

EDN: RUIOYE

DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-17-23

Научная статья
УДК 338.43(471):633.521

Технологические способы повышения долговечности льноуборочных машин

Виктор Григорьевич Черников,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН,
главный научный сотрудник,
e-mail: v.chernikov@fncl.ru;
Сергей Викторович Соловьёв,
младший научный сотрудник,
e-mail: s.solovyov@fncl.ru;

Владислав Юрьевич Романенко,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: v.romanenko@fncl.ru;
Геннадий Анатольевич Перов,
кандидат технических наук,
ведущий научный сотрудник,
e-mail: g.perov@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Российская Федерация

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

Реферат. Отметим, что многообразие природных условий возделывания и уборки льна в разных зонах страны обуславливает актуальность вопроса повышения надежности как серийных, так и вновь разработанных машин для отрасли льноводства. (*Цель исследования*) Разработать методологию повышения долговечности лноуборочных машин за счет разработки новых и внедрения унифицированных узлов в 1,5 раза. (*Материалы и методы*) Показатели надежности на первой стадии создания машин определяли путем расчетов, показатели надежности серийных машин – на основе эксплуатационных испытаний и обследований в хозяйствах, а также при ускоренных стендовых испытаниях отдельных узлов и машин в целом. (*Результаты и обсуждение*) Установили, что приведенные расчеты достаточно полно иллюстрируют оценку работоспособности лноуборочных машин с использованием обобщенного нагрузочного графика. Показали, что нормирование режимов работы механизмов не требует длительных статических испытаний в полевых условиях и позволяет прогнозировать долговечность элементов привода. Выявлено, что регламентирование режимов создает предпосылки не только для повышения надежности расчетов элементов лноуборочных машин на заданный срок службы, но послужит основой программирования ускоренных стендовых испытаний и прогнозирования долговечности. (*Выводы*) Методика может быть рекомендована при решении вопросов в области обеспечения долговечности деталей и узлов лноуборочных машин. Подтверждена необходимость разработки методологии повышения износостойкости на основе формализации базы накопленных знаний современными методами и средствами. Приведены примеры, подтверждающие, что разработка новых узлов, в частности, очесывающего механизма, подбирающего барабана, и внедрение унифицированных узлов позволят увеличить долговечность машин в 1,5 раза.

Ключевые слова: техника для уборки льна, долговечность машин, унификация узлов, модернизация узлов и деталей, средний нормальный режим, полигон распределенных нагрузок, эквивалентная нагрузка, обобщенный нагрузочный график.

■ **Для цитирования:** Черников В.Г., Соловьёв С.В., Романенко В.Ю., Перов Г.А. Технологические способы повышения долговечности лноуборочных машин // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2025. Т. 19. №3. С. 17-23. DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-17-23. EDN: RUIOYE.

Scientific article

Technological Methods for Increasing Flax Harvester Durability

Viktor G. Chernikov,
Dr.Sc.(Eng.), professor, corresponding member of the
Russian Academy of Sciences, chief researcher,
e-mail: v.chernikov@fncl.ru;
Sergey V. Solovyov,
junior researcher, e-mail: s.solovyov@fncl.ru;

Vladislav Yu. Romanenko,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: v.romanenko@fncl.ru;
Gennady A. Perov,
Ph.D.(Eng.), leading researcher,
e-mail: g.perov@fncl.ru

Federal Researcher Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (state assignment of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Research Center for Bast Fiber Crops No. FGSS-2022-0005).

Abstract. The paper highlights that the diverse natural conditions for flax cultivation and harvesting across different regions of the country require improvements in the reliability of both serially produced and newly developed machinery for the flax industry. (*Research purpose*) The study aims to develop a methodology to increase the durability of flax harvesters through the design both new and standardized components, with the goal of extending machine service life by a factor of 1.5. (*Materials and methods*) Reliability indicators at the first stage of machine creation were determined by calculations, reliability indicators of serial machines were determined on the basis of operational tests and surveys in farms, as well as during accelerated bench tests of individual components and machines as a whole. (*Results and discussion*) The results show that the presented calculations effectively support the performance evaluation of flax harvesters using a generalized load mode. It is demonstrated that standardizing the operating modes of mechanisms eliminates the need for lengthy static (statistical) field tests and enables prediction of component durability. Furthermore, regulating these operating modes creates the foundation not only for improving the reliability of service life estimates but also for programming accelerated bench tests and the prediction of drive component durability. (*Conclusions*) The proposed methodology can be recommended for addressing durability challenges in the components and assemblies of flax harvesters. The study confirms the need for developing a wear-resistance improvement strategy based on the formalization of accumulated knowledge using modern tools and engineering techniques. The provided examples demonstrate that developing new components, specifically the stripping mechanism and the pickup drum, and introducing standardized units can increase machine durability by a factor of 1.5.

Keywords: flax harvesting machinery, flax harvesters, machine durability, component standardization, modernization of components and parts, average normal operating mode, load distribution polygon, equivalent load, generalized load curve.

■ **For citation:** Chernikov V.G., Solovyov S.V., Romanenko V.Yu., Perov G.A. Technological methods for increasing flax harvester durability. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2025. Vol. 19. N3. 17-23 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2025-19-3-17-23. EDN: RUIOYE.

Возрождение российской экономики немислимо без подъема АПК и одной из основных отраслей этого комплекса – льноводства [1]. Конкурентоспособность льноуборочной техники напрямую связана с качеством проектно-конструкторских работ, технологической подготовкой производства. Комплексная механизация операций уборки льна зависит от средств, которые должны обладать энергонасыщенностью, повышенной универсальностью, возможностью использовать большое количество сменных рабочих органов [2-4]. При современном уровне развитии науки и техники стало возможным более точно прогнозировать и управлять отдельными операциями, выполняемыми льноуборочными машинами [5].

Цель исследования. Разработать методологию повышения долговечности льноуборочных машин за счет разработки новых и внедрения унифицированных узлов в 1,5 раза.

Материалы и методы. Показатели надежности на первой стадии создания машин определяли путем расчетов, показатели надежности серийных машин – на основе эксплуатационных испытаний и обследований в хозяйствах, а также при ускоренных стендовых испытаниях отдельных узлов и машин в целом [5-7].

На первой стадии создания машин большое внимание было уделено унификации узлов и деталей. Конструктивная унификация дает большой эффект не только в производстве, но и в эксплуатации машин. При этом создаются более благоприятные условия для совершенствования машин, выбора прогрессивных методов получения заготовок и технологии их изготовления. Только в льноуборочных комбайнах ЛК-4Т и ЛК-4А унифицированы: редуктор привода очесывающего аппарата, элементы гидравлической системы, резинотехнические изделия комбайнов; в подборщиках тресты – редуктор привода комлеподбивателя, распределительный редуктор, гидрораспределитель; в теребилке ТЛН-1,5 и ТЛН-1,9 – редукторы привода и делители [8].

Большая работа была проведена по повышению качества серийных машин путем их модернизации. На льноуборочных комбайнах, начиная с модификации ЛК-4Т и до ЛК-4А, внедрен новый очесывающий аппарат, его долговечность повысилась в 1,5 раз. В предшествующих модификациях льнокомбайнов неправильное нагружение ведомого диска, воспринимающего при вращении барабана инерционные нагрузки от неуравновешенных гребней в виде изгибающего момента, который действует перпендикулярно плоскости диска, выводило барабан из строя.

На новом барабане ведомый диск установлен на эксцентрик с возможностью осевого перемещения, а подшипники поводков заключены в амортизаторы. При вращении барабана за счет смещения ведомого диска на величину, равную расстоянию между осями вращения гребней и поводков, гребни совершают вращательно-поступательное движение. Благодаря свободной установке на эксцентрик ведомого диска и заключению подшипников в амортизаторы устранены ударные нагрузки.

Для быстрого устранения забивания стеблями поперечный транспортер льнокомбайнов выполнен подъемным. Испытания комбайнов с таким транспортером проводились на ряде машиноиспытательных станций, где новые узлы были положительно оценены и рекомендованы в серийное производство.

Аналогичная работа выполнена с подборщиком тресты и оборачивателем (рис. 1) [9, 10].

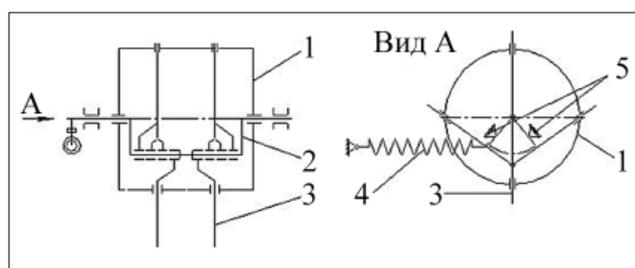


Рис. 1. Подбирающий аппарат льноподборщика и льнооборачивателя: 1 – кожух; 2 – эксцентрическая ось; 3 – пальцы; 4 – пружина; 5 – упоры

Fig. 1. Picking device of the flax picker and the flax turner: 1 – casing; 2 – eccentric axis; 3 – fingers; 4 – spring; 5 – stops

С целью улучшения качества работы на высокоурожайном льне и повышения производительности льнокомбайнов проводятся совместные работы ученых и конструкторов по установке на комбайнах передвижных очесывающих аппаратов, смонтированных на общей раме с зажимным транспортером относительно поперечного транспортера, что позволяет регулировать его положение в зависимости от длины стеблей льна. При этом улучшается чистота очеса короткого и длинностебельного льна, уменьшаются потери стеблей при уборке полегшего льна. Транспортер вороха имеет устройство, позволяющее распределять его по длине кузова прицепа, что способствует сокращению простоев комбайнов и численности обслуживающего персонала.

Однако бесперебойная работа всего парка машин обеспечивается не только конструктивными улучшениями, но и качеством технического обслуживания и ремонта машин в эксплуатации. Несмотря на все возрастающий объем производства запасных частей, в них все же ощущается недостаток. Важнейшим условием для решения данной

задачи является определение научно обоснованных норм расхода запасных частей [11-14].

В ходе создания и испытаний льнокомбайнов ЛК-4Т и до ЛК-4А широко изучались усилия (нагрузки) в узлах очесывающего аппарата гребневого типа, что позволило разработать и внедрить мероприятия по увеличению технологической и эксплуатационной надежности аппарата [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. Для анализа входных и выходных процессов привода очесывающего аппарата льнокомбайна проведен полевой эксперимент, во время которого крутящий момент на валу очесывающего барабана, угловая скорость его вращения и скорость комбайна записывались в онлайн-режиме на ноутбуке, с установленным программным обеспечением «Испытания» с применением измерительной системы ИП 264. Одной из особенностей программы является возможность передачи данных в формат MS Excel и дальнейшего построения графиков (рис. 2).

При обработке результатов исследований использовались методы математической статистики и теории случайных функций.

Наблюдается также период $\tau = 2,28$ с, равный времени одного оборота барабана, что очевидно, связано с его биением (рис. 3b). Период, соответствующий длительности работы одного очесывающего гребня ($\tau = 0,57$ с), виден только на осциллограммах. На графиках корреляционных функций, вычисленных по ординатам, дискретно считанным через $\tau = 0,05$ с, он не выявляется.

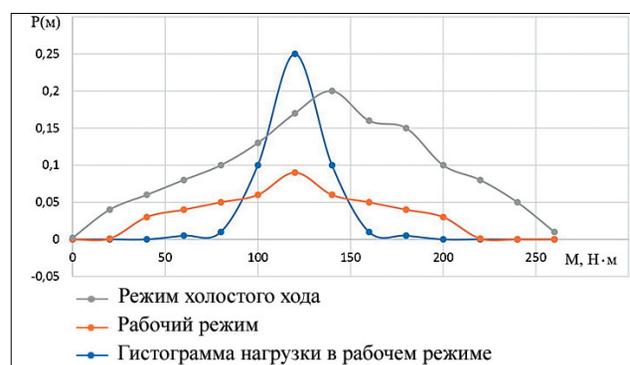


Рис. 2. Кривые плотности нормального распределения вероятностей $P(M)$ момента нагрузки на валу барабана
Fig. 2. Probability density curves $P(M)$ for the normal distribution of the load moment on the drum shaft

Изучаемый процесс формирования нагрузки может быть отнесен к классу нестационарных, обладающих свойством обобщенной текущей эргодичности. Для описания таких процессов средними статистическими характеристиками с удовлетворительной точностью можно применить выборочное осреднение по времени нескольких реализаций на интервалах (на валу барабана он найден равным

0,46 с), что близко соответствует периоду двойного оборота вала барабана. Такая частота колебаний может быть объяснена только собственными колебаниями системы привода барабана.

Подтверждение этому дает анализ графика корреляционной функции изменения крутящего момента при режиме холостого хода (рис. 3): здесь легко прослеживается несущая гармоника колебательного процесса с тем же периодом (оранжевая линия). При специальном динамическом исследовании системы привода собственная частота ее найдена близкой к указанной выше ($\tau = 0,46$ с).

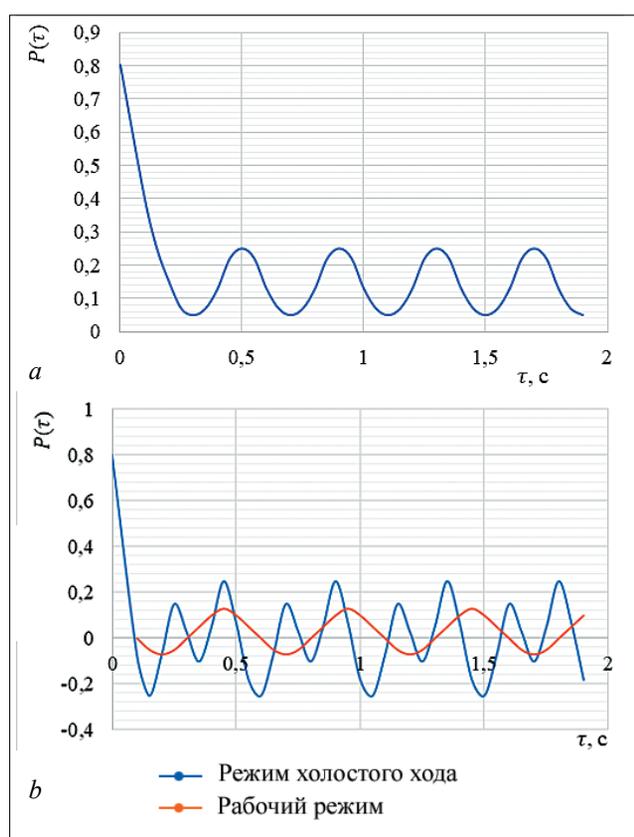


Рис. 3. Графики корреляционных функций изменения крутящего момента $P(\tau)$ при рабочем режиме (а) и в режиме холостого хода (б)

Fig. 3. Graphs of the correlation function for torque variation in operating mode (a) and idle mode (b)

Наиболее неблагоприятные нагрузки в барабане и в его приводе – это результат резонанса: период собственных колебаний системы барабана кратен периоду одного его оборота. По предварительной оценке, вызванное этим максимальное динамическое нагружение примерно вдвое превышает расчетную среднемаксимальную нагрузку режима рабочего хода. Снижение динамических нагрузок вредных сопротивлений механизма – первоочередные задачи совершенствования конструкции очесывающего аппарата льнокомбайна ЛК-4.

Эти работы подробно изложены в наших исследованиях по определению усилий в узлах очесывающего аппарата льнокомбайнов ЛК-4Т и ЛКВ-4Т, что позволило внести в его конструкцию ряд новшеств, обеспечивших повышение срока службы аппаратов в 1,5 раза.

У льнокомбайнов в начале работы, т.е. в период приработки (до 20-25 га), наблюдается повышенное число отказов. В дальнейшем параметр потока отказов уменьшается, наступает период нормальной эксплуатации. К наработке 60-70 га параметр потока отказов возрастает.

Проведена теоретическая и экспериментальная работа по расчету долговечности зубчатых колес трансмиссии привода льнокомбайна. Режим его работы определялся изменением крутящего момента на ведущем валу привода в производственных испытаниях. Измерения крутящих моментов записывались в режиме онлайн на компьютер с использованием разработанной программы.

В результате расчетов было найдено, что режим нагружения привода близок среднему нормальному, определена интегральная функция. Для составления нагрузочного графика для среднего нормального режима получено уравнение, в котором учитывается относительное время работы привода на нагрузках данного уровня с вычетом табличного значения нормальной функции распределения данной величины.

На рисунке 4 показаны нагрузочный график среднего нормального режима и график накопленных частностей относительной нагрузки, полученный при испытании очесывающего аппарата (M и M_{\max} – нагружающий и максимальный нагружающий момент, кН·м; $M_{\text{экв}}$ и $M_{\text{экв. изг}}$ – эквивалентный момент и эквивалентный изгибающий момент, кН·м; t_1 и $t_{\text{сут}}$ – время нагружения и суточное время нагружения, с).

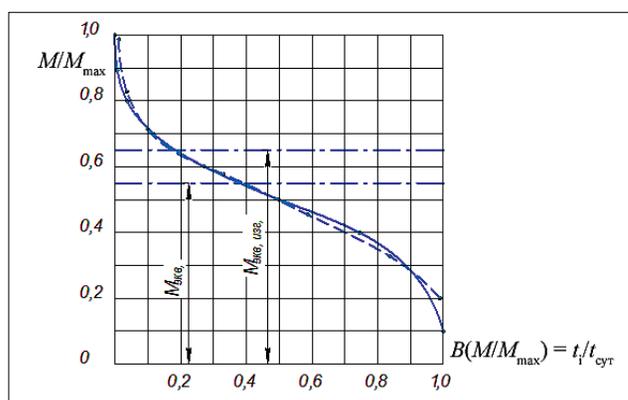


Рис. 4. Нагрузочный график среднего нормального режима (сплошная линия) и полигон распределения нагрузки, полученный при испытаниях очесывающего аппарата Fig. 4. Load curve representing the average normal mode (solid line) and the load distribution polygon obtained during tests of the stripping unit

Количественная оценка напряженности деталей привода может быть произведена при помощи эквивалентной нагрузки (M) путем приведения переменного нагрузочного режима к условному постоянному режиму, оказывающему такое же повреждающее действие, как и переменный режим, охарактеризованный нормальным распределением. Для определения эквивалентной нагрузки по расчетам долговечности зубчатых передач, работающих при среднем нормальном режиме нагружения, предложено эмпирическое выражение.

По величине эквивалентной нагрузки возможно оценить реально достижимую долговечность зубчатых колес трансмиссии льнокомбайна, используя кривую усталости Веллера.

Определяя затем возможное число циклов нагружения зубьев колеса по контактным напряжениям, проведены расчеты для трех вариантов привода льнокомбайна. Это позволило выбрать лучший вариант привода расчетной (наивысшей) долговечности. Вариант привода, удовлетворяющий расчетам и успешно прошедший производственные испытания, в настоящее время принят для серийно выпускаемых льнокомбайнов ЛК-4Т... ЛК-4А.

По изложенной выше методике были изучены эксплуатационные нагрузки привода подборщика тресты для оценки надежности его трансмиссии, что позволило уточнить нагрузки, принятые при расчетах зубчатых передач по критерию выносливости. Эквивалентный крутящий момент, требуемый для расчета зубчатых передач, определялся из выражения, в котором учтены: функция распределения эксплуатационных моментов; значения длительно действующего максимального и минимального эксплуатационных моментов; детерминированный показатель кривой усталости.

Для типовых режимов нагружения эквивалентные моменты определяются по известной методике. Однако, как показал опыт, эксплуатационные нагрузки в элементах трансмиссии подборщика тресты без существенной погрешности не могут быть отнесены ни к одному из типовых режимов. В этой ситуации статистическое распределение эксплуатационной нагрузки можно с достаточной точностью представить как соединение нескольких составляющих с нормальным распределением. Для этой операции наиболее удобный прием состоит в замене графика полученного статистического распределения некоторым числом равнобедренных треугольников, сумма ординат которых наиболее близко соответствует ординатам заменяемого статистического распределения. Здесь используется то обстоятельство, что распределение по закону равнобедренного треугольника в свою очередь довольно точно может быть заменено нормальной функцией распределения.

Попутно следует отметить, что для случая разложимых случайных процессов формирования нагрузки, как это имеет место и для подборщика тресты ввиду разветвленности системы его привода, такой способ изображения исходного статистического распределения имеет не только формальный, но и очевидный физический смысл.

Обработка по указанной методике всех остальных осциллографических записей и соответствующие эквивалентные моменты для расчета зубчатых передач привода подборщика тресты приведены в *таблице*.

Приводной вал машины		Эквивалентные моменты, Н·м		Пиковые моменты, Н·м
		$m = 3$	$m = 9$	
ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ МОМЕНТЫ ДЛЯ РАСЧЕТА ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИВОДА ПОДБОРЩИКОВ ТРЕСТЫ EQUIVALENT MOMENTS FOR CALCULATING THE GEAR DRIVES OF THE FLAX PICK-UP MECHANISM				
Таблица Table				
Вал отбора мощности		93,5	124,3	255,0
Промежуточный карданный вал		98,0	138,0	240,0
Карданный вал на приводе транспортера		40,3	55,7	130,0
Приводной вал очесывающего аппарата		54,0	84,7	150,0
Ведущий вал привода подбойки		21,5	29,0	34,6
Приводной вал зажимного транспортера		80,5	108,5	183,0
Карданный вал на приводе верхней ленты зажимного транспортера		46,4	52,4	107,0

Выводы. В исследовании подтверждена необходимость разработки методологии повышения износостойкости на основе формализации базы накопленных знаний современными методами и средствами. Приведенные расчеты достаточно полно иллюстрируют идею оценки работоспособности элементов привода льнокомбайна ЛК-4Т с использованием обобщенного нагрузочного графика.

Нормирование режимов работы механизмов льнокомбайна, не требуя длительных статистических испытаний в полевых условиях, позволяет прогнозировать долговечность элементов привода.

Регламентирование режимов позволит не только повысить надежность расчетов элементов комбайна на заданный срок службы, но послужит основой программирования ускоренных стендовых испытаний и прогнозирования долговечности.

Разработка новых узлов: очесывающего механизма, подбирающего барабана, а также внедрение унифицированных узлов позволит увеличить долговечность машин в 1,5 раза.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ростовцев Р.А., Черников В.Г., Ущাপовский И.В., Попов Р.А. Основные проблемы научного обоснования льноводства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2020. Т. 14. N3. С. 45-52. DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
2. Лобачевский Я.П., Лачуга Ю.Ф., Измайлов А.Ю., Шогенов Ю.Х. Научно-технические достижения агроинженерных научных организаций в условиях цифровой трансформации сельского хозяйства // *Техника и оборудование для села*. 2023. N4(310). С. 2-5. DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
3. Бейлис В.М., Ценч Ю.С. Методологические аспекты стандартизации машинных технологий производства продукции растениеводства // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. N1 (34). С. 61-67. EDN: WDXYHY.
4. Лобачевский Я.П., Ценч Ю.С. Принципы формирования систем машин и технологий для комплексной механизации и автоматизации технологических процессов в растениеводстве // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N4. С. 4-12. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
5. Соловьёв С.В., Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Романенко В.Ю. Результаты камеральных работ по отделению семенных коробочек льна-долгунца при очесе на корню гребенками однороторного очесывающего барабана // *Инженерные технологии и системы*. 2024. 34(3). С. 350-369. DOI: 10.15507/2658-4123.034.202403.350-369.
6. Черников В.Г., Романенко В.Ю., Андрощук В.С., Шишин Д.А. Пути повышения надежности льноуборочных машин // *Техника и оборудование для села*. 2017. N2. С. 30-33. EDN: XXRSML.
7. Ценч Ю.С., Миронов Д.А., Пыжов В.В. Развитие методов восстановления деталей тракторных двигателей // *Технический сервис машин*. 2025. Т. 63. N1. С. 102-110. DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.
8. Сидоров С.А., Миронов Д.А., Ценч Ю.С., Миронова А.В. Оценка износостойкости и ресурса двухслойных упрочненных почворезущих рабочих органов в различных почвенных условиях // *Инженерные технологии и системы*. 2020. Т. 30. N4. С. 699-710. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.
9. Черников В.Г., Ростовцев Р.А., Романенко В.Ю. Исследование технологий уборки льна льноуборочными машинами // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023. Т. 17. N1. С. 19-24. DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-19-24.
10. Соловьёв С.В., Романенко В.Ю., Черников В.Г. Разработка самоходного оборачивателя лент льна на дистанционном управлении // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2024. Т. 18. N4. С. 10-16. DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-10-16.
11. Лачуга Ю.Ф., Зинцов А.Н., Ковалев М.М., Перов Г.А. Научные аспекты повышения эффективности процессов очеса семенных коробочек при двухфазной уборке льна-долгунца // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. N1. С. 53-58. DOI: 10.31857/S2500262722010094.
12. Дорохов А.С., Костомахин М.Н., Воронов А.Н. Сбор информации о надежности сельскохозяйственных машин с использованием систем мониторинга с помощью контроля параметров технического состояния // *Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт*. 2018. N8. С. 53-61. EDN: YAQTDN.
13. Ценч Ю.С. Научно-технический потенциал как главный фактор развития механизации сельского хозяйства // *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2022. Т. 16. N2. С. 4-13. DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
14. Antsupov A.V., Antsupov A.V., Antsupov V.P. Development of analytical methodology for detail durability test while arranging metallurgical machines. *Proceedings ICIE 2019*. 2020. 83-90. DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_10.
15. Blinkov I.V., Anikin V.N., Petrzhik M.I. et al. Acquisition and properties of wear-resistant PVD/CVD-coatings on a hard-alloy tool. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2011. Vol. 52. N1. 109-114. DOI: 10.3103/S1067821211010068.

REFERENCES

1. Rostovtsev R.A., Chernikov V.G., Ushchapovsky I.V., Popov R.A. The main problems of scientific support of flax growing. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2020. Vol. 14. N3. 45-52 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2020-14-3-45-52.
2. Lobachevskiy Ya.P., Lachuga Yu.F., Izmaylov A.Yu., Shogonov Yu.Kh. Scientific and technical achievements of agricultural engineering scientific organizations in the context of digital transformation of agriculture. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2023. N4(310). 2-5 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2023-4-2-5.
3. Beylis V.M., Tsench Yu.S. Methodological aspects of standardization of machine technologies for crop production. *Electrical Engineering and Electrical Equipment in Agriculture*. 2019. 1(34). 61-67 (In Russian). EDN: WDXYHY.
4. Lobachevskiy Ya.P., Tsench Yu.S. Principles of forming machine and technology systems for integrated mechanization and automation of technological processes in crop production. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N4. 4-12 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-4-4-12.
5. Solovyov S.V., Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Romanenko V.Yu. The results of the laboratory study on the separating fiber flax seed balls when combing the standing plants with a single-rotor comb-dresser. *Engineering Technologies and Systems*. 2024. N34(3). 350-369 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.034.202403.350-369.
6. Chernikov V.G., Romanenko V.Yu., Androshchuk V.S.,

- Shishin D.A. Ways to improve the reliability of flax harvesters. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2017. N2. 30-33 (In Russian). EDN XXRSML.
7. Tsench Yu.S., Mironov D.A., Pyzhov V.V. Development of Methods for Restoring Parts of Tractor Engines. *Technical Service of Machines*. 2025. Vol. 63. N1. 102-110 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2025-63-1-102-110.
 8. Sidorov S.A., Mironov D.A., Tsench Yu.S., Mironova A.V. Assessment of durability and service life of two-layer hardened earth cutters in various soil conditions. *Engineering Technologies and Systems*. 2020. Vol. 30. N 4. 699-710 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.699-710.
 9. Chernikov V.G., Rostovtsev R.A., Romanenko V.Yu. Flax harvesting technologies for flax harvesting machines. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2023. Vol. 17. N1. 19-24 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2023-17-1-19-24.
 10. Solovyov S.V., Romanenko V.Yu., Chernikov V.G. Development of remote-controlled self-propelled flax windrow turner. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2024. Vol. 18. N4. 10-16 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2024-18-4-10-16.
 11. Lachuga Yu.F., Zintsov A.N., Kovalev M.M., Perov G.A. Scientific aspects of improving the efficiency of seedpod combing processes in two-phase harvesting of flax. *Russian Agricultural Sciences*. 2022. N1. 53-58 (In Russian). DOI: 10.31857/S2500262722010094.
 12. Dorokhov A.S., Kostomakhin M.N., Voronov A.N. Collection of information on the reliability of agricultural machines using monitoring systems by monitoring the parameters of the technical condition. *Agricultural Machinery Service and Repair*. 2018. N8. 53-61 (In Russian). EDN: YAQTDN.
 13. Tsench Yu.S. Scientific and technological potential as the main factor for agricultural mechanization development. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022. Vol. 16. N2. 4-13 (In Russian). DOI: 10.22314/2073-7599-2022-16-2-4-13.
 14. Antsupov A.V., Antsupov A.V., Antsupov V.P. Development of analytical methodology for detail durability test while arranging metallurgical machines. *Proceedings ICIE*. 2019. 2020. 83-90 (In English). DOI: 10.1007/978-3-030-22041-9_10.
 15. Blinkov I.V., Anikin V.N., Petrzhik M.I. et al. Acquisition and properties of wear-resistant PVD/CVD-coatings on a hard-alloy tool. *Russian Journal of Non-Ferrous Metals*. 2011. Vol. 52. N1. 109-114 (In English). DOI: 10.3103/S1067821211010068.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Заявленный вклад соавторов:

Черников В.Г. – научное руководство, постановка проблемы; Соловьев С.В. – сбор и анализ аналитических и практических материалов по теме исследования, проведение опытов;

Романенко В.Ю. – литературный анализ, формирование общих выводов, редактирование и доработка текста статьи, подготовка материала к публикации;

Перов Г.А. – обработка полученных данных, редактирование и доработка текста статьи.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Coauthors' contribution:

Chernikov V.G. – scientific supervision, problem statement. Solovyov S.V. – collection and analysis of analytical and practical materials on the research topic, conducting experiments; Romanenko V.Yu. – literature review, formation of general conclusions, editing and revision of the manuscript text, preparation of material for publication; Perov G.A. – data processing, editing and revision of the manuscript text.

The authors read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию
Статья принята к публикации

The paper was submitted to the Editorial Office on
The paper was accepted for publication on

30.06.2025
04.08.2025