

УДК 621.3.029.6:674.8

**М. В. Аникеева**

Белорусский государственный университет транспорта

**СПОСОБ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК  
ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ МОДИФИЦИРОВАННОЙ  
ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ**

Надежность машин и механизмов обуславливается предварительным анализом их условий эксплуатации. Выбор недорогих, качественных материалов для узлов трения – актуальная проблема инженерных работников предприятий Республики Беларусь. Применение природного композиционного материала на основе прессованной древесины позволит снизить затраты на изготовление и техническое обслуживание подшипников скольжения. Проведение лабораторных испытаний позволит исключить несвоевременный выход из строя узлов трения машин и механизмов.

Данный способ оценки триботехнических характеристик подшипников скольжения на основе модифицированной прессованной древесины может иметь два направления применения: сокращение времени для проведения испытаний и получения необходимых данных; контроль за триботехническими характеристиками, зависящими от шероховатости контртела, которые возможно изменять, не применяя материалы для его изготовления и не используя разные способы обработки резанием.

В работе рассмотрен ускоренный способ оценки триботехнических характеристик природного композиционного материала на основе березы, позволяющий за малый промежуток времени проанализировать работу подшипникового узла трения. Данный способ заключается в регулировании шероховатости (степени дисперсности зерен) контртела, контактируемого с вкладышем торцово-прессового деформирования (ТПД) древесной втулки. Экспресс-способ оценки триботехнических характеристик позволяет сократить продолжительность испытаний в 48 раз по сравнению с ранее проведенными экспериментами.

Анализ полученных триботехнических характеристик позволит спрогнозировать работоспособность узлов трения с подшипниками скольжения самосмазывающимися торцово-прессового деформирования древесной втулки (ПСС ТПД), эксплуатируемых при аналогичных режимах нагружения и шероховатости материала контртела.

**Ключевые слова:** прессованная древесина, подшипники скольжения самосмазывающиеся, экспресс-способ, контртело, коэффициент трения, температура фрикционного разогрева, линейная интенсивность изнашивания, износостойкость.

**M. V. Anikayeva**

Belarusian State University of Transport

**METHOD FOR ASSESSING TRIBOTECHNICAL CHARACTERISTICS  
PLAIN BEARINGS FROM MODIFIED PRESSED WOOD**

Reliability of machines and mechanisms is conditioned by preliminary analysis of their operating conditions. Selection of inexpensive, high-quality materials for friction units is a pressing problem for engineers of enterprises of the Republic of Belarus. Use of natural composite material on the basis of pressed wood will reduce costs for manufacturing and maintenance of rolling bearings and plain bearings. Laboratory tests will prevent untimely failure of friction units of machines and mechanisms.

This method of assessment of tribotechnical characteristics plain bearing from modified pressed wood can have 2 applications: reduction of time for testing and obtaining necessary data; control of tribotechnical characteristics depending on counterbody roughness, which can be changed without using materials for its manufacture and not using different methods cutting.

The work deals with an accelerated method of assessing tribotechnical characteristics of natural composite material on the basis of birch, which allows to analyze the friction bearing assembly operation in a short period of time. This method consists in adjustment of roughness (dispersion degree) of counterbody, which is in contact with insert of end-press deformation of wood bushing. The express method of evaluation of tribotechnical characteristics allows to reduce the duration of tests by 48 times compared to previous experiments.

Analysis of obtained tribotechnical characteristics will make it possible to predict operability of friction units with self-lubricating plain bearings with bushing from press deformation wood, which are operated under similar modes of loading and roughness of counterbody material.

**Key words:** natural composite, self-lubricating sliding bearings, express method, countertelo, friction coefficient, friction heating temperature, linear wear intensity, wear resistance.

**Введение.** Прогнозирование функционирования узлов трения машин и механизмов возможно только после анализа условий эксплуатации: условий нагружения и характеристик окружающей среды, геометрических и конструктивных, эксплуатационных, экономических и технологических требований [1]. При оценке условий эксплуатации немаловажными операциями являются окончательный выбор материала и проведение лабораторных испытаний [2–5].

В Республике Беларусь актуальной проблемой является экономия материальных и энергетических ресурсов [6, 7]. Многие предприятия заинтересованы во внедрении недорогих, но качественных и долговечных деталей для узлов трения. Такими являются подшипники скольжения на основе природного композиционного материала – прессованной древесины. Их применение за счет снижения затрат на изготовление, обслуживание по сравнению с подшипниками скольжения из традиционных металлических и полимерных материалов, подшипников качения приводит к улучшению технико-экономических показателей машин и механизмов, особенно эксплуатирующихся в абразивно-агрессивных средах [8].

**Основная часть.** В Белорусском государственном университете транспорта разработана новая высокопроизводительная технология изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессовым деформированием (ПСС ТПД) древесных карточек из березы во вкладыш и полуавтоматы для их производства [9, 10].

Проведен ряд триботехнических исследований созданных подшипников скольжения торцово-прессового деформирования, которые характеризуются длительностью испытаний для получения экспериментальных значений.

**Цель данной работы** заключается в создании ускоренного способа оценки антифрикционных свойств (температуры фрикционного разогрева, коэффициента трения и износостойкости) ПСС ТПД.

**Объекты и методы испытаний.** Образцы для проведения экспериментов представляли собой ролики и вкладыши ТПД.

Ролики из стали, покрытые шлифшкуркой с разной дисперсностью зерен  $P320$ – $P40$  (табл. 1), изготавливались с наружным диаметром  $d = 40$  мм и внутренним диаметром  $d = 16$  мм (рис. 1).

Вкладыш ТПД, пропитанный смазкой модифицированной высокомолекулярной присадкой, имел форму сегмента толщиной 10 мм, длиной дуги 20 мм и площадью поверхности контакта  $200 \text{ мм}^2$  (рис. 1).

Эксперименты проводились на машине трения 2070 СМТ-1 по схеме «вал – частичный вкладыш» (рис. 1) при давлении  $p = 0,5$  МПа, скорости скольжения  $v = 0,25$  м/с. Длительность испытаний для каждой пары трения составляла 300 с.

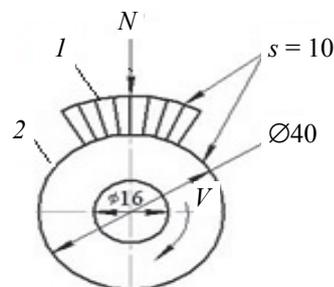


Рис. 1. Схема испытаний:  
1 – вал; 2 – частичный вкладыш

Микрофотографии испытуемых образцов до (рис. 2, 3) и после триботехнических испытаний получены на металлографическом микроскопе МИМ-7.

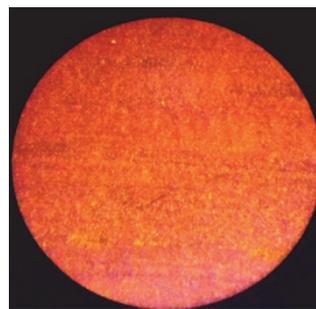


Рис. 2. Микрофотография вкладыша ТПД, полученная на металлографическом микроскопе МИМ-7, до испытаний (ув.  $250\times$ ).

Таблица 1

Параметры шероховатости контртел

Маркировка по ISO-6344	$P320$	$P240$	$P180$	$P120$	$P100$	$P80$	$P60$	$P40$
Размер зерна $d$ , мкм	28–40	50–63	63–80	100–125	125–160	200–250	250–315	400–500
Класс шероховатости $\Delta$	4	3	3	2	2	1	1	1

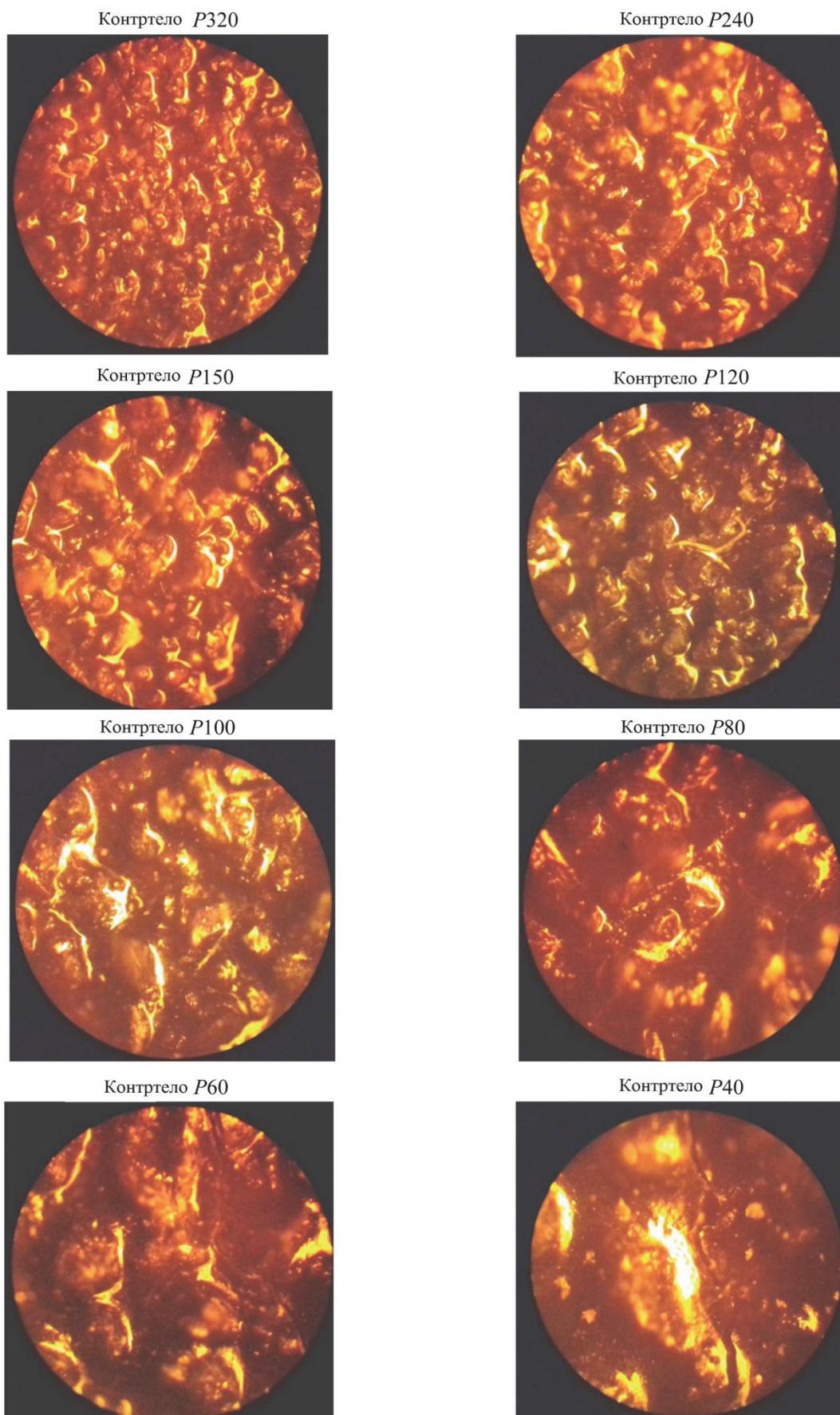


Рис. 3. Микрофотографии контртел с шлифзерном разной дисперсности, выполненные на металлографическом микроскопе МИМ-7 до испытаний (ув. 250×)

Температура фрикционного разогрева измерялась мультиметром Digital Instrument DT-838 на расстоянии 1 мм от поверхности трения.

Коэффициент трения определялся по показаниям измерений момента трения и фиксировался при помощи самописца КСП-4.

Линейная интенсивность изнашивания определялась по изменению массы вкладышей ТПД при помощи аналитических весов ВЛА-200г-М [11].

#### Результаты испытаний и их обсуждение.

Выявлено, что с течением времени для всех испытываемых пар трения температура фрикционного разогрева увеличивается незначительно. Это обусловлено переносом верхнего слоя вкладыша торцово-прессового деформирования на поверхность контртела. Микронеровности ролика сглаживаются, а рост температуры в зоне контакта пары трения фактически прекращается.

Однако большое влияние на повышение температуры, генерируемой в зоне трения, оказывает размер зерна контртела. Установлено, что с увеличением степени дисперсности абразивных частиц контртела температура, генерируемая в зоне трения, повышается пропорционально ее величине (рис. 4), (табл. 2).

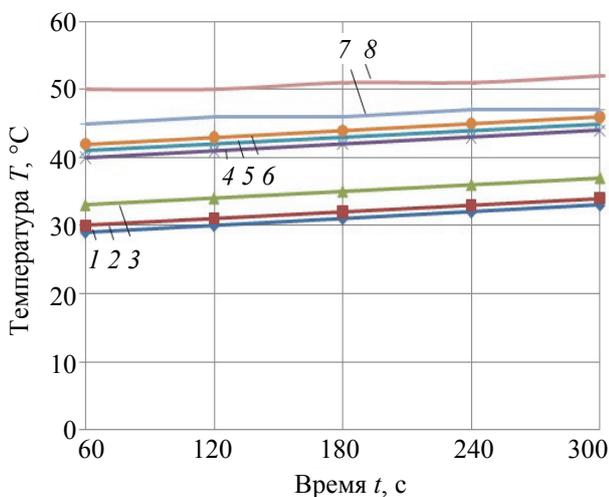


Рис. 4. Влияние продолжительности испытаний на температуру фрикционного разогрева пары трения «вкладыш – ролик» при различной зернистости контртела

Как видно из полученных данных, температура фрикционного разогрева пары трения

«частичный вкладыш – ролик P320» меньше в 1,72 раза по сравнению с температурой фрикционного разогрева пары трения «частичный вкладыш – ролик P40».

Для пар трения «вкладыш ТПД – ролик P60», «вкладыш ТПД – ролик P40» увеличилась на 2°С, а для остальных на 4°С.

На основании показаний момента трения рассчитан коэффициент трения в зоне контакта пары трения «частичный вкладыш – ролик».

Выявлены три характерные зоны изменения коэффициента трения (рис. 5).

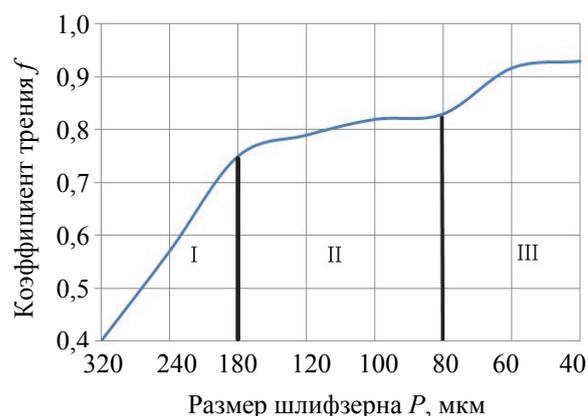


Рис. 5. Зависимость коэффициента трения от зернистости P контртела пары трения «вкладыш – ролик»

Область I соответствует парам трения, где контртело имеет мелкозернистую структуру. Резкий рост коэффициента трения  $f$  с 0,40 до 0,75 обусловлен переходом от мелкозернистой структуры контртела к крупнозернистой. Область II характеризуется постепенным увеличением коэффициента трения  $f = 0,75–0,83$ , поскольку шероховатость контртела варьируется в диапазоне  $\Delta 3–\Delta 1$ . В зоне III наблюдается скачок коэффициента трения  $f$  с 0,83 до 0,91, который характеризует переход от класса шероховатости  $\Delta 2$  к классу шероховатости  $\Delta 1$ , а затем происходит его стабилизация:  $f = 0,91–0,93$ , так как шероховатость контртел колеблется в одном классе  $\Delta 1$  и не изменяется.

Итак, коэффициент трения пар трения «вкладыш – ролик» при вышеуказанных режимах нагружения после 300 с повысился в 2,32 раза при увеличении степени дисперсности контртела (табл. 2).

Таблица 2

Триботехнические характеристики вкладышей ТПД после 60 с испытаний

Маркировка по ISO 6344	P320	P240	P180	P120	P100	P80	P60	P40
Температура фрикционного разогрева $t$ , °С	29	30	33	40	41	42	45	50
Коэффициент трения $f$	0,4	0,57	0,75	0,79	0,82	0,83	0,91	0,93

Высокое значение массового износа вкладыша ТПД обусловлено большими размерами шлифзерна контртела (рис. 6).

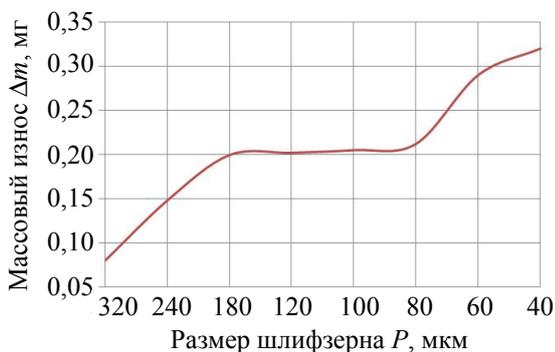


Рис. 6. Влияние зернистости контртела на массовый износ вкладыша ТПД

Ролик своими неровностями воздействует на вкладыш торцово-прессового деформирования втулки из древесины березы, увеличивая число зацеплений. Также увеличивается число пятен контакта. Вкладыш ТПД изнашивается, а частички шлифзерна внедряются в его поверхность, поскольку твердость древесины ничтожна мала по сравнению с твердостью шлифзерна. Для пар трения «вкладыш ТПД – ролик P60», «вкладыш ТПД – ролик P40» данное заключение подтверждено экспериментально (см. рис. 9, с. 199).

Весовым методом измерен массовый износ вкладышей ТПД, работающих с роликами разной зернистости. За 300 с массовый износ вкладыша ТПД, работающего с контртелом зернистостью P 320, составил  $\Delta m = 0,08$  мг, а массовый износ вкладыша ТПД, испытываемого с контртелом зернистостью P40, увеличился в 4 раза и достиг  $\Delta m = 0,32$  мг (рис. 6).

Массовый износ вкладыша торцово-прессового деформирования повышается пропорционально классу шероховатости с  $\Delta 4$  до  $\Delta 1$ .

На основании полученных данных массового износа вкладышей ТПД подсчитана их линейная интенсивность изнашивания при испытаниях с контртелами различной зернистости.

Зависимость интенсивности изнашивания от размера зерна шлифшкурки отражена на рис. 7.

Линейная интенсивность изнашивания вкладышей ТПД при контактировании с роликами зернистостью в пределах P320–P40 находится в диапазоне  $I_h = (0,94–4,30) \cdot 10^{-5}$ .

Рассчитана износостойкость вкладышей торцово-прессового деформирования при трении о шероховатую поверхность контртела с различными размерами зерен. Построена зависимость износостойкости вкладышей ТПД от величины зерен контртел (рис. 8).

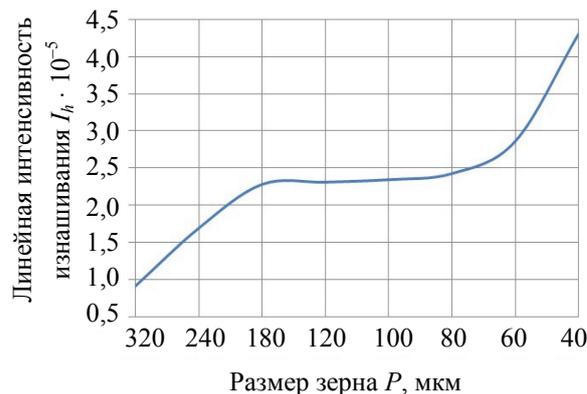


Рис. 7. Зависимость линейной интенсивности изнашивания вкладышей ТПД от зернистости P контртела

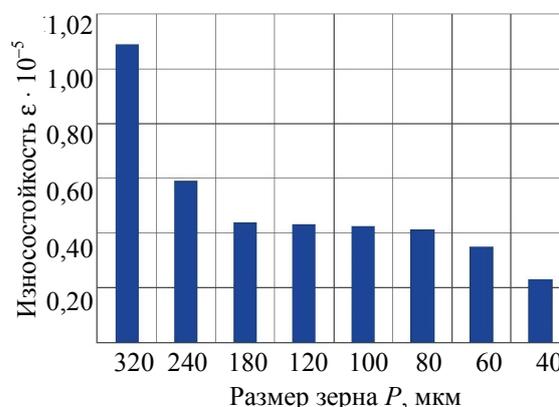


Рис. 8. Зависимость износостойкости вкладышей ТПД от зернистости P контртела

Итак, величина износостойкости вкладыша ТПД, работающего с контртелами зернистостью P320–P40 изменяется в диапазоне  $\epsilon = (1,09–0,23) \cdot 10^{-5}$ .

Таким образом, при увеличении размера зерна контртела линейная интенсивность изнашивания увеличивается (рис. 7), а износостойкость снижается, что и показано на рис. 8. На рабочей поверхности вкладышей имеются полосы, которые характеризуют дорожку трения, а поверхность ролика покрыта частицами износа вкладышей ТПД (рис. 9).

Из микрофотографий (рис. 9), полученных на микроскопе, видно, что при испытаниях вкладышей ТПД с контртелами различной зернистости увеличивается глубина внедрения шлифзерна во вкладыш ТПД, о чем свидетельствует наличие полос (вырывание). Их интенсивность заметно повышается при увеличении зерна шлифшкурки. Также следует отметить, что при увеличении зернистости контртела до P60–P40 происходит вырывание зерен с его поверхности. В данный момент коэффициент трения повышается и достигает диапазона  $f = 0,91–0,93$ .

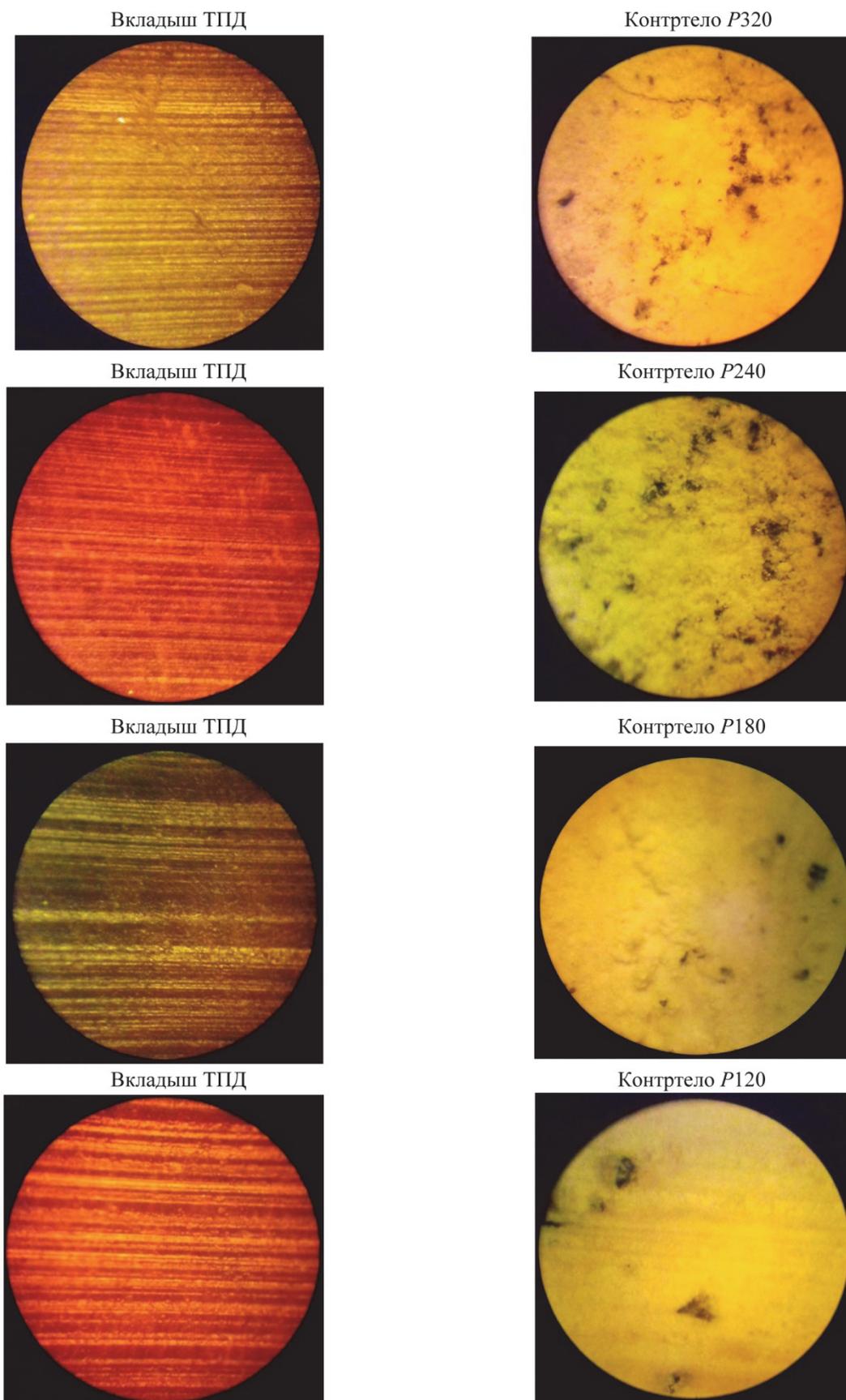


Рис. 9. Микрофотографии контактных поверхностей вкладышей ТПД и контртел различной зернистости после триботехнических испытаний (ув. 250×) (начало; окончание на с. 199)

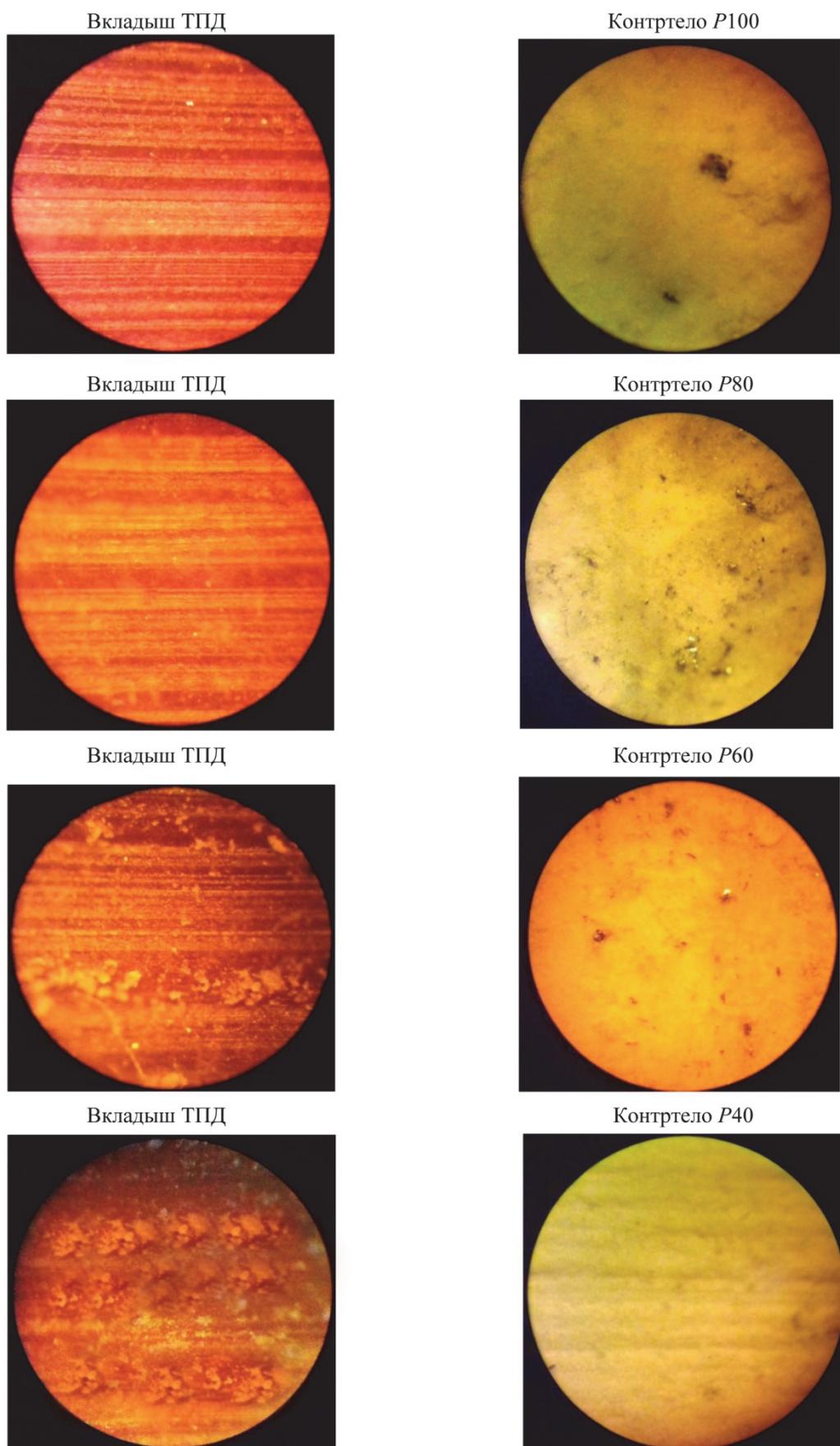


Рис. 9. Окончание (начало на с. 198)

Итак, происходит перенос и внедрение абразивных частиц в рабочую поверхность вкладыша. Контактная поверхность ролика покрывается продуктами износа вкладыша торцово-прессового деформирования.

**Заключение.** При проведении триботехнических испытаний пары трения «древесный вкладыш ТПД – ролик», где контртело имеет шероховатость  $R_a = 0,63$  мкм ( $\Delta 8$ ), массовый износ вкладышей меньше в 4 раза, а время для осуществления экспериментов в 48 раз больше, чем у пары трения «вкладыш ТПД – ролик P320».

При увеличении степени дисперсности зерен контртела до P40 ( $\Delta 1$ ) возможно ускорить процесс массового износа вкладыша торцово-прессового деформирования в 16 раз, а продолжительность триботехнических экспериментов уменьшить в 48 раз по сравнению с па-

рой трения, где ролик имеет класс шероховатости поверхности  $\Delta 8$ .

Коэффициент трения  $f$  при испытаниях пары трения «вкладыш ТПД – ролик» с шероховатостью контртела класса  $\Delta 8$  в 1,5 и в 3,6 раза меньше коэффициента пары трения «вкладыш ТПД – ролик P320», «вкладыш ТПД – ролик P40» соответственно.

Данный способ позволяет проводить ускоренные триботехнические испытания по сравнению с традиционными исследованиями.

Экспресс-метод дает возможность спрогнозировать работоспособность узлов трения с подшипниками скольжения самосмазывающимися торцово-прессового деформирования древесной втулки (ПСС ТПД), эксплуатируемых при аналогичных режимах нагружения и шероховатости материала контртела.

### Литература

1. Горленко О. А., Тихомиров В. П., Бишутин Г. А. Прикладная механика: триботехнические показатели качества машин. М.: Юрайт, 2018. 264 с.
2. Чубинский А. Н. Физические методы испытаний древесины. А. Н. Чубинский [и др.]. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 125 с.
3. Древесина модифицированная. Метод определения износостойкости и коэффициента трения: ГОСТ Р 55951–2014. Воронеж: ВГЛА, 2015. 6 с.
4. Способ оценки износостойкости полимерных композиционных материалов: пат. № 2526223 / О. В. Гоголева, Н. Р. Адамов, А. И. Герасимов; заявл. 17.12.2012; опубл. 20.08.2014 // Бюл. № 18. 2014. 6 с.
5. Durability of Wood-Plastic Composites / J. J. Morrell [et al.] [Electronic resource]. URL: file://Downloads/Durability\_of\_Wood-Plastic\_Composites.pdf (Mode of access: 01.09.2019).
6. Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства [Электронный ресурс] / Директива президента Республики Беларусь. URL: [http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146\(005-015\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146(005-015).pdf) (дата обращения: 01.09.2019).
7. External factors of economic growth and its system of indicators and assessment [Electronic resource] / bookstorstudy.com/. URL: <https://booksforstudy.com/1228112839235/ekonomika/.html> (Mode of access: 01.09.2019).
8. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика) / А. Б. Невзорова [и др.]. Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.
9. Врублевский В. Б. Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2002. 20 с.
10. Полуавтомат для торцово-прессового деформирования древесных заготовок: Евраз. пат. № 022215 / А. Б. Невзорова, Н. В. Врублевский, В. И. Врублевская, Г. А. Гафт, Ю. А. Журавлев; заявл. 21.08.2012; опубл. 30.11.2015 // Бюл. № 11. 2015. 5 с.
11. Богданович П. Н., Прушак В. Я., Богданович С. П. Трение, смазка и износ в машинах. Минск: Тэхналогія, 2011. 527 с.

### References

1. Gorlenko O. A., Tikhomirov V. P., Bishutin G. A. *Prikladnaya mekhanika: tribotekhnicheskiye pokazateli kachestva mashin* [Applied mechanics: tribotechnical indicators of machine quality]. Moscow, Yurayt Publ., 2018. 264 p.
2. Chubinskiy A. N., Tambi A. A., Varankina G. S., Fedyayev A. A., Chubinskiy M. A., Shvets V. L., Chauzov K. V. *Fizicheskiye metody ispytaniy drevesiny* [Physical methods of wood testing]. St. Petersburg, SPbGLTU Publ., 2015. 125 p.
3. GOST P 55951–2014. Wood modified. Method of Determination of Wear Resistance and Friction Coefficient. Voronezh, VGLA Publ., 2015. 6 p. (In Russian).

4. Gogoleva O. V., Adamov N. R., Gerasimov A. I. *Sposob otsenki iznosostoykosti polimernykh kompozitsionnykh materialov* [Method for assessing the wear resistance of polymer composite materials]. Patent RU, no 2526223, 2014.

5. Morrell J. J., Nicole M. Stark, David E. Pendleton, Armando G. McDonald. Durability of Wood-Plastic Composites. Available at: file://Downloads/Durability\_of\_Wood-Plastic\_Composites.pdf (accessed 01.09.2019).

6. *Ekonomiya i berezhlivost' – glavnyye faktory ekonomicheskoy bezopasnosti gosudarstva* [Economy and poverty – the main factors of economic security of the state]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146\(005-015\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2007-146/2007-146(005-015).pdf) (accessed 01.09.2019).

7. External factors of economic growth and its system of indicators and assessment. Available at: <https://booksforstudy.com/1228112839235/ekonomika/.html> (accessed 01.09.2019).

8. Nevzorova A. B., Wrublewskiy V. B., Matusevich V. O., Vrublevskaya V. I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazyvayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika)* [Self-lubricating plain bearings on the basis of the modified wood (theory, technology and practice). Gomel, BelGUT Publ., 2011. 254 p.

9. Vrublevskiy V. B. *Issledovaniye protsessa tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesiny i sozdaniye vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniya dlya izgotovleniya iz neye podshipnikov skol'zheniya. Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Investigation of butt-pressing deformation of timber and creation of high-performance equipment for the manufacture of it plain bearings. Abstract of thesis canol. of engineer. sci.]. Minsk, 2002. 20 p.

10. Nevzorova A. B., Vrublevskiy N. V., Vrublevskaya V. I., Gaft G. A., Zhuravlev Yu. A. *Poluavtomat dlya tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesnykh zagotovok* [Semiautomat for butt-pressing deformation of wooden billets]. Patent BY, no. 022215, 2015.

11. Bogdanovich P. N., Prushak V. Ya., Bogdanovich S. P. *Treniye, smazka i iznos v mashinakh* [Friction, lubrication and wear in machines]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2011. 527 p.

#### **Информация об авторе**

**Аникеева Марта Владиславовна** – соискатель технических наук, инженер по патентной и изобретательской работе НИС. Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: [marta.anikeeva@yandex.ru](mailto:marta.anikeeva@yandex.ru)

#### **Information about the author**

**Anikeyeva Marta Vladislavovna** – external doctorate student of technical sciences, patent and invention engineer, reasearch sector. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: [marta.anikeeva@yandex.ru](mailto:marta.anikeeva@yandex.ru)

*Поступила 12.10.2019*