



МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫЕ КОМПОНЕНТЫ

УДК 631.352.022

С.А. ТЮРИН, канд. техн. наук
доцент кафедры «Сельскохозяйственные машины»¹
E-mail: iznoslab@mail.ru

В.Б. ПОПОВ, канд. техн. наук, доц.
заведующий кафедрой «Сельскохозяйственные машины»¹
E-mail: popov5@list.ru

П.С. ДРОБЫШЕВСКИЙ
начальник лаборатории комплексных испытаний и сварки²
E-mail: iznoslab@mail.ru

¹Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого, г. Гомель, Республика Беларусь

²ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 01.11.2021.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСКОРЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ НОЖЕЙ РЕЖУЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩИХ АППАРАТОВ КОРМОУБОРОЧНЫХ КОМБАЙНОВ

В работе предложен способ и разработана методика ускоренных стендовых испытаний в лабораторных условиях ножей режущо-измельчающих аппаратов кормоуборочных комбайнов. Одно из главных назначений разработанного метода — экспериментальная сравнительная оценка длительной работоспособности (по критерию износостойкости) различных вариантов ножей (по материалам для их изготовления и конструктивно-геометрическим параметрам). Предлагаемым способом испытаний решается задача по оценке износостойкости ножей сельскохозяйственных комбайнов по двум параметрам: физическому износу и затуплению их режущей кромки. В качестве контробразцов при испытаниях используется гибкая лента с закрепленным на одной ее плоскости абразивом, что позволяет реализовать износ при ударе со скольжением и тем самым значительно ускорить процесс повреждения ножей. Методика разрешает проводить испытания одновременно двух ножей, изготовленных по различным технологиям, в сопоставимых условиях. Кроме того, для ускорения испытаний на установке монтируется не один, а несколько контробразцов. В результате таких испытаний моделируется процесс ударно-усталостного нагружения с проскальзыванием и воспроизводится повреждение ножа, близкое к эксплуатационному: износ и увеличение радиуса режущей кромки. С использованием разработанной методики проведены сравнительные ускоренные испытания стальных импортных и чугунных отечественных (производства ОАО «Гомсельмаш») ножей, изготовленных по различным технологиям. Проведенные испытания позволили количественно оценить отличие служебных характеристик ножей режущих барабанов, изготовленных по различным технологиям, что подтверждает ее полезность и эффективность. Разработанная методика утверждена в установленном порядке и используется для проведения стендовых испытаний ножей на ОАО «Гомсельмаш».

Ключевые слова: кормоуборочный комбайн, режущо-измельчающий аппарат, нож, испытания, методика

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-4-57-41-47>

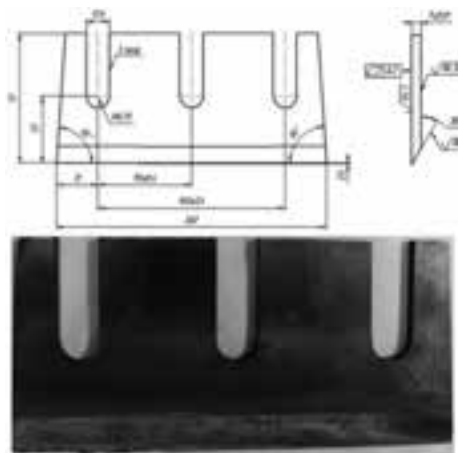
Введение. Кормоуборочный комбайн в процессе своей работы производит следующие основные операции: скашивание кормов, их подбор и измельчение. При этом измельчение, производимое системой «противорежущий брус — ножи — основание измельчающего барабана», является главной и наиболее энергоемкой операцией [1–3]. В связи с этим система «нож — прижим — болты — основание» является одним из наиболее ответственных узлов режущего барабана комбай-



a



b



c

Рисунок 1 — Комплекс высокопроизводительный кормоуборочный КVK-800 «ПАЛЕССЕ FS80» (a), общий вид режуще-измельчающего аппарата (b) и ножа (c)
Figure 1 — High-performance forage harvester complex KVK-800 “PALESSE FS80” (a), a general view of the cutting-reducing devices (b) and the knife (c)

на КVK-800 «ПАЛЕССЕ FS80» производства ОАО «Гомсельмаш» [4–5] (рисунок 1). В данной системе реализуется как контактное взаимодействие с трением ее компонентов, так и изгиб ножа вследствие резания зеленой массы.

Экспериментальное определение характеристик работоспособности ножей кормоуборочных комбайнов в условиях натуральных полевых испытаний хотя и дает наиболее точные результаты, является весьма длительным, трудоемким, дорогостоящим и реализуемым только в течение уборочного сезона. Между тем на практике довольно часто возникает потребность в ускоренной оценке надежности ножей, например, если необходимо быстро сравнительно оценить тот или иной конструктивный вариант ножа с точки зрения его износостойкости. В этой связи разработка методики сравнительных стендовых ускоренных испытаний ножей кормоуборочных комбайнов (для ускоренной оценки износостойкости поверхности резания ножей в условиях, близких к эксплуатационным) представляется весьма актуальной. Существенной особенностью этой методики является то, что она должна решать задачу по оценке износостойкости ножа по двум параметрам: физическому износу и затуплению его режущей кромки.

Таким образом, целью работы является разработка методики сравнительных стендовых ускоренных испытаний в условиях, близких к эксплуатационным, для сопоставления различных вариантов технологий изготовления ножей режуще-измельчающего аппарата кормоуборочного комбайна КVK-800 «ПАЛЕССЕ FS80».

Методика ускоренных испытаний ножей на износостойкость. Разработана методика ускоренных испытаний ножей, с использованием которой решается задача по оценке износостойкости ножей сельскохозяйственных комбайнов по двум параметрам: физическому износу и затуплению их режущей кромки.

Схема испытаний приведена на рисунке 2. В процессе испытаний происходит ударное воздействие на нож консольно закрепленным контробразцом, который вращается с заданной угловой скоростью ω . С целью ускорения повреждения ножей в качестве контробразца принята лента наждачной бумаги (см. рисунок 2). Путем подбора угла установки ножа в процессе испытаний реализуется повреждение ножа, близкое к натурному. Как видно из рисунка 2, с помощью ленты наждачной бумаги за один цикл испытаний реализуется удар со скольжением и, следовательно, износ передней и задней поверхности испытуемого ножа с обволакиванием его режущей кромки по радиусу r затупления.

Способ испытаний реализуется следующим образом (см. рисунок 2). Испытуемый натуральный образец-нож, изготовленный по принятой технологии (твёрдость, угол заточки β , толщина h_1) устанавливается в суппорте испытательного стен-

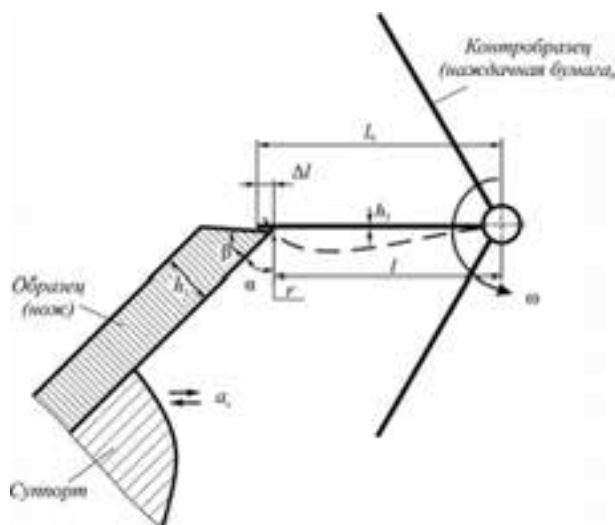


Рисунок 2 — Схема модельных испытаний ножей
Figure 2 — Scheme of model tests of knives

да и поворачивается на принятый для данной серии испытаний угол α . К ножу подводится контробразец, одним концом закрепленный в барабане испытательного стенда таким образом, что обеспечивается величина начального перекрытия Δl другого (свободного) его конца с поверхностью ножа. С целью обеспечения износа при ударе со скольжением контробразец выполнен в виде гибкой ленты с закрепленным (на одной ее плоскости) абразивом с размером зерна от 200 до 1000 мкм, что позволяет значительно ускорить процесс повреждения ножей. Контробразец приводят во вращение с угловой скоростью $\omega = \text{const}$.

Для реализации процесса повреждения и изнашивания одновременно передней и задней поверхностей ножей в одном цикле нагружения плоскость ножа может поворачиваться на угол $0 < \alpha \leq 60^\circ$, а для обеспечения одинакового начального перекрытия ($\Delta l = \text{const}$) при различных наработках предусмотрено перемещение (v_x) ножей навстречу друг другу в горизонтальном направлении.

Для ускорения испытаний монтируется не один, а несколько контробразцов, например $k = 4 \dots 8$, с применением наждачной бумаги с укрупненной зернистостью. Ударно-усталостный процесс изнашивания с проскальзыванием обеспечивает при испытаниях повреждение ножа, адекватное эксплуатационному: реализуется как физический износ i ножа, так и затупление (скругление) радиуса r его режущей кромки.

С целью реализации разработанной методики в соответствии с техническим заданием на ОАО «Гомсельмаш» разработан и изготовлен стенд для ускоренных испытаний ножей (УИН) (рисунок 3). Стенд позволяет проводить испытания одновременно двух ножей, изготовленных по различным технологиям, в сопоставимых условиях.

Схема расположения основных узлов стенда УИН представлен на рисунке 4. На раме 1 стенда установлены два суппорта 2 для закрепления испытуемых ножей (образцов). Крепление ножей



a



b

Рисунок 3 — Стенд УИН: a — общий вид; b — рабочая зона
Figure 3 — UIN (accelerated testing of knives) bench:
a — general view; b — working zone

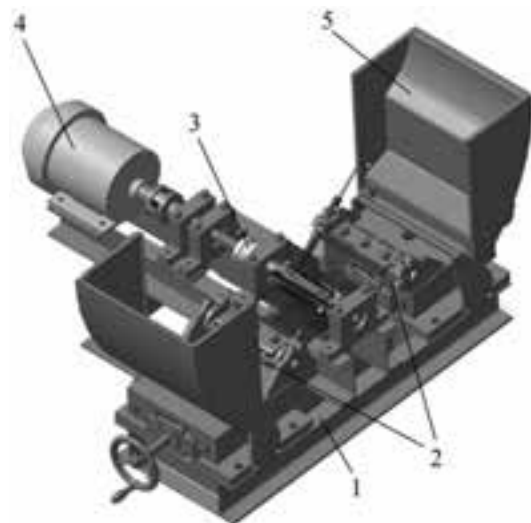


Рисунок 4 — Схема расположения основных узлов стенда УИН: 1 — рама; 2 — суппорт; 3 — барабан; 4 — электродвигатель; 5 — двери защитного кожуха
Figure 4 — Layout of the main joints of the UIN bench:
1 — frame; 2 — caliper; 3 — drum; 4 — electric motor; 5 — protective casing doors

аналогично применяемому на кормоуборочных комбайнах. Барабан 3 предназначен для закрепления контробразцов (полосок наждачной бумаги и др.) и придания им угловой скорости ω с помощью электродвигателя 4. Рабочая зона закрывается дверцами 5 защитного кожуха.

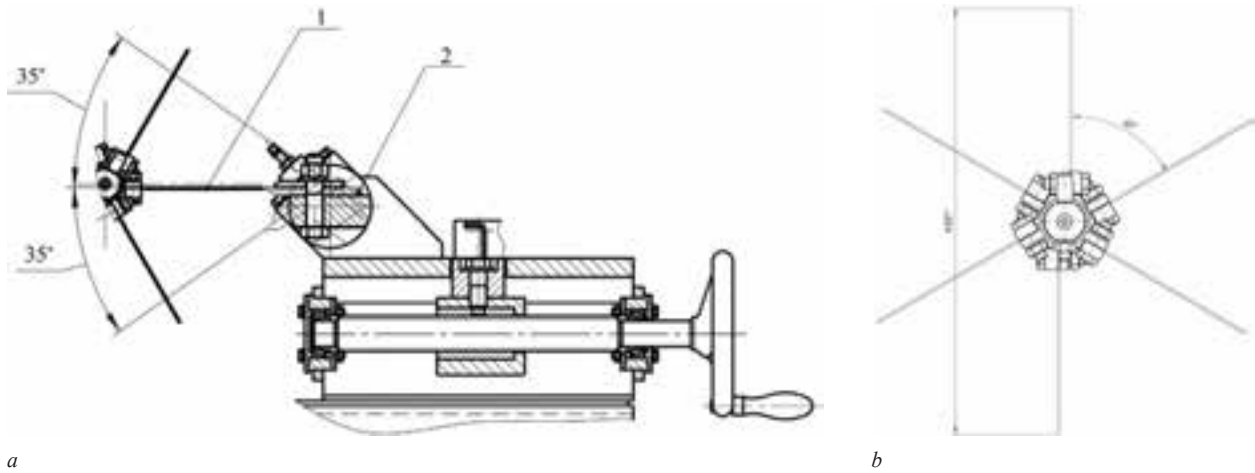


Рисунок 5 — Схема установки образцов (а) и контробразцов (b) на стенде УИН: 1 — контробразец; 2 — образец-нож
 Figure 5 — Installation scheme of samples (a) and counter-tiles (b) at the UIN bench: 1 — counter-specimen; 2 — knife specimen

Общая схема установки образцов-ножей на стенде представлена на рисунке 5 а. При установке ножей в рамках намеченной серии испытаний необходимо сохранять принятую величину вылета режущей части ножа относительно суппорта, угол установки, а также исследуемую поверхность.

Контробразцы представляют собой лепестки наждачной бумаги длиной 150 и шириной 35 мм. Комплекты контробразцов по 6 шт. закрепляются равномерно по периметру барабана (через 60°) в два ряда. Схема установки одного ряда контробразцов на барабан представлена на рисунке 5 б.

По результатам испытаний проводят определение физического износа ножа (путем измерения его ширины), а также скругление его режущей кромки. Схема измерения ширины ножа от режущей кромки до опоры суппорта представлена на рисунке 6. Измерение производится по шаблону (через 1 см) в трех точках по ширине поврежденного участка каждого ножа.

Для оценки изменения радиуса кромки ножа получают отпечатки его кромки. При этом используют мягкий металл (свинец) (рисунок 7 а).

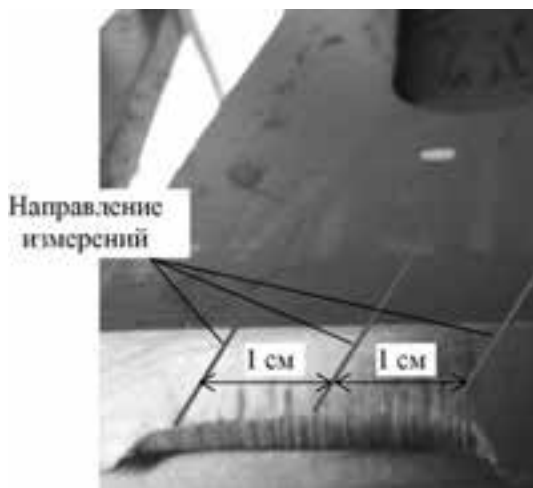


Рисунок 6 — Схема измерения износа ножей
 Figure 6 — Knife wear measurement scheme

Измерения проводят в середине поврежденного участка каждого ножа (см. рисунок 7 б) с использованием специального приспособления. После получения отпечатков на конфокальном лазерном микроскопе Olympus LEXT OLS3000 получают точные значения радиуса закругления (рисунок 8).

На рисунке 9 приведен пример практического использования разработанной методики. Проведены испытания стальных (импортных) ножей Z81123 (производства США) и ножей из чугуна

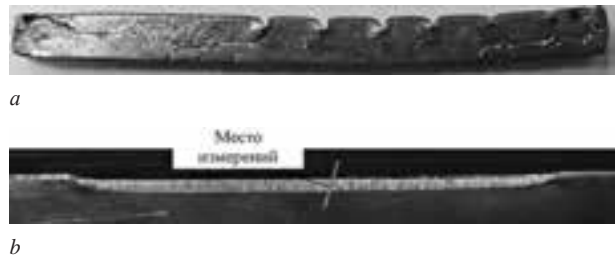


Рисунок 7 — Отпечатки кромки ножа (а) и зона измерений (b)
 Figure 7 — Knife edge prints (a) and measurement area (b)

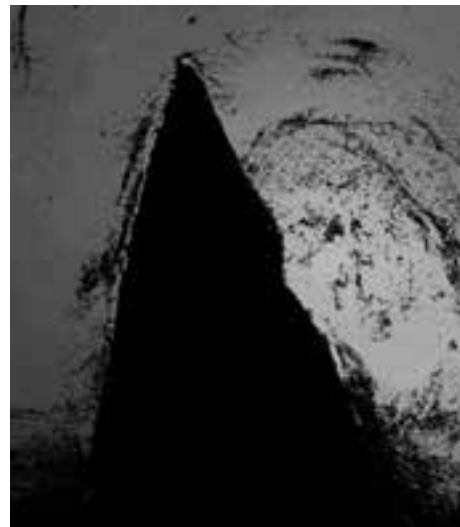
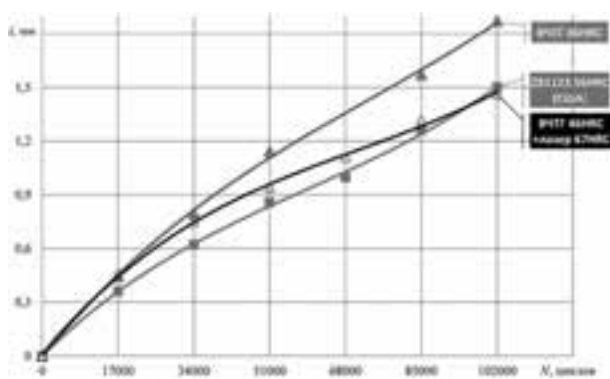
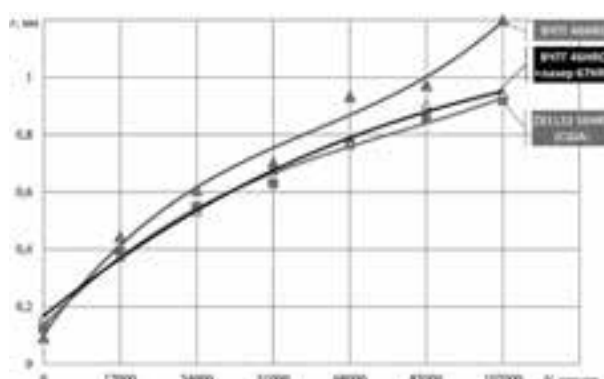


Рисунок 8 — Вид отпечатка кромки ножа на микроскопе Olympus LEXT OLS3000
 Figure 8 — View of the knife edge print on the Olympus LEXT OLS3000 microscope



a



b

Рисунок 9 — Изменение средних значений износа i (a) и радиуса r (b) режущей кромки ножей от числа циклов нагружения
 Figure 9 — Change in the average values of wear i (a) and radius r (b) of the cutting edge of the knives from the number of loading cycles

ВЧТГ (производства ОАО «Гомсельмаш») [6–9] с лазерным упрочнением и без него. Получены зависимости изменения средних значений износа i (см. рисунок 9 a) и радиуса r (см. рисунок 9 b) режущей кромки ножей от числа циклов нагружения. За базу испытаний принято ~100 тыс. циклов ускоренных испытаний.

Таким образом, полученными по результатам испытаний данными подтверждается общая закономерность: рост числа циклов нагружения ведет к увеличению как износа ножей, так и радиуса закругления их режущей кромки. Видно, что разработанная методика позволяет количественно оценить различие служебных характеристик ножей режущих барабанов, изготовленных по различной технологии, что подтверждает ее полезность и эффективность.

Разработанная методика утверждена в установленном порядке и используется для проведения стендовых испытаний ножей в ЛКИМиС (лаборатории комплексных испытаний материалов и сварки) ОАО «Гомсельмаш» [10].

Заключение. 1. В рамках выполнения работы предложен способ ускоренных стендовых испытаний в лабораторных условиях ножей режуще-измельчающих аппаратов кормоуборочных комбайнов.

2. Разработана методика ускоренных испытаний ножей на стенде УИН — с реализацией ускоренного повреждения ножей с помощью ленты наждачной бумаги. В этом случае за один цикл нагружения происходит последовательное изнашивание передней и задней поверхностей ножа с обволакиванием радиуса закругления его режущей кромки. Вследствие моделирования процесса ударно-усталостного нагружения с проскальзыванием воспроизводится повреждение ножа, близкое к эксплуатационному (износ и увеличение радиуса режущей кромки).

3. По разработанной методике проведены сравнительные ускоренные испытания стальных импортных и чугуновых (производства ОАО «Гомсельмаш») ножей, изготовленных по различным технологиям. Проведенные испытания позволи-

ли количественно оценить различие служебных характеристик ножей режущих барабанов, изготовленных по различной технологии, что подтверждает ее полезность и эффективность.

4. По мнению авторов, данные исследования имеют принципиальное значение: впервые в практике сельхозмашиностроения создан ускоренный способ лабораторных испытаний ножей режуще-измельчающих аппаратов с воспроизведением типичных эксплуатационных повреждений: износ и затупление режущей кромки. Экспериментальная сравнительная оценка длительной работоспособности (по критерию износостойкости) различных вариантов ножей (по материалам для их изготовления и конструктивно-геометрическим параметрам) — одно из главных назначений разработанного метода.

Список литературы

1. Комбайн кормоуборочный высокопроизводительный КВК-8060 в комплектации с жаткой для грубостебельных культур // Сельский механизатор. — 2017. — № 10. — С. 15.
2. Рехлицкий, О.В. Кормоуборочный комбайн КВК 8060 — новый этап в отечественном комбайностроении / О.В. Рехлицкий, В.К. Липская // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы междунар. науч.-практ. конф., Минск, 19–20 окт. 2010 г. / НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства. — Минск, 2010. — Т. 2. — С. 3–8.
3. Рехлицкий, О.В. Развитие кормоуборочной техники производства ПО «Гомсельмаш» / О.В. Рехлицкий, В.Б. Попов // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. студентов, магистрантов и молодых ученых, Гомель, 25–26 апр. 2013 г. / Мин-во образования Республики Беларусь, ГГТУ им. П.О. Сухого. — Гомель, 2013. — С. 11–19.
4. Щербаков, С.С. Напряженно-деформированное состояние и повреждаемость трибофатической системы «прижим — нож — опора» режущего инструмента комбайна / С.С. Щербаков // Механика машин, механизмов и материалов. — 2012. — № 2(19). — С. 75–80.
5. Щербаков, С.С. Объемная повреждаемость и износ ножа в трибофатической системе режущего инструмента кормоуборочного комбайна / С.С. Щербаков, О.А. Насань // Вестн. БелГУТа: наука и транспорт. — 2016. — № 1(32). — С. 209–217.
6. Чугун с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости: пат. ВУ 15617 / Л.А. Сосновский, В.А. Жмайлик, Н.В. Псырков, В.О. Замятин, В.В. Комиссаров. — Оpubл. 30.04.2012. — 4 с.

7. Высокопрочный чугу́н с шаровидным графитом и высоким сопротивлением усталости. Марки и механические свойства: СТБ 2544–2019. — Введ. 01.10.2019. — Минск: ГОССТАНДАРТ, 2019. — 7 с.
8. Специальный высокопрочный чугу́н с шаровидным графитом как конкурент упрочненной стали / В.А. Жмайлик [и др.] // Тр. VI Междунар. симпозиума по трибофатике (ISTF 2010), Минск, 25 окт. – 1 нояб. 2010 г. / БГУ; редкол.: М.А. Журавков (пред.) [и др.]. — Минск, 2010. — Т. 2. — С. 73–77.
9. Механические и эксплуатационные свойства чугуна марки ВЧТГ / А.А. Новиков [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. — 2018. — № 1(72). — С. 61–69.
10. Ножи кормоуборочных комбайнов КВК-800. Методика сравнительных стендовых ускоренных испытаний. — Гомель: Гомсельмаш, 2014. — 11 с.

TYURIN Sergey A., Ph. D. in Eng.

Associate Professor of the Department “Agricultural Machines”¹

E-mail: iznoslab@mail.ru

POPOV Victor B., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Head of the Department “Agricultural Machines”¹

E-mail: popov5@list.ru

DROBYSHEVSKIY Pavel S.

Head of the Laboratory of Complex Testing and Welding²

E-mail: iznoslab@mail.ru

¹Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Republic of Belarus

²OJSC “Gomselmash”, Gomel, Republic of Belarus

Received 01 November 2021.

SIMULATION OF ACCELERATED TESTING OF KNIVES OF CUTTING-REDUCING DEVICES OF FORAGE HARVESTERS

A method is proposed and a technique is developed for accelerated bench tests in laboratory conditions of knives of cutting-reducing devices of forage harvesters. One of the main purposes of the developed method is an experimental comparative assessment of the long-term performance (according to the wear resistance criterion) of various knife options (according to the materials for their manufacture and structural and geometric parameters). The proposed test method solves the problem of assessing the wear resistance of agricultural harvester knives by two parameters: physical depreciation and dulling of their cutting edge. A flexible belt with an abrasive fixed on one of its surfaces is used as counter-specimens during testing, which allows for wear with sliding impact and thereby significantly accelerates the process of knives damage. The technique makes it possible to test simultaneously two knives made using different technologies, under comparable conditions. In addition, to speed up testing, not one, but several counter-specimens are mounted on the test equipment. As a result of such tests, the process of impact-fatigue loading with slipping is simulated and the damage to the knife is reproduced, which is close to the operational one: wear and an increase in the cutting edge radius. Using the developed technique, comparative accelerated tests of imported steel and domestic cast iron (produced by OJSC “Gomselmash”) knives made using various technologies were carried out. The tests conducted made it possible to quantify the difference in the service characteristics of the cutting drum knives made using various technologies, which confirms its usefulness and efficiency. The developed technique was approved in accordance with the established procedure and is used for bench testing of knives at OJSC “Gomselmash”.

Keywords: forage harvester, cutting-reducing device, knife, testing, technique

DOI: <https://doi.org/10.46864/1995-0470-2021-4-57-41-47>

References

1. Kombayn kormouborochnyy vysokoproizvoditelnyy KVK-8060 v komplektatsii s zhatkoy dlya grubostebelnykh kultur [High-performance forage harvester KVK-8060 with a platform for rough-stemmed crops]. *Selskiy mekhanizator*, 2017, no. 10, p. 15 (in Russ.).
2. Rekhliitskiy O.V., Lipskaya V.K. Kormouborochnyy kombayn KVK-8060 — novyy etap v otechestvennom kombaynostroenii [Forage harvester KVK-8060 — a new stage in the domestic combine industry]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii “Nauchno-tekhnicheskoy progress v sel-*

- skokhozyaystvennom proizvodstve*” [Proc. International Scientific and Practical Conference “Scientific and technological progress in agricultural production”]. Minsk, 2010, vol. 2, pp. 3–8 (in Russ.).
3. Rekhliitskiy O.V., Popov V.B. Razvitiye kormouborochnoy tekhniki proizvodstva PO “Gomselmash” [Development of forage harvesting equipment manufactured by PO “Gomselmash”]. *Materialy 13 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, magistrantov i molodykh uchenykh “Issledovaniya i razrabotki v oblasti mashinostroeniya, energetiki i upravleniya”* [Proc. 13th International Scientific and Technical Conference of students, undergraduates and young scientists “Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management”]. Gomel, 2013, pp. 11–19 (in Russ.).
 4. Sherbakov S.S. Napryazhenno-deformirovannoe sostoyaniye i povrezhdaemost tribofaticheskoy sistemy “prizhim — nozh — opora” rezhushchego instrumenta kombayna [Stress-strain state and damage of tribo-fatigue system “clamp — knife — base” of harvester cutting instrument]. *Mechanics of machines, mechanisms and materials*, 2012, no. 2(19), pp. 75–80 (in Russ.).
 5. Sherbakov S.S., Nasan O.A. Obemnaya povrezhdaemost i iznos nozha v tribofaticheskoy sisteme rezhushchego instrumenta kormouborochnogo kombayna [Volume damageability and wear of knife in the tribo-fatigue system of cutting unit of agricultural harvester]. *Bulletin of BSUT: science and transport*, 2016, no. 1(32), pp. 209–217 (in Russ.).
 6. Sosnovskiy L.A., Zhmaylik V.A., Psyrvkov N.V. *Chugun s sharovidnym grafitom i vysokim soprotivleniem ustalosti* [Cast iron with spherical graphite and high fatigue resistance]. Patent BY, no. 15617, 2012 (in Russ.).
 7. Standard of Belarus STB 2544–2019. *Vysokoprochnyy chugun s sharovidnym grafitom i vysokim soprotivleniem ustalosti. Marki i mekhanicheskie svoystva* [High-strength cast iron with spherical graphite and high fatigue resistance. Brands and mechanical properties]. Minsk, Gosstadart Publ., 2019. 7 p. (in Russ.).
 8. Zhmaylik V.A., Psyrvkov N.V., Komissarov V.V., Zamyatin V.O., Sosnovskiy L.A. Spetsialnyy vysokoprochnyy chugun s sharovidnym grafitom kak konkurent uprochnennoy stali [Special high-strength cast iron with spherical graphite as a competitor to hardened steel]. *Trudy 6 Mezhdunarodnogo simpoziuma po tribofatike (ISTF 2010)* [Proc. 6th International symposium on tribo-fatigue (ISTF 2010)]. Minsk, 2010, vol. 2, pp. 73–77 (in Russ.).
 9. Novikov A.A., Drobyshevskiy P.S., Tyurin S.A., Chumak D.S. Mekhanicheskie i ekspluatatsionnye svoystva chuguna marki VChTG [Mechanical and operational properties of cast iron of the ВЧТГ (VChTG) brand]. *Vestnik GGTU im. P.O. Sukhogo*, 2018, no. 1(72), pp. 61–69 (in Russ.).
 10. *Nozhi kormouborochnykh kombaynov KVK-800. Metodika sravnitelnykh stendovykh uskorennykh ispytaniy* [Knives of KVK-800 forage harvesters. Methodology of comparative bench accelerated tests]. Gomel, Gomselmash Publ., 2014. 11 p. (in Russ.).