

## Технические заметки

## Technical Notes

DOI: <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2022-88-12-75-79>**МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЙ НА ОТНОСИТЕЛЬНУЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ НА ОСНОВЕ МОБИЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ВИМ ЛТДП**

© Юрий Николаевич Рожков, Вячеслав Федорович Аулов

ФНАЦ ВИМ, Россия, 109428, Москва, ул. 1-й Институтский проезд, д. 5; e-mail: gosniti@mail.ru

*Статья поступила 11 марта 2022 г. Поступила после доработки 15 апреля 2022 г.  
Принята к публикации 27 мая 2022 г.*

Отмечен ряд известных методик ускоренных испытаний на относительную износостойкость, в частности методика, реализованная на установке ИМ-01 конструкции ВИСХОМа с использованием метода Бринелля – Ховарта для лабораторных исследований, в котором применяется порошковый абразив. Показаны недостатки этих методик. В ВИМ разработана новая установка ВИМ ЛТДП, в которой в качестве абразивного материала использовали абразивную ленту зернистостью Р60, длиной 320 мм, шириной 15 мм. Величину износа определяли по уменьшению массы образца путем взвешивания на весах с точностью 0,0001 г до и после испытаний. Результаты испытаний получали как относительную износостойкость  $\varepsilon$ , равную отношению износостойкости испытуемого образца к износостойкости эталона. Рассмотрение относительной износостойкости позволяет повысить точность результатов вследствие исключения влияния на них естественных изменений внешних параметров, определяющих интенсивность изнашивания в процессе испытаний. Установка обеспечивает ускоренные испытания образцов — затраты времени на испытание одного образца составили около 5 мин. При этом сохраняются структура и размеры зерна рабочего тела, постоянства нагрузки в зоне контакта и скорости взаимодействия образца и инструмента. Ленточный абразив различной зернистости позволяет применять установку для широкого спектра задач, использовать образцы без предварительного шлифования, но с их предварительным очищением от шлаков и крупных частиц после нанесения износостойких покрытий.

**Ключевые слова:** износостойкость; абразивное изнашивание; износ; устройство; абразивная лента; методика абразивного изнашивания.

**RESULTS OF TESTS FOR ABRASIVE WEAR ON A VIM LTDS INSTALLATION**

© Yuri N. Rozhkov, Vyacheslav F. Aulov

All-Union Research Institute of Agricultural Mechanization, 5, 1 Institutskiy proezd, Moscow, 109428, Russia;  
e-mail: gosniti@mail.ru

*Received March 11, 2022. Revised April 15, 2022. Accepted May 27, 2022.*

A number of well-known methods of accelerated testing for relative wear resistance are considered including a procedure based on the Brinell-Howarth method for laboratory studies and implemented on a IM-01 facility (designed at WISHOM) in which a powder abrasive is used. The shortcomings of those methods are discussed. A new VIM LTDP installation is developed in which an abrasive tape (320 mm and 15 mm in length and width, respectively) with a grain size of P60 is used as an abrasive material. The degree of wear was determined by a decrease of the sample mass using weighing on a balance before and after testing with an accuracy of 0.0001 g. The test results were obtained as a relative wear resistance  $\varepsilon$  equal to the ratio of the values of the wear resistance of the test and standard samples. Consideration of the relative wear resistance makes it possible to increase the accuracy of the results due to the exclusion of the effect of changes in external parameters which determine the wear rate during testing. The installation ensures accelerated testing of the samples, i.e., the time for testing one sample is about 5 min. The structure and the grain size of the working body, the load value in the contact zone and the speed of interaction between the sample and tool are preserved. The use of an abrasive tape with different grain size provides for application of the unit to a wide range of tasks using samples without any preliminary grinding, but with the

obligatory preliminary cleaning of the samples from slags and large particles after application of wear-resistant coatings.

**Keywords:** wear resistance; abrasive wear; wear; installation; abrasive tape; abrasive wear technique.

## Введение

Определение износостойкости материалов в лабораторных условиях — один из важнейших этапов оценки их пригодности для работы в узлах трения машин, в частности — почвообрабатывающих [1].

Испытания на абразивное изнашивание — сложный, трудоемкий и длительный вид исследования свойств материалов. Известные методики экспериментального определения износостойкости материалов, основанные на абразивном изнашивании, требуют условий, соответствующих полевым испытаниям деталей с упрочняющими покрытиями методом ТВЧ [2]. Однако в полевых условиях невозможно испытать широкий круг материалов, а анизотропность абразива почвы требует большого массива данных.

Достаточно успешно зарекомендовала себя методика сравнительной оценки относительной износостойкости материалов. При этом сравнивают величины износа, который определяют взвешиванием на высокоточных весах до и после испытаний исследуемого и эталонного образцов. Ранее описана методика испытаний на установке ИМ-01 конструкции ВИСХОМа. Испытания проводят согласно ГОСТ 23.208–79 (трение о не жестко закреплённые абразивные частицы). Образец зажимают в держателе, абразивные частицы (кварцевый песок, корунд) через систему дозаторов-барабанов попадают в зону контакта, внедряются во вращающийся резиновый ролик и изнашивают образец [1].

Известна методика испытаний Бринелля — Ховарта, которая заключается в том, что в зазор между вращающимся диском (резиновым или металлическим) и испытываемым образцом подают песок (0,2 – 0,6 мкм). При этом диск прижимают к образцу, который изнашивается за счет абразива [3].

Из зарубежных работ наиболее известны методы с применением резинового или металлического диска и сыпучего абразива, а также закреплённых абразивов по типу вращающегося барабана с шлифовальной шкуркой и постепенным перемещением образца по барабану для гарантированного контакта со свежим абразивом [4, 5].

Исследования показали, что методы позволяют получить достаточно точную сравнительную оценку относительной износостойкости материалов с воспроизведением условий изнашивания, близких к полевым. При этом время, затрачиваемое на испытания, сокращается более чем на по-

рядок по сравнению со стандартным натурным испытанием.

Отличаясь высокой производительностью, первые два способа имеют и существенные недостатки. При использовании сыпучего абразивного материала возникают сложности его равномерного распределения по поверхности зоны контакта, а также проблемы обеспечения стабильности подачи абразива в течение времени проводимого исследования, что существенно влияет на стабильность результатов при повторении эксперимента. Конструктивные особенности не позволяют существенно повысить нагрузки в целях ускоренного износа из-за возникновения наклепа в зоне контакта, что значительно увеличивает время эксперимента (обычно более 30 мин). Кроме того, недостатком является то, что перед проведением испытания все образцы требуют предварительного шлифования, так как используемые диски из резины и металла не выдерживают нагрузки при неоднородной поверхности и шероховатости, что также влияет на стабильность результатов.

Цель исследования — разработка методики сравнительной оценки износостойкости, исключающей перечисленные выше недостатки, прежде всего — за счет исключения неравномерности подачи абразива в зону контакта.

Научная новизна — изнашивание исследуемых образцов осуществляется абразивной лентой, что позволяет исключить операцию предварительной подготовки (шлифования) поверхности исследуемой детали к проведению эксперимента, так как некоторые износостойкие покрытия имеют тонкий слой, который можно снять посредством шлифования.

## Методика исследований

Для реализации методики разработано мобильное устройство ВИМ ЛТДП с возможностью проведения испытаний образцов без предварительного шлифования. Оно обеспечивает стабильность испытаний за счет исключения неравномерности подачи абразива в зону контакта.

Устройство ВИМ ЛТДП (рис. 1) для ускоренных испытаний образцов на износостойкость включает ротор с осью 1 и абразивной лентой 2, держатель образцов 3. Держатель выполнен в виде рычажной системы с противовесом 4.

Образцы материалов для испытаний на износостойкость — плоские пластины размером 60 × 40 мм и толщиной 3 мм. Испытуемый обра-



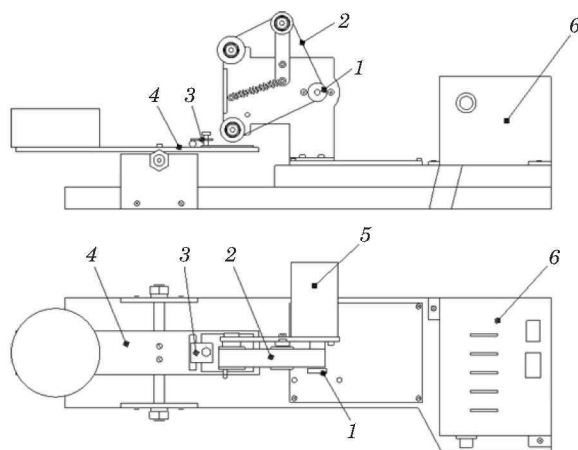


Рис. 1. Схема установки

Fig. 1. Installation diagram

зец зажимается винтом в держателе 3 и подводится рычагом с противовесом 4 к абразивной ленте 2. Включают электродвигатель 5 на выбранных оборотах с помощью контроллера с реостатом 6. Ротор с осью 1 приводит во вращение абразивную ленту, которая контактирует с образцом, в результате чего происходит износ материала. Через промежуток времени, достаточный для получения нужного износа образца (обычно 3 – 5 мин), выключают электродвигатель. Образец демонтируют, определяют характеристики его износа для сравнения с эталоном. Процесс повторяют для следующего образца.

Технические характеристики устройства приведены ниже.

Инструмент . . . . .	Абразивная лента Р60
Сила прижатия, Н . . . . .	17,417
Частота вращения, с <sup>-1</sup> . . . . .	$2,293 \cdot 10^3$
Линейная скорость, м/с . . . . .	1,8
Время испытания, мин . . . . .	5

Устройство позволяет обеспечить ускоренные сравнительные испытания образцов — затраты времени на испытание одного образца составили около 5 минут. Устройство дает возможность проводить несколько опытов на одном образце для более точного исследования. Применение абразивных лент обеспечивает стабильность характеристик процесса изнашивания образца за счет неизменной структуры и величины зерна рабочего тела, постоянства нагрузки в зоне контакта и скорости взаимодействия образца и инструмента. Применение абразивных лент различной зернистости позволяет применять устройство для широкого спектра задач.

Абразивная лента приводится в движение от электродвигателя. Скорость ее перемещения может варьироваться от 1,5 до 2 м/с путем регулирования силы тока реостатом. Нагрузка на обра-



Рис. 2. Зона контакта образца с абразивной лентой

Fig. 2. Zone of the sample contact with abrasive tape

зец — от 15 до 20 Н. За счет рычажной системы исследуемый образец подводится к абразивной ленте, которая опирается на ролик. За счёт этого происходит износ поверхности, который затем измеряется в массовых величинах. Площадь пятна контакта  $S$  на образце, обработанном на машине трения ВИМ ЛТДП, составляет  $75 \text{ мм}^2$  (рис. 2).

Как отмечено выше, величину износа определяют по уменьшению массы образца путем его взвешивания на весах (с точностью  $0,0001 \text{ г}$ ) до и после испытаний. Результаты испытаний — величина  $\varepsilon$ , равная отношению износостойкости испытуемого образца к износостойкости эталона. Использование относительной величины  $\varepsilon$  позволяет повысить точность результатов вследствие исключения влияния на них естественных изменений внешних параметров, определяющих интенсивность изнашивания в процессе испытаний. Относительная износостойкость [6]

$$\varepsilon = A_{qi}/A_{qn}, \quad (1)$$

где  $A_{qn}$  и  $A_{qi}$  — величины износа эталонного и исследуемого образцов (в граммах).

По предлагаемой методике проведены испытания износостойкости двух образцов — с покрытием и без — при нагрузке  $17,417 \text{ Н}$  и линейной скорости  $1,8 \text{ м/с}$  (см. таблицу). В качестве эталона выбрана сталь 65Г, наиболее часто используемая для изготовления рабочих органов сельскохозяйственных машин [7, 8].

### Обсуждение результатов

Рассчитано давление в зоне контакта, с которым рычажная система прижимает образец к абразивной ленте. Это давление сопоставлено с давлением ролика на образец на машине трения ИМ-1. Определена линейная скорость роли-

ка ИМ-1 и подобрано положение реостата, при котором абразивная лента будет иметь ту же скорость.

Соотношение плеч рычага в машине трения составило 9,5:6. С учетом этого установлена сила  $F$ , прилагаемая к образцу при использовании груза массой 1,1 кг, без учета крутящего момента двигателя:

$$F = 11 \cdot 9,5/6 = 17,417 \text{ Н.} \quad (2)$$

Давление

$$\sigma = F/S = 2,32 \cdot 10^5 \text{ Па,} \quad (3)$$

или 0,232 МПа. На машине трения ИМ-1 давление  $\sigma = 0,28$  МПа. Таким образом, давление в зоне контакта на машине трения ВИМ ЛТДП на 17 % меньше, чем на машине трения ИМ-1.

Машина трения ИМ-1 совершает путь трения в 540 м за 5 мин. Следовательно, линейная скорость ролика

$$v = 540/(5 \cdot 60) = 1,8 \text{ м/с.} \quad (4)$$

Диаметр приводного вала  $d = 15$  мм.

Линейную скорость абразивной ленты рассчитывали по формуле

$$v = \frac{3,14dn}{1000 \cdot 60}, \quad (5)$$

где  $n$  — частота вращения двигателя. Чтобы обеспечить линейную скорость ленты 1,8 м/с, необходима частота вращения вала

$$n = 60000 \frac{v}{3,14d} = 2,293 \cdot 10^3. \quad (6)$$

Из таблицы видно, что использование покрытий на основе карбида бора [9, 10] повышает относительную износостойкость в 3,8 раза, что сопоставимо с результатами, полученными на установке М-1. Установка ВИМ ЛТДП позволяет более точно прогнозировать относительную из-

носостойкость покрытий, чем установка ИМ-01 конструкции ВИСХОМ.

Необходимо иметь в виду, что время подготовки и проведения испытаний, затраченное с использованием данных методик, не одинаково. Для проведения испытаний на установке ИМ-01 конструкции ВИСХОМа требуется ~5 мин на взвешивание образца, ~5 мин на его установку и 30 мин на испытание, что в итоге составляет 40 мин. При испытаниях в полевых условиях затраты времени с обработкой всех данных после испытания более значительные, что экономически не выгодно.

Предлагаемая методика может быть использована для ускоренных испытаний на абразивное изнашивание в лабораторных условиях, близких к реальным условиям абразивного изнашивания. Время подготовки к испытанию — 3 мин, время испытания — 5 мин. Метод мобилен и прост в эксплуатации, а поэтому экономически целесообразен.

## Заключение

Разработанная методика позволяет проводить испытания образцов с предварительным очищением их поверхности от шлака и крупных частиц после нанесения износостойких покрытий, поэтому исключает предварительное шлифование образцов.

Процесс испытаний позволяет избежать проблем с равномерным распределением абразива по поверхности зоны контакта, обеспечивает стабильность подачи абразивного материала в течение всего времени проводимого эксперимента, что существенно влияет на оценку относительной износостойкости при повторении эксперимента.

Предлагаемая установка для ускоренных испытаний покрытий на износостойкость ВИМ ЛТДП отличается простотой конструкции, позволяет проводить испытания в офисных условиях.

Результаты испытаний абразивного изнашивания на установке ВИМ ЛТДП

Results of tests of abrasive wear on the VIM LTDS installation

№ опыта	Вес до испытаний, г	Вес после испытаний, г	Износ, г	Среднее значение (математическое ожидание), г	Отклонение, г	Среднеквадратическое отклонение $\sigma$	Коэффициент вариации $v$ , %	Критерий Стьюдента $t_{on}$	Относительная износостойкость $\varepsilon$
<b>Образец 1: сталь 65Г (закалка в масле)</b>									
1	55,6110	55,4840	0,1270	0,1255	0,0015	0,0015	27	1	1
2	55,4840	55,3600	0,1240		-0,0015				
<b>Образец 2: наплавка В<sub>4</sub>С+П-0,66 (скоростное ТВЧ-борирование)</b>									
1	41,4368	41,4055	0,0310	0,0331	-0,0021	0,0021	28	1	3,7915
2	41,4721	41,4368	0,0353		0,0021				



## ЛИТЕРАТУРА

1. Новиков В. С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин. — Москва: ИНФРА-М, 2019. — 155 с.
2. Новиков В. С. Упрочнение рабочих органов почвообрабатывающих машин на заданный ресурс. — М.: ИНФРА-М, 2018. — 169 с.
3. Ткачев В. Н. Износ и повышение долговечности деталей сельскохозяйственных машин. — М.: Машиностроение, 1971. — 232 с.
4. Севернев М. М. Износ деталей сельскохозяйственных машин. — Л.: Колос, 1972. — 288 с.
5. Ружьев В. А., Ожегов Н. М., Капошко Д. А. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин с учетом экологических требований / Известия СПбГАУ. 2015. № 38. С. 254 – 259.
6. Кузьменко А. Г., Вишневецкий О. А. Метод испытаний на абразивный износ по схеме Бринелля – Ховарта (Br-Hv). Часть I. Теоретические основы метода. — Хмельницкий: Хмельницкий национальный университет, 2012. С. 102 – 108.
7. Li C. X. Surface Engineering / Wear Testing and Wear Measurement. The University of Birmingham, UK. [http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_testing\\_measurement.htm](http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_testing_measurement.htm)
8. Kennedy D. M., Hashmi M. S. J. Methods of wear testing for advanced surface coatings and bulk materials / J. Mater. Proc. Technol. 1998. N 77. P 246 – 253.
9. Аулов В. Ф., Рожков Ю. Н., Ишков А. В., Кривочуров Н. Т., Иванайский В. В., Новиков В. С. Сравнительные испытания на износостойкость образцов из стали 65Г и образцов с покрытием скоростным ТВЧ-борированием / Энергоэффективные и ресурсосберегающие технологии и системы. 2017. С. 422 – 427.
10. Аулов В. Ф., Иванайский В. В., Ишков А. В. и др. Получение износостойких композиционных покрытий на стали 65Г при ТВЧ-нагреве / Технология машиностроения. 2015. № 2. С. 30 – 34.
11. Ишков А. В., Лялякин В. П., Аулов В. Ф., Кривочуров Н. Т., Иванайский В. В., Соколов А. В. Комбинированные функциональные покрытия для деталей сельхозмашин сложной формы: конструкция и технология получения. — В сб.: Аграрная наука — сельскому хозяйству. В 3-х книгах. Т. 3. 2015. С. 59 – 60.

## REFERENCES

1. Novikov V. S. Ensuring the durability of the working bodies of soil-cultivating machines. — Moscow: INFRA-M, 2019. — 155 p. [in Russian].
2. Novikov V. S. Hardening of the working bodies of soil-cultivating machines for a given resource. — Moscow: INFRA-M, 2018. — 169 p. [in Russian].
3. Tkachev V. N. Wear and improvement of durability of parts of agricultural machines. — Moscow: Mashinostroenie, 1971. — 232 p. [in Russian].
4. Severnev M. M. Wear of parts of agricultural machines. — Leningrad: Kolos, 1972. — 288 p. [in Russian].
5. Ruzhev V. A., Ozhegov N. M., Kaposzko D. A. Ensuring the durability of the working bodies of soil-cultivating machines, taking into account environmental requirements / Izv. SPbGAU. 2015. N 38. P 254 – 259 [in Russian].
6. Kuzmenko A. G., Vishnevsky O. A. Brinell – Howarth (Br-Hv) abrasion test method. Part I. Theoretical foundations of the method. — Khmelnytsky: Khmelnytsky National University, 2012. P 102 – 108 [in Russian].
7. Li C. X. Surface Engineering / Wear Testing and Wear Measurement. The University of Birmingham, UK. [http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz\\_anyagtech/1\\_konzultacio\\_elemei/wear\\_testing\\_measurement.htm](http://emrtk.unimiskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_anyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_testing_measurement.htm)
8. Kennedy D. M., Hashmi M. S. J. Methods of wear testing for advanced surface coatings and bulk materials / J. Mater. Proc. Technol. 1998. N 77. P 246 – 253.
9. Aulov V. F., Rozhkov Yu. N., Ishkov A. V., Krivocheurov N. T., Ivanaisky V. V., Novikov V. S. Comparative tests for wear resistance of specimens made of steel 65G and specimens coated with high-speed high-frequency boriding / Energy-efficient and resource-saving technologies and systems. 2017. P 422 – 427 [in Russian].
10. Aulov V. F., Ivanaisky V. V., Ishkov A. V. Obtaining wear-resistant composite coatings on steel 65G during high-frequency heating / Tekhnol. Mashinostr. 2015. N 2. P 30 – 34 [in Russian].
11. Ishkov A. V., Lyalyakin V. P., Aulov V. F., Krivocheurov N. T., Ivanaisky V. V., Sokolov A. V. Combined functional coatings for parts of agricultural machines of complex shape: design and production technology. — In the collection: Agrarian science to agriculture. In 3 books. Vol. 3. 2015. P 59 – 60 [in Russian].