следует отнести адекватность физическому состоянию системы, оперативность получения, техническая осуществимость.

В связи с этим главной **целью** работы является разработка устройства для безразборного определения технического состояния соединений с натягом, в том числе подшипниковых узлов соединений, определить их основные характеристики и возможные границы применения.

К оперативным и относительно адекватным методам оценки неподвижных соединений с гарантированным натягом можно было бы отнести анализ сигналов акустической эмиссии и изменения электросопротивления контакта [6]. Однако в настоящее время они остаются технически трудно осуществимыми, что усугубляется сложностью интерпретации полученной с их помощью информации.

Поскольку основным содержанием этой информации должна быть оценка степени и скорости изнашивания поверхностных слоев, то для оперативности и практической применимости удобно использовать характеристики гидроплотности зоны контакта, которые определяются расходом рабочей среды через зону контакта. Такой метод определения износа триботехнических сопряжений с зазором был предложен в работе Ф. Я. Загавура [14], который предлагает выявлять износостойкость пар трения по первоначальному расходу (кг/ч, см<sup>3</sup>/ч) рабочего вещества, проходящего через щели между трущимися поверхностями, или по падению давления (Па/мин). Рабочими веществами могут быть воздух, различные газы, смазочные масла и другие жидкости. Сущность метода заключается в изменении первоначального расхода рабочего вещества вследствие изменения зазора между трущимися поверхностями в процессе изнашивания.

Аналогичный подход оказался возможным и для осуществления контроля триботехнических процессов в соединениях с гарантированным натягом.

**Материалы и методы исследования.** Для осуществления контроля за триботехническими процессами в соединениях с гарантированным натягом разработано оборудование и способы его применения.

Предложенный способ контроля за изменением состояния неподвижного соединения с натягом может быть использован для решения широкого круга триботехнических задач, таких, как разработка новых износостойких антифрикционных материалов, исследование механизма разрушения поверхностных слоев зоны контакта в условиях фреттинг-процесса, циклической контактной нагрузки, разработка методов снижения указанных видов изнашивания и повреждения поверхностей трения, оценка эффективности применения новых материалов или технологических процессов обработки поверхностей контакта элементов соединения и др.

Способ осуществляется следующим образом (рис. 1).

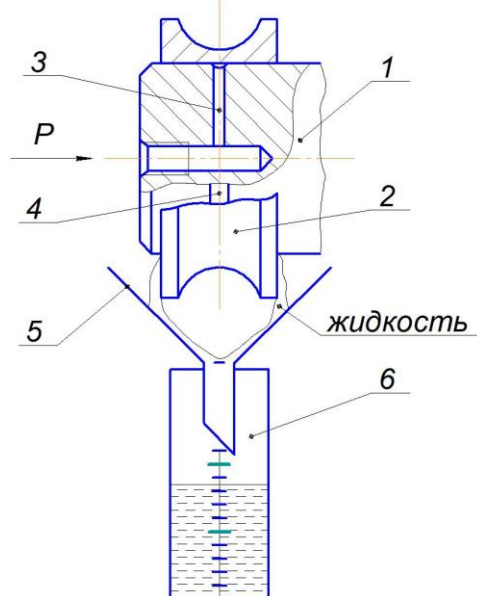


Рис. 1. Схема применения способа безразборной оценки неподвижного соединения с натягом: 1 – вал; 2 – кольцо подшипника качения; 3 – радиальный канал; 4 – распределительная канавка; 5 – воронка; 6 – мерный стакан; P – давление рабочей жидкости.

В средину зоны контакта соединения с гарантированным натягом по специально нарезанному каналу подается жидкость под давлением P. Одновременно производят измерение расхода жидкости, просачивающейся через зону контакта и ее давление, при котором обеспечивается зазор в пределах поля допуска посадочной поверхности, т.е. появляется стабильный слой подаваемой жидкости, преодолевающей контактное давление посадки. При этом о величине натяга в зоне контакта судят по величине давления жидкости, при котором обеспечивается поступление стабильного слоя подаваемой жидкости.

Далее по мере наработки испытываемого узла (соединения) через определенные интервалы времени (циклы нагружения) измерения повторяют, и по величине давления жидкости при заданном ее расходе судят о натяге в неподвижном соединении и, как следствие, о его износе.

Особенностью предлагаемого способа контроля является то, что его осуществление не требует разборки прессового соединения, т.е. изменения первоначального положения элементов соединения.

Устройство, реализующее предлагаемый способ, служит для получения необходимого давления жидкости и поддержания его величины на необходимом по условиям эксперимента уровне. Оно состоит из следующих основных функциональных частей: источника высокого давления рабочей жидкости, гасителя пульсации, средств регулирования давления, узла регистрации состояния неподвижного соединения, вспомогательных трубопроводов (рис. 2).

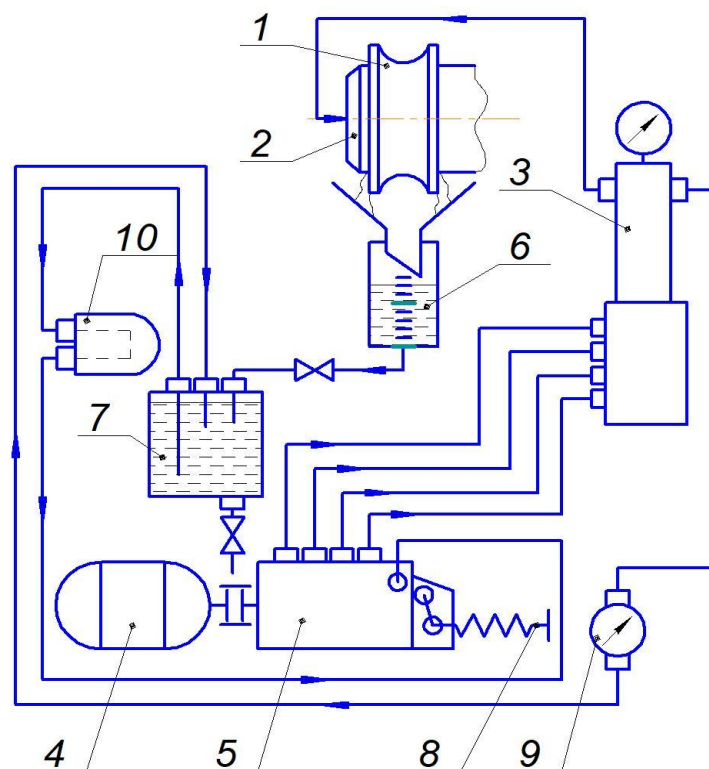


Рис. 2. Принципиальная схема устройства для осуществления способа безразборной оценки неподвижного соединения с натягом: 1 – кольцо подшипника качения; 2 – вал; 3 – гаситель пульсации; 4 – привод насоса; 5 – насос высокого давления; 6 – мерный стакан; 7 – емкость; 8 – регулятор давления; 9 – грубый регулятор давления; 10 – фильтр.

Источник высокого давления служит для получения необходимого давления на подаваемую жидкость и обеспечения ее расхода, т.е. должно удовлетворяться условие:

$$Q_H \geq Q_1 + Q_2 + Q_3,$$

где:  $Q_H$  – производительность насоса, см<sup>3</sup>/мин;

$Q_1$  – расход жидкости через испытываемое соединение, см<sup>3</sup>/мин;

$Q_2$  – расход жидкости через регулятор давления, см<sup>3</sup>/мин;

$Q_3$  – расход жидкости через различные неплотности соединительных трубопроводов, см<sup>3</sup>/мин.

Он состоит из топливного насоса высокого давления марки УТН-5. Насос получает привод от трехфазного электродвигателя переменного тока мощностью в 3,0 кВт и частотой вращения в 1500 мин<sup>-1</sup>. Двигатель и насос соединены между собой с помощью полужесткой муфты и установлены на сварной раме. Рабочая жидкость поступает в насос из емкости, расположенной рядом. Роль рабочей жидкости выполняет дизельное топливо. В целях плавного регулирования создаваемого насосом давления всережимный центробежный регулятор оборотов кулачкового вала отключен. Топливный насос с помощью четырех форсунок типа ФШ-62005, установленных в нижней головке гасителя пульсаций, закачивает рабочую жидкость в полость резервуара гасителя пульсации, изготовленного из стали 45.

Гаситель пульсации служит для накопления рабочей жидкости под высоким давлением и устранения ее пульсации в результате чередования впрыска порции рабочей жидкости форсунками. Величина давления в резервуаре гасителя пульсации контролируется манометром типа ОБМГн 1-160 (ГОСТ 2405-68) с пределом измерения до 60 МПа.

Гаситель пульсации с резервуаром имеет два выхода. Первый выход связан с устройством грубого регулирования давления подаваемой жидкости, который также выполняет функцию предохранительного клапана.

Регулировочное устройство состоит из бесштифтовой форсунки типа ФД-22, которая в целях плавного изменения давления жидкости была изменена. Для достижения поставленной цели игла распылителя форсунки была жестко связана с винтом регулирования давления впрыска. К форсунке присоединили трубопровод для слива перепускаемой рабочей жидкости в емкость.

Точная регулировка величины давления подаваемой жидкости осуществлялось с помощью регулировочного механизма, жестко соединенного с рейкой топливного насоса.

Второй выход через трубопровод высокого давления связан с распределительной канавкой контролируемого прессового соединения.

Рабочая жидкость под давлением из резервуара гасителя пульсации по трубопроводу высокого давления поступает в полость осевого канала вала-образца и через радиальные отверстия попадает в распределительную канавку. Давление в распределительной канавке будет повышаться до тех пор, пока не будет преодолено контактное давление посадки на сопряженных поверхностях, что определяется появлением жидкости на торцевых поверхностях контролируемого соединения. Этот момент характеризуется появлением нестабильного тончайшего слоя жидкости между поверхностями охватывающей и охватываемой деталей, периодически разрываемого контактным давлением посадки, этому же периоду соответствует утечка жидкости, связанная с различными погрешностями изготовления поверхностей элементов контакта и нарушением правил сборки соединения, не превышающими допустимые значения (находящиеся в пределах полей допуска). С повышением давления в системе происходит дальнейшее раскрытие стыка. Рост давления жидкости способствует стабилизации толщины слоя жидкости в сопряжении.

Величина давления рабочей жидкости в посадке непосредственно связана с контактным давлением на сопрягаемых поверхностях, величина которого зависит от значения посадочного натяга в сопряжении.

Количество жидкости, вытекающей через зону контакта элементов соединения за единицу времени, при различных значениях натяга и постоянном давлении будет различной.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Для применения способа необходимо иметь графические характеристики гидроплотности зоны контакта для различных стандартных посадок. Графики получают последовательным изменением величины давления рабочей жидкости и фиксацией ее расхода для постоянных значений времени.

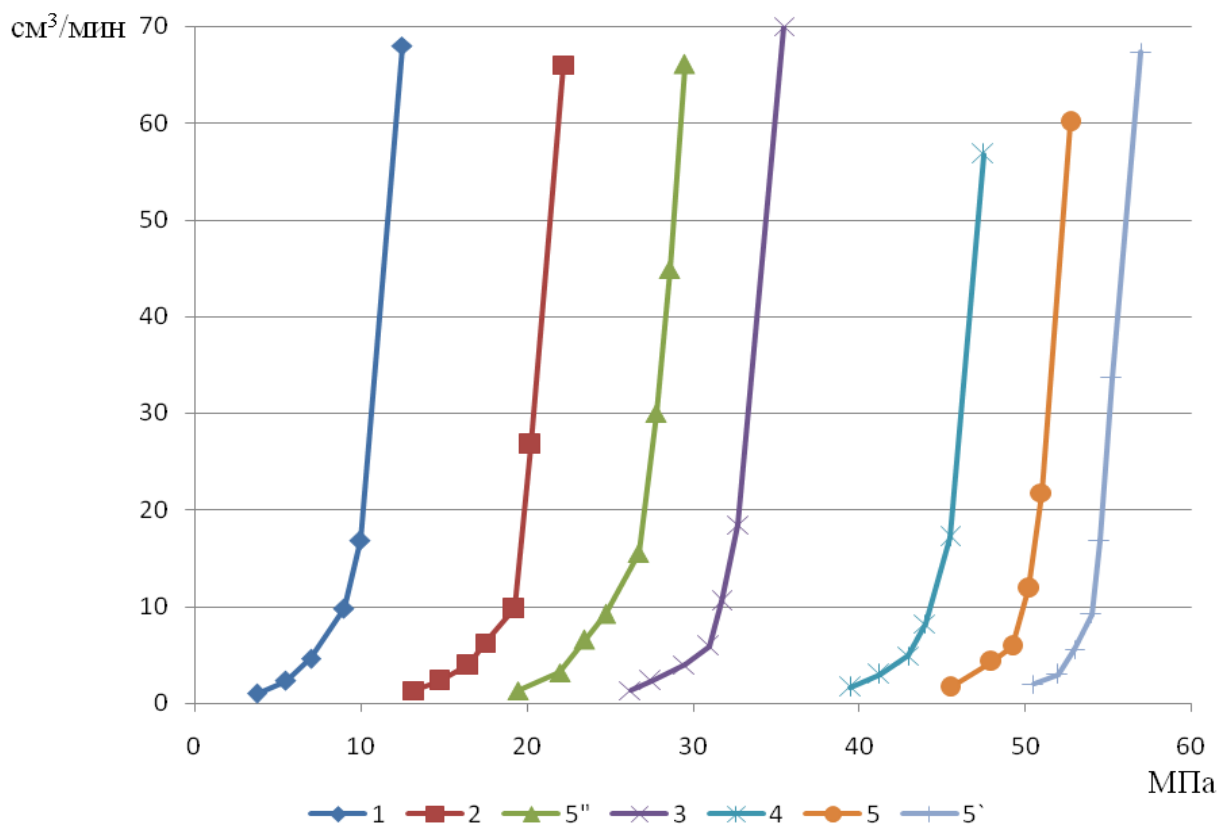


Рис. 3. Графические характеристики плотности неподвижного соединения кольца подшипника 313 с валом при различных значениях натяга в посадке (расход жидкости 45 см<sup>3</sup>/мин):

1 – натяг 7 мкм; 2 – натяг 19 мкм; 3 – натяг – 34 мкм; натяг – 46 мкм; 5 – натяг 52 мкм.

Далее для различных фиксированных значений расхода жидкости, просачивающейся через сопряжение, строят графики зависимости величины давления от натяга в соединении (рис. 4) и по нему определяют износ в контролируемом неподвижном соединении с натягом для любого интервала наработки без нарушения первоначального положения элементов соединения.

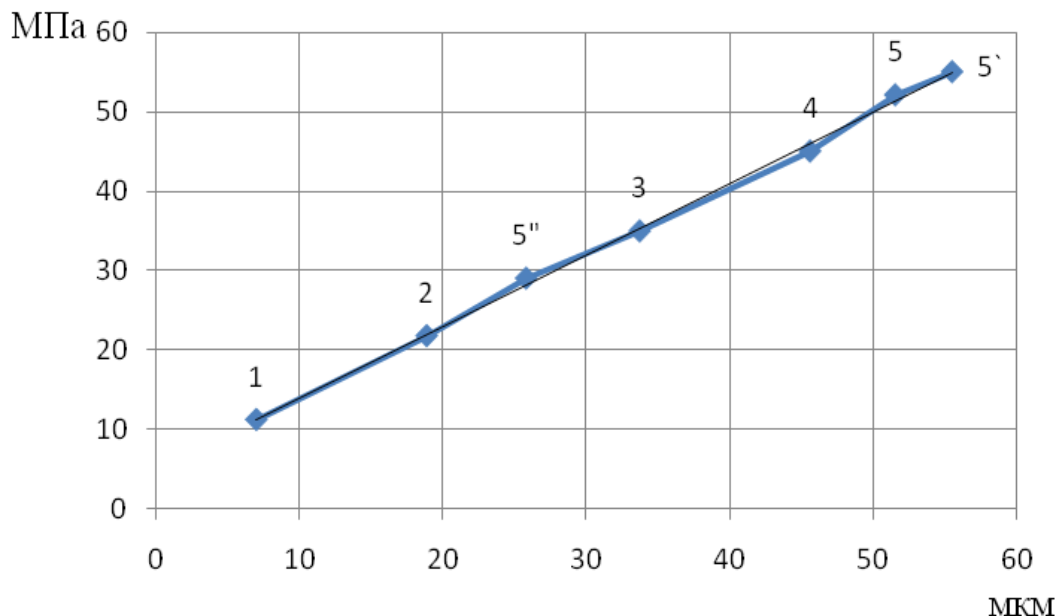


Рис. 4. Номограмма для определения остаточного натяга в неподвижном соединении с натягом (расход жидкости  $45 \text{ см}^3/\text{мин}$ ).

С целью уменьшения погрешности величин натяга величина давления жидкости, при котором образуется зазор, определяется на линейном участке графика «давление – расход» при заданном количестве утечки.

В научной работе [26] отмечается, что 17...25 % узлов подшипников качения утрачивают работоспособность по причине нарушения плотности посадки неподвижных соединений «корпус – наружное кольцо подшипника качения» и «вал – внутренне кольцо подшипника качения» по причине фреттинг–коррозии, возникающий вследствие микроколебательных процессов в зоне контакта. Одним из путей предотвращения фреттинг–процесса и восстановления плотности посадки служит перенос микроколебательных процессов в слой промежуточной пленки из полимерного материала (различные герметики, синтетические клеевые материалы и т.п.). В этом случае устройство может быть успешно применено для удаления продуктов износа из поврежденной посадки и последующей подачи в зону контакта полимерного материала для формирования демпфирующей пленки [7], [10], [25].

Устройство также может быть применено для повышения несущей способности соединений с натягом, воспринимающих крутящие моменты [32]. При подаче смеси абразивного порошка фракции М5 с дизельным топливом в зону контакта втулки из термообработанной стали 45 и вала из стали 40ХС усилие, необходимое для радиального смещения втулки, увеличилось в 1,9 раза.

При необходимости устройство оно может быть использовано для гидрораспора при сборке и демонтаже тяжело нагруженных подшипниковых узлов и прессовых соединений с гарантированным натягом [9].

Обязательным условием во всех приведенных случаях является необходимость использования кольцевой канавки в середине поверхности контакта с радиальными каналами для равномерного распределения, подаваемого через осевой канал рабочего материала.

Конструктивно нарезание канавок на валах и посадочных поверхностях корпусных деталей и каналов для подачи материала техническую сложность не представляет. Оно достаточно подробно проанализировано в научных работах [28].

При технических затруднениях учета количества жидкости, просачивающейся через образовавшийся зазор, его величину можно определить по постоянству давления подаваемой жидкости. В этом случае необходима номограмма, связывающая утечку жидкости через изменяющуюся величину зазора при известных значениях давления.

**Выводы.** Предлагаемый способ измерения износа обеспечивает повышение точности определения износостойкости триботехнических систем с гарантированным натягом и их производительности без нарушения исходного взаимного положения элементов системы.

#### Литература

1. Ачкасов, К. А. Повышение долговечности неподвижных соединений / К. А. Ачкасов // Техника в сельском хозяйстве. – 1980. – № 12. – С. 42-43.
2. Бабусенко, С. М. Исследование износа и долговечности подшипниковых узлов тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / С. М. Бабусенко. – Москва, 1963. – 145 с.

3. Беркович, М. С. Исследование и повышение долговечности подшипниковых узлов тракторных трансмиссий: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / М. С. Беркович. – Москва, 1972. – 130 с.
4. Бурумкулов, Ф. Х. Совершенствование методов и средств оценки работоспособности и долговечности восстановленных соединений и деталей машин: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Ф. Х. Бурумкулов. – Москва, 1986. – 38 с.
5. Васьков, В. И. Исследование влияния динамических нагрузок на долговечность сопряжений вал-подшипник: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / В. И. Васьков. – Саратов, 1973. – 172 с.
6. Власов, В. М. Работоспособность упрочненных трущихся поверхностей / В. М. Власов. – Москва: Машиностроение, 1987. – 334 с.
7. Восстановление посадок подшипников качения / Ю. В. Иванщиков, Ю. Н. Доброхотов, Н. Н. Пушкаренко, Р. В. Андреев // Научно-образовательная среда как основа развития агропромышленного комплекса и социальной инфраструктуры села: материалы Международной научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2016. – С. 407-411.
8. Герасимов, Г. Т. Методы и оборудование для ускоренных испытаний деталей / Г. Т. Герасимов, А. И. Луцилов // Труды ГОСНИТИ. – 1986. – № 2. – С. 23-45.
9. Гречищев, Е. С. Соединения с натягом: расчет, проектирование, изготовление / Е. С. Гречищев, А. А. Ильяшенко. – Москва: Машиностроение, 1981. – 247 с.
10. Дейнега, П. Б. Обоснование эффективности и технологии применения анаэробных клеевых составов при ремонте неподвижных цилиндрических соединений деталей тракторов: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / П. Б. Дейнега. – Москва, 1990. – 26 с.
11. Демидович, И. Г. Исследование циклической прочности при изнашивании металлов в условиях фреттинг-коррозии: автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / И. Г. Демидович. – Киев, 1980. – 19 с.
12. Дуриманов, П. И. Исследование износа основных сопряжений автомобилей с неподвижными посадками: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / П. И. Дуриманов. – Ленинград, 1949. – 172 с.
13. Евдокимов, Ю. А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, А. И. Тетерин. – Москва: Наука, 1980. – 228 с.
14. Загавура, Ф. Я. Определение износа трущихся пар расходом среды / Ф. Я. Загавура. – Киев: Издательство КГУ, 1969. – 94 с.
15. Зедгинидзе, И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / И. Г. Зедчинидзе. – Москва: Наука, 1976. – 390 с.
16. Иванщиков, Ю. В. Влияние параметров контакта на долговечность соединений с натягом (на примере подшипниковых посадок) / Ю. В. Иванщиков, Ю. Н. Доброхотов, Р. В. Андреев // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2017. – № 1 (1). – С. 57-63.
17. Исследование механизма изнашивания подшипниковых посадок автотракторных трансмиссий / Ю. В. Иванщиков, В. Я. Сквородин, Ю. Н. Доброхотов [и др.] // Вестник государственного аграрного университета. – 2020. – № 4 (60). – С. 71-79.
18. Исследование подшипниковых узлов транспортных трансмиссий: отчет о научно-исследовательской работе НАТИ. – Москва: НАТИ, 1970. – 197 с.
19. Исследование функциональной связи конструктивных и рабочих параметров подшипникового узла / Ю. В. Иванщиков, В. Я. Сквородин, Ю. Н. Доброхотов [и др.] // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 1 (12). – С. 91-98.
20. Кане, М. М. Основы научных исследований в технологии машиностроения / М. М. Кане. – Москва: Высшая школа, 1987. – 231 с.
21. Кашуба, Б. П. Влияние условий эксплуатации на ресурс элементов шасси трактора Т-150К / Б. П. Кашуба // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1982. – № 4. – С. 11-12.
22. Ковалев, М. П. Высокоточных шарикоподшипников / М. П. Ковалев, М. З. Народецкий. – Москва: Машиностроение, 1980. – 373 с.
23. Кряжков, В. М. Надежность и качество сельскохозяйственной техники / В. М. Кряжков. – Москва: Агропромиздат, 1989. – 335 с.
24. Кугель, Р. В. Динамика изнашивания тракторных деталей / Р. В. Кугель, В. Г. Кухтов // Вестник машиностроения. – 1984. – № 5. – С. 12-16.
25. Курчаткин, В. В. Восстановление посадок подшипников качения сельскохозяйственной техники полимерными материалами: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В. В. Курчаткин. – Москва, 1989. – 33 с.
26. Моисеев, А. А. Тракторные подшипники качения / А. А. Моисеев, Г. Л. Гальперин. – Москва: Колос, 1979. – 112 с.

27. Моисеев, А. И. Долговечность подшипников качения / А. И. Моисеев // Техника в сельском хозяйстве. – 1970. – № 7. – С. 82-83.
28. Перель, Л. Я. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание опор / Л. Я. Перель. – Москва: Машиностроение, 1983. – 543 с.
29. Повышение долговечности подшипниковых узлов коробок передач тракторов семейства ХТЗ / Ю. В. Иванщиков, Ю. Н. Доброхотов, Н. Н. Пушкаренко, А. В. Романов // Перспективы развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства: материалы II Национальной (Всероссийской) научно-практической конференции. – Чебоксары: Чувашская государственная сельскохозяйственная академия, 2020. – С. 10-16.
30. Сафронов, П. И. Выбор рационального способа восстановления сопряжения типа вал-подшипник качения тракторов: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / П. И. Сафронов. – Ленинград, 1973. – 202 с.
31. Экологические проблемы механизации сельскохозяйственного производства / Ю. В. Иванщиков, А. М. Новиков, Ю. Н. Доброхотов, Н. Н. Пушкаренко // Теория и практика современной аграрной науки: материалы Национальной (Всероссийской) научной конференции. – Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2018. – С. 109-113.
32. Waterhous, R. V. Fretting corrosion / R. V. Waterhous. – Oxford : Pergamon Press, 1972. – 253 p.
33. Stribeck, R. Ball bearings for various loads / R. Stribeck // Transactions asme. – 1963. – Vol. 29. – P. 420-463.

#### Сведения об авторах

1. **Иванчиков Юрий Васильевич**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: iuv53@mail.ru, тел. 8-927-864-00-63;
2. **Новиков Алексей Михайлович**, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: novam1@mail.ru, тел. 8-952-025-90-34;
3. **Доброхотов Юрий Николаевич**, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: dobrokhotov47@mail.ru, тел. 8-919-674-25-54;
4. **Гаврилов Владислав Николаевич**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технического сервиса, Чувашский государственный аграрный университет, 428003, г. Чебоксары, ул. К. Маркса, 29; e-mail: gavrilov-vlad21@yandex.ru, тел. 8-906-384-47-62.

УДК 621.792:621.815

#### DEFINITION OF TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS OF INTERFERENCE JOINTS (ON THE EXAMPLE OF BEARING FITTINGS).

**Yu. V. Ivanshchikov, A. M. Novikov, Yu. N. Dobrokhotov, V. N. Gavrilov**

*Chuvash State Agrarian University  
428003, Cheboksary, Russian Federation*

**Brief abstract.** *The resource of repaired agricultural machinery is largely determined by the quality of repair of rolling bearing units, materials and methods used to restore them. To compare the effectiveness of the use of new materials and methods of their application, operational and laboratory tests were carried out. In this case, preference was given to laboratory accelerated testing. Providing the shortest possible feedback, accelerated testing allows you to timely control the quality of parts, promptly make adjustments to technological recovery processes and immediately evaluate their effectiveness. One of the main objects of measurement during testing is equipment wear. The paper presents the results of the development of a device for CIP determination of the technical condition of tested joints with guaranteed interference. The proposed device can be successfully used in assembling and dismantling joints with interference, for their restoration using polymeric materials and increasing the bearing capacity of press fits by introducing compositions with abrasive powders into the contact zone without disassembling them. In particular, the supply of micropowder M5 made it possible to increase the force required for the radial displacement of the test joint by 1.9 times.*

**Key words:** *accelerated testing, measurement of wear, non-destructive testing, restoration of tightness.*

#### References

1. Achkasov, K. A. Povyshenie dolgovechnosti nepodvizhnyh soedinenij / K. A. Achkasov // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 1980. – № 12. – S. 42-43.



2. Babusenko, S. M. Issledovanie iznosa i dolgovechnosti podshipnikovykh uzlov traktorov, avtomobilej i sel'skohozyajstvennykh mashin: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / S. M. Babusenko. – Moskva, 1963. – 145 s.
3. Berkovich, M. S. Issledovanie i povyshenie dolgovechnosti podshipnikovykh uzlov traktornykh transmissij: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / M. S. Berkovich. – Moskva, 1972. – 130 s.
4. Burumkulov, F. H. Sovershenstvovanie metodov i sredstv ocenki rabotosposobnosti i dolgovechnosti vosstanovlennykh soedinenij i detalej mashin: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / F. H. Burumkulov. – Moskva, 1986. – 38 s.
5. Vas'kov, V. I. Issledovanie vliyaniya dinamicheskikh nagruzok na dolgovechnost' sopryazhenij val-podshipnik: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / V. I. Vas'kov. – Saratov, 1973. – 172 s.
6. Vlasov, V. M. Rabotosposobnost' uprochnennykh trushchihsya poverhnostej / V. M. Vlasov. – Moskva: Mashinostroenie, 1987. – 334 s.
7. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya / YU. V. Ivanshchikov, YU. N. Dobrohotov, N. N. Pushkarenko, R. V. Andreev // Nauchno-obrazovatel'naya sreda kak osnova razvitiya agropromyshlennogo kompleksa i social'noj infrastruktury sela: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2016. – S. 407-411.
8. Gerasimov, G. T. Metody i oborudovanie dlya uskorenykh ispytaniy detalej / G. T. Gerasimov, A. I. Lushchilov // Trudy GOSNITI. – 1986. – № 2. – S. 23-45.
9. Grechishchev, E. S. Soedineniya s natyagom: raschet, proektirovanie, izgotovlenie / E. S. Grechishchev, A. A. Il'yashenko. – Moskva: Mashinostroenie, 1981. – 247 s.
10. Dejnega, P. B. Obosnovanie effektivnosti i tekhnologii primeneniya anaerobnykh kleevykh sostavov pri remonte nepodviznykh cilindricheskikh soedinenij detalej traktorov: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / P. B. Dejnega. – Moskva, 1990. – 26 s.
11. Demidovich, I. G. Issledovanie ciklicheskoj prochnosti pri iznashivanii metallov v usloviyah fretting-korrozii: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / I. G. Demidovich. – Kiev, 1980. – 19 s.
12. Durimanov, P. I. Issledovanie iznosa osnovnykh sopryazhenij avtomobilej s nepodviznymi posadkami: dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / P. I. Durimanov. – Leningrad, 1949. – 172 s.
13. Evdokimov, YU. A. Planirovanie i analiz eksperimentov pri reshenii zadach treniya i iznosa / YU. A. Evdokimov, V. I. Kolesnikov, A. I. Teterin. – Moskva: Nauka, 1980. – 228 s.
14. Zagavura, F. YA. Opredelenie iznosa trushchihsya par rashodom sredy / F. YA. Zagavura. – Kiev: Izdatel'stvo KGU, 1969. – 94 s.
15. Zedginidze, I. G. Planirovanie eksperimenta dlya issledovaniya mnogokomponentnykh sistem / I. G. Zedchinidze. – Moskva: Nauka, 1976. – 390 s.
16. Ivanshchikov, YU. V. Vliyanie parametrov kontakta na dolgovechnost' soedinenij s natyagom (na primere podshipnikovykh posadok) / YU. V. Ivanshchikov, YU. N. Dobrohotov, R. V. Andreev // Vestnik CHuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2017. – № 1 (1). – S. 57-63.
17. Issledovanie mekhanizma iznashivaniya podshipnikovykh posadok avtotraktornykh transmissij / YU. V. Ivanshchikov, V. YA. Skovorodin, YU. N. Dobrohotov [i dr.] // Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 4 (60). – S. 71-79.
18. Issledovanie podshipnikovykh uzlov transportnykh transmissij: otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote NATI. – Moskva: NATI, 1970. – 197 s.
19. Issledovanie funkcional'noj svyazi konstruktivnykh i rabochih parametrov podshipnikovogo uzla / YU. V. Ivanshchikov, V. YA. Skovorodin, YU. N. Dobrohotov [i dr.] // Vestnik CHuvashskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj akademii. – 2020. – № 1 (12). – S. 91-98.
20. Kane, M. M. Osnovy nauchnykh issledovaniy v tekhnologii mashinostroeniya / M. M. Kane. – Moskva: Vysshaya shkola, 1987. – 231 s.
21. Kashuba, B. P. Vliyanie uslovij ekspluatatsii na resursy elementov shassi traktora T-150K / B. P. Kashuba // Traktory i sel'skohozyajstvennye mashiny. – 1982. – № 4. – S. 11-12.
22. Kovalev, M. P. Vysokotochnykh sharikopodshipnikov / M. P. Kovalev, M. Z. Narodeckij. – Moskva: Mashinostroenie, 1980. – 373 s.
23. Kryazhkov, V. M. Nadezhnost' i kachestvo sel'skohozyajstvennoj tekhniki / V. M. Kryazhkov. – Moskva: Agropromizdat, 1989. – 335 s.
24. Kugel', R. V. Dinamika iznashivaniya traktornykh detalej / R. V. Kugel', V. G. Kuhtov // Vestnik mashinostroeniya. – 1984. – № 5. – S. 12-16.
25. Kurchatkin, V. V. Vosstanovlenie posadok podshipnikov kacheniya sel'skohozyajstvennoj tekhniki polimernymi materialami: avtoreferat dissertatsii na soiskanie uchenoj stepeni doktora tekhnicheskikh nauk / V. V. Kurchatkin. – Moskva, 1989. – 33 s.
26. Moiseev, A. A. Traktornye podshipniki kacheniya / A. A. Moiseev, G. L. Gal'perin. – Moskva: Kolos, 1979. – 112 s.

27. Moiseev, A. I. Dolgovechnost' podshipnikov kacheniya / A. I. Moiseev // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. – 1970. – № 7. – S. 82-83.
28. Perel', L. YA. Podshipniki kacheniya: raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor / L. YA. Perel'. – Moskva: Mashinostroenie, 1983. – 543 s.
29. Povyshenie dolgovechnosti podshipnikovyh uzlov korobok peredach traktorov semejstva HTZ / YU. V. Ivanshchikov, YU. N. Dobrohotov, N. N. Pushkarenko, A. V. Romanov // Perspektivy razvitiya mekhanizacii, elektrifikacii i avtomatizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva: materialy II Nacional'noj (Vserossijskoj) nauchno-prakticheskoy konferencii. – CHEboksary: CHuvashskaya gosudarstvennaya sel'skohozyajstvennaya akademiya, 2020. – S. 10-16.
30. Safronov, P. I. Vybora racional'nogo sposoba vosstanovleniya sopryazheniya tipa val-podshipnik kacheniya traktorov: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk / P. I. Safronov. – Leningrad, 1973. – 202 s.
31. Ekologicheskie problemy mekhanizacii sel'skohozyajstvennogo proizvodstva / YU. V. Ivanshchikov, A. M. Novikov, YU. N. Dobrohotov, N. N. Pushkarenko // Teoriya i praktika sovremennoj agrarnoj nauki: materialy Nacional'noj (Vserossijskoj) nauchnoj konferencii. – Novosibirsk: Novosibirskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2018. – S. 109-113.
32. Waterhous, R. B. Fretting corrosion / R. B. Waterhous. – Oxford : Pergamon Press, 1972. – 253 r.
33. Stribeck, R. Ball bearings for various loads / R. Stribeck // Transactions asme. – 1963. – Vol. 29. – P. 420-463.

### Information about the authors

1. **Ivanshchikov Yuri Vasilievich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: iuv53@mail.ru, tel. 8-927-864-00-63;

2. **Novikov Aleksey Mikhailovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: novam1@mail.ru, tel. 8-952-025-90-34;

3. **Dobrokhotov Yuri Nikolaevich**, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: dobrokhotov47@mail.ru, tel. 8-919-674-25-54;

4. **Gavrilov Vladislav Nikolaevich**, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Chuvash State Agrarian University, 428003, Cheboksary, st. K. Marx, 29; e-mail: gavrilovvlad21@yandex.ru, tel. 8-906-384-47-62.

УДК621.385.6; 631.3.072

### ХМЕЛЕСУШИЛКА С ИСТОЧНИКАМИ ЭНДОГЕННО-КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВА

**М. В. Просвирякова<sup>3)</sup>, В. Ф. Сторчевой<sup>1)</sup>, Н. Г. Горячева<sup>2)</sup>, О. В. Михайлова<sup>3)</sup>, Г. В. Новикова<sup>3)</sup>**

<sup>1)</sup>Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева

127550, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2)</sup>Академия гражданской защиты Министерства чрезвычайных ситуаций России

143409, г. Красногорск, Российская Федерация

<sup>3)</sup>Нижегородский государственный инженерно-экономический университет

606340, г. Княгинино, Российская Федерация

**Аннотация.** Статья посвящена описанию конструкционного исполнения сушилки свежесушенного хмеля. В настоящее время была испытана Российская хмелесушилка ХС-400, использующая конвективный способ сушки. Но этот способ требует коррекции режимных параметров в осенний период в связи с уменьшением влагопоглотительной способности атмосферного воздуха, поэтому ее потребительские характеристики, включая микробиологические показатели, будут нестабильными. Актуальна разработка новой модели хмелесушилки непрерывно-поточного действия для сушки свежесушенного хмеля эндогенно-конвективным способом при сниженных эксплуатационных затратах с сохранением потребительских характеристик.

Инновационная идея состоит в том, что хмелесушилка содержит в горизонтальной плоскости последовательно расположенные резонаторы с вогнутыми поверхностями, и керамическим перфорированными выпуклыми основаниями, и генераторами с воздушным охлаждением, работающими на близких частотах в 915 МГц, 2375 МГц, 2450 МГц.