Тип статьи: научная
УДК 631.352.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2023-6-53-61

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР

Денис Геннадьевич Фадеев [1]***, Дмитрий Александрович Шишин*** [2]***,***
Сергей Владимирович Прокофьев [3]
[1,2,3] *Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия*
[1] d.fadeev@fnclk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0805-6650,
[2] d.shishin@fnclk.ru
[3] s.prokofiev@fnclk.ru

Автор, ответственный за переписку: Дмитрий Александрович Шишин, d.shishin@fnclk.ru
Corresponding author: Dmitry Shishin, d.shishin@fnclk.ru

Реферат. *На сегодняшний день остро стоит вопрос переработки несеменной части урожая (НЧУ) лубяных культур - льна масличного и конопли. Цель исследования**:** изучить процесс измельчения волокнистых растительных материалов и разработка измельчителя НЧУ лубяных культур. Поиск рациональной конструкции измельчителя-разбрасывателя НЧУ во многом определяется предъявляемыми к нему требованиями: качественном измельчении стеблей оставшихся в поле после очеса семян, высокой производительностью, минимальными энергозатратами. Проведен анализ известных конструкций ножей, применяемых для измельчения растительных материалов. С учетом наличия в стеблях лубяных культур древесины и волокон, а также их физико-механических свойств определена рациональная форма ножей для разрабатываемого измельчителя. Определено, что нож должен быть шарнирно закреплённым объемным, обеспечивать разрушение стеблей в продольном и поперечном сечении, иметь криволинейное лезвие противореза и комбинированную режущую часть активного ножа, позволяющую выполнять «скользяще-пилящее» воздействие на материал. Экспериментальными исследованиями определены усилия «скользяще-пилящего» резания одиночного и группы стеблей. Наибольше усилие резания соответствуют стеблям масличного льна в полной фазе спелости семян, единичном стебле 2,29 Н на группах стеблей 5,32 Н ...10,1 Н. Установлено возрастание усилия резания при изменении фазы спелости семян что связано с одревеснением стеблей, что увеличивает усилия резания на 45...125%. С учетом проведенных исследований разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ.*

Ключевые слова*: измельчение, измельчитель, нож, стебель, масличный лен, конопля, усилие резания, спелость семян.*

ANALYSIS OF THE GRINDING PROCESS OF THE NON-SEED PART OF THE CROP BAST CROPS

Denis Fadeev [1]***, Dmitry Shishin*** [2]***, Sergey Prokofiev*** [3]
[1,2,3] *Federal Scientific Center of Bast Cultures, Tver, Russia*
[1] d.fadeev@fnclk.ru, https://orcid.org/0000-0003-0805-6650,
[2] d.shishin@fnclk.ru
[3] s.prokofiev@fnclk.ru

Abstract. *The issue of processing the non-seed part of the harvest (NSP) of bast crops - oil flax and hemp - is acute today. Purpose of the study: to study the process of grinding fibrous plant materials and the development of a NSP grinder for bast crops. The search for a rational design of the NSP chopper-spreader is largely determined by the requirements placed on it: high-quality crushing of the stems*

remaining in the field after combing the seeds, high productivity, and minimal energy consumption. An analysis of known designs of knives used for grinding plant materials has been carried out. The rational shape of the knives for the shredder under development was determined taking into account the presence of wood and fibers in the stems of bast crops, as well as their physical and mechanical properties. It was determined that the knife should be hinged and volumetric, ensure the destruction of stems in the longitudinal and cross sections, have a curved counter-cutting blade and a combined cutting part of the active knife, allowing for a "sliding-sawing" effect on the material. Experimental studies have determined the forces of "sliding-sawing" cutting of single and group of stems. The highest cutting force corresponds to oil flax stems in the full phase of seed ripeness, a single stem 2.29 H on groups of stems 5.32 N ... 10.1 H. An increase in cutting force was established with a change in the phase of seed ripeness, which is associated with lignification of the stems, which increases cutting forces by 45...125 %. Taking into account the research carried out, design documentation has been developed for the production in 2024 of a prototype of the NSP chopper-spreader.

Keywords: *grinding, chopper, knife, stem, oilseed flax, hemp, cutting force, ripeness of seeds*.

Для цитирования: Фадеев Д.Г., Шишин Д.А., Прокофьев С.В. Анализ процесса измельчения несеменной части урожая лубяных культур // Наука в Центральной России Science in the Central Russia. 2023. Т. 66, № 6. С. 53-61. https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-53-61.

For citation: Fadeev D, Shishin D., Prokofiev S. Analysis of the grindig process of the non-seed part of the crop bast crops. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2023; 66(6): 53-61. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2023-6-53-61.

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS – 2022 – 0005).

Acknowledgements: the work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of Russia within the framework of the State Assignment of the Federal Scientific Center for Bast Crops (No. FGSS – 2022 – 0005).

Введение.

Анализ существующих отечественных и зарубежных измельчителей-разбрасывателей несеменной части урожая (НЧУ) показал, что они применяются для уборки трав и соломистой части зерновых [1-3]. Основной их недостаток заключается в невозможности применения на уборке НЧУ лубоволокнистых культур из-за содержания волокон в стеблях льна масличного и конопли.

Цель исследования**:** изучить процесс измельчения волокнистых растительных материалов и разработка измельчителя НЧУ лубяных культур.

Материалы и методы.

Качество выполнения технологического процесса и энергозатраты зависит от многих факторов: кинематический режим работы измельчителя, равномерность подачи массы НЧУ, ее влажность, вид НЧУ (валок или прямостоящие стебли) и т.д. Выбор основного рабочего органа измельчителя – ножей ротора и их конструкционных параметров, которые определяют качество измельчения очесанных стеблей, их распределение по полю и затраты мощности энергосредства. Рассмотрим этот вопрос более подробно.

Ножи измельчителя предназначены для безподпорного рубящего или скользящего резанья и транспортировки НЧУ [4]. Схематические данные режимов резания ножом представлены на рисунке 1.

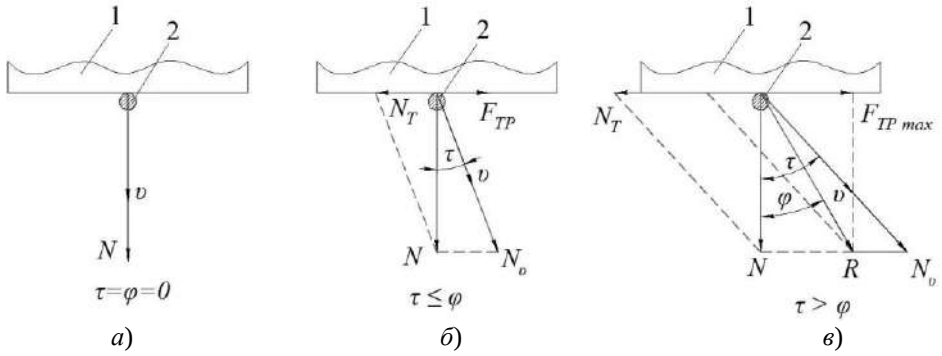

Рисунок 1 – Режимы резания лезвием:
а-нормальное резание (рубка); *б*-косое резание, без скольжения;
в- скользящее резание
1- нож; 2- стебель;

В первом варианте (рисунок 1, *а*) нож 1 давит на стебель 2 по нормали силы резания N, совпадающей с вектором скорости υ, до его разрушения. Второй вариант (рисунок 1,*б*) описывает ситуацию, при которой угол τ наклона вектора скорости υ не превышает угла трения φ материала ножа о перерезаемый стебель, при этом сила N_T уравновешивается силой F_{TP} и стебель 2 толкается силой N_υ до полного разрушения. На рисунок 1*в* показано скользящее резание, когда $\tau > \varphi$ и максимальная сила $F_{TP\ max}$ больше N_υ. Разрушение стебля 2 в этом случае будет при его перемещении в направлении силы R.

В реальных условиях чаще встречаются промежуточные виды среза: продольно-поперечный, поперечно-боковой и продольно боковой. Это вызвано рядом причин: неодинаковым наклоном стеблей к плоскости среза, их различной высотой, неравномерностью подачи измельчающего материала, неровностями почвы и т.д.

В результате системного анализа рабочих органов измельчителей, нами была предложена классификация ножей измельчителей по основным наиболее значимым конструктивным, технологическим и качественным признакам, представленная на рисунке 2.

Рисунок 2 – Классификация ножей измельчителей

Изготавливаются ножи измельчителей из хромованадиевой стали с вольфрам-карбидным покрытием, отличаются разнообразием форм и размеров. От вида перерабатываемого материала зависит толщина ножей: для тонкостебельных сухих – тонкие ножи, грубых толстостебельных и влажных – большей толщины. Ножи на продольных сторонах имеют заточенные кромки, составляющий ¾ или всю длину ножа. Для ножей толщиной полотна менее 4 мм применят одностороннюю симметричную и ассиметричную заточки, для более толстых ножей возможна двухсторонняя заточка. Для усиления и облегчения ножей в их полотне формируются ребра жесткости и продольные отверстия. Для увеличения рабочего ресурса ножей их лезвия упрочняют твердосплавными напайками, армируют сормайтом, с помощью лазера наносят специальные упрочняющие покрытия [5]. Также срок службы ножей можно увеличить применением двухлезвийных и оборотных ножей. В случае износа или затупления одной из сторон их переворачивают. В зависимости от технологических требований, предъявляемым к измельченным НЧУ, могут применятся ножи с зубчатой насечкой, безлейзвийные ножи. Безлейзвийнные ножи применяются в случаях измельчения пересушенной массы НЧУ, обработке толстостебельных и короткостебельных культур. Зубчатые ножи менее энергозатратны, позволяют формировать «измочаленные» концы НЧУ, что ускоряет скорость перегнивания и разложения растительных остатков.

По назначения ножи делятся на неподвижные, применяемые как противорежущие сегменты и активные, которые вращаются вместе с ротором измельчителей. В зависимости от технологии, ножи на роторе измельчителя могут устанавливаться жестко неподвижно или с возможностью качания. Активные, шарнирно установленные ножи также называют молотками.

Применение активных ножей и противорежущих сегментов криволинейной формы (эллиптической, эксцентриковой, дугообразной, криволинейной, логарифмической, архимедовой спирали и т.д.) обеспечивает наилучший процесс резания.

Для придания ножам многофункциональности, их форма может быть объемной. Так С- и Т-образные ножи, в поперечном сечении, не только активно измельчают НЧУ, но и до измельчают и продольно расщепляют стебли. Применение усеченных П- и Г-образных в поперечном сечении ножей кроме измельчения, создают дополнительный воздушный поток, который придает дополнительное ускорение измельченным частицам. Разворот плоскости поперечного сечения ножа по осевой линии на угол до 8° или придание ей винтообразной формы позволяет создавать мощный турбулентный воздушный поток, который способствует более широкому и равномерному распределению измельчённым растительным остаткам по полю.

Проведенный обзор существующих конструкций рабочих органов измельчителей показал, что наиболее эффективны ножи с шарнирным типом крепления, при этом снижаются нагрузки на валы ротора и перегрузки барабана при увеличении подачи материала, увеличивается срок службы ножей.

Результаты и обсуждение. На рисунке 3 представлена виды ножей с шарнирным типом крепления. На рисунок 3, а, б, в, представлены ножи с шарнирным креплением; а – с одним лезвием, б – с двумя лезвиями, в – без лезвий молотковидной формы.

Применение спаренных ножей уменьшает количество дисков на барабане и соответственно его массу. Наряду с этим ножи с одним лезвием проще в производстве и надежны в эксплуатации, т.к. обеспечивают использование всех четырех рабочих кромок. Безлезвийные ножи работают в паре с противорежущими пластинами.

На несущем диске ножи устанавливаются – ассиметрично (рисунок 3, г) и симметрично (рисунок 3, д), при этом симметричная установка более предпочтительна [7]. Независимая подвеска и жесткая связь ножей с двумя лезвиями (рисунок 3, е) увеличивает их момент инерции чем обеспечивает качество измельчения грубых стеблевых остатков.

По расположению относительно оси барабана известны параллельное (рисунок 3, ж) и перпендикулярное расположение (рисунок 3, з), причем второе более рационально. По возможности движения вокруг оси подвеса ножи выполняются с возможностью поворота на заданный угол (рисунок 3, и) и с круговым вращением (рисунок 3, к) [7] причем круговое вращение обеспечивает безударную работу ножей об ограничители. Кроме этого, при круговом вращении возможно выключение части ножей путем их поворота в зону диска и фиксации.

Для создания дополнительного воздушного потока ножи выполняются с лопатками (рисунок 3, л) [8]. Ножи с дополнительными лопатками применяются в основном для одновременного измельчения и транспортирования стебельной массы в транспортные средства. При этом такие ножи могут выполняться с лопатками по всей длине, режущих кромок или только на участке, не входящем в противорежущее устройство.

По расположению центра тяжести ножи выполняют со смещением его к периферии ножа (рисунок 3, м) и с расположением в зоне геометрической точки симметрии ножа (рисунок 3, н) [9 10].

При смещении центра тяжести ножа преследуется цель улучшения его режущих свойств. По форме заточки лезвий ножи выполняют с односторонней (рисунок 3, о) и двухсторонней (рисунок 3, п) заточкой. Нож с односторонней заточкой проще в изготовлении, однако в процессе работы испытывает односторонние изгибающие усилия и кручение. Нож с двухсторонней заточкой обладает повышенной устойчивостью в работе [7-9].

Для компенсации увеличения угла защемления в режущей паре из-за маятникового эффекта шарнирных ножей, они могут изготавливаться трапецеидальной формы (рисунок 3, м) [10-12]. Для сохранения такого же эффекта при измельчении крупностебельных культур режущая кромка молотков делается ступенчатой (рисунок 3, р).

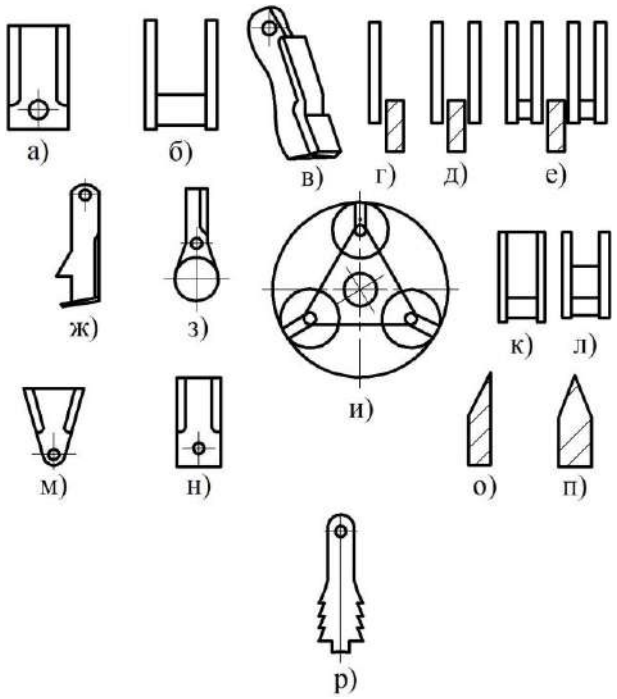

Рисунок 3 – Виды ножей с шарнирным креплением

Из проведенного анализа ножи для измельчения НЧУ льна масличного и конопли должны быть объемными, шарнирно закрепленные, обеспечивать разрушение стеблей в продольном и поперечном сечении, иметь криволинейное лезвие противореза, и комбинированную режущую часть ножа, позволяющую осуществлять «скользяще-пилящее» воздействие. Такой тип ножей позволит повысить эффективность и качество выполнения технологических операций и снизить энергоемкость всего процесса.

В тоже время процесс измельчения (резания) оставшихся в поле после уборки семян стеблей льна масличного и конопли отличается от процесса измельчения стеблей зерновых и зернобобовых культур. Это вызвано строением стебля лубяных культур (льна-долгунца, масличного льна, технической конопли и др.) который в упрощенном виде состоит их древесины и

волокна. Исследования процесса резания масличных культур отражены в работах [13-15], где определено усилие необходимое на резание единичных стеблей в зависимости от сорта льна и технической конопли. В тоже время уборка семенной части масличных культур проводится в стадии конца желтой или полной спелости. В связи с этим нами были проведены дополнительные исследования по определению усилия резания группы стеблей льна масличного в зависимости от фазы спелости семян.

Для проведения эксперимента использовали экспериментальную установку изготовленную в 2022году [1], доработанную датчиками, измеряющими усилие резания стеблей. Исследования проводили на стеблях масличного льна сорта ЛМ 98: густота стеблестоя 572 *ст/м*^{2}, средний диаметр стеблей 1,95 *мм*, средняя общая длина стеблей после очеса семенных коробочек 49 *см*. Для проведения эксперимента стебли заготавливали теребленнем руками в ранней желтой, желтой и полной спелости семян с последующим очесом на молотилке МЛ-2,8П. Влажность стеблей в опытах составляла 18 - 42%, повторность опытов пятикратная. При проведении эксперимента стебли зажимались между двумя деревянными пластинами под углом 25º к плоскости резания ножа, тем самым эмитировалось «скользяще-пилящее» воздействие ножа на стебель (группу стеблей). После каждого реза зажатые стебли поднимались на 0,072 *м*, тем самым они резались на отрезки по 0,072 *м* пять раз.

В таблице 1 показаны средние значения экспериментальных данных усилия резки одиночного и группы стеблей при переработке несеменной части льна масличного в зависимости от спелости семян.

Таблица 1 – Усредненные результаты усилия резания НЧУ (льна масличного)

№ п/п	Спелость льна	Влажность, %	Длина стеблей, мм	Усилие резания, Н		
				1 стебель	6 стеблей	12 стеблей
1	ранняя желтая	42,0	49	0,85	3,28	3,32
2	желтая	31,0	47	1,61	4,71	7,87
3	полная	18,0	51	2,29	5,32	10,1

Как видно из таблицы 1 наибольше усилие резания соответствуют стеблям масличного льна в полной фазе спелости семян. Это просматривается как на единичном 2,29 *Н*, так и на группах стеблей 5,32 *Н* для 6 стеблей и соответственно 10,1 *Н* для 12 стеблей. Кроме этого, возрастание усилия резания прослеживается при изменении фазы спелости семян. При этом влажность стеблей уменьшается, то есть происходит одревеснение стеблей и усилия резания увеличиваются на 45...125%.

Для проверки полученных данных в полевых условиях 2024г, разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ (рисунок 4).

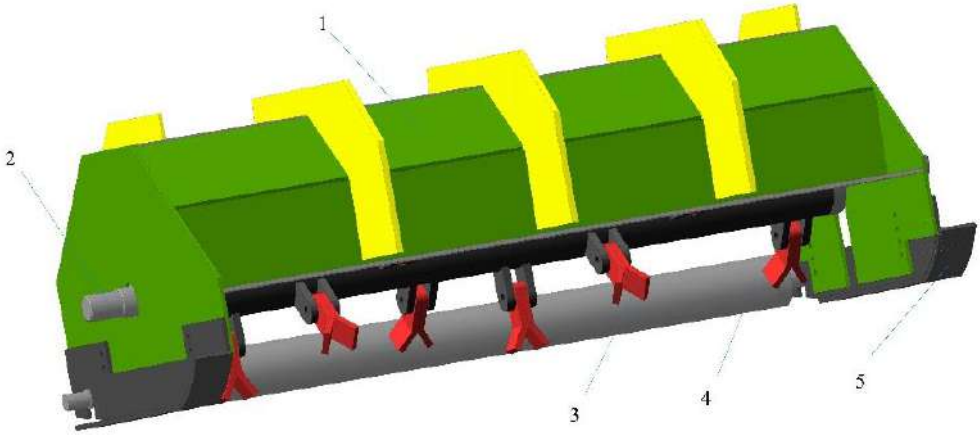

Рисунок 4 – Общий вид макетного образца НЧУ

Измельчитель-разбрасыватель НЧУ состоит из корпуса 1, в котором установлены вал ножей 2. К валу 2 шарнирно крепятся ножи с комбинированной режущей частью осуществляющие «скользяще-пилящее» резание. На поверхность поля макетный образец НЧУ опирается салазками 5 и прикатывающим валом 3.

Выводы:

Из анализа конструкций и типов ножей для измельчения НЧУ льна масличного и конопли определены основные требования к конструкции ножей для измельчения НЧУ льна масличного и конопли, которая позволит повысить эффективность и качество выполнения технологических операций при снижении энергозатрат на 10%.

Экспериментальными исследованиями определены усилия резки одиночного и группы стеблей льна масличного в зависимости от спелости культуры 0,85...10,0 Н.

Разработана конструкторская документация для изготовления в 2024 г. макетного образца измельчителя-разбрасывателя НЧУ.

Список источников

1. Фадеев, Д.Г. К выбору типа измельчителя несеменной части урожая [Текст]/ Д.Г. Фадеев, Д.А. Шишин, С.В. Прокофьев, // Наука в центральной России.-2022.-№6(60).-С. 7-18. doi: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18

2. Урамовский Ю.М., Макуть А.Д. Современная техника для измельчения пожнивных остатков. /Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2009. - №2(43). С. 26-31.

3. Ягельский, М.Ю. Тенденции развития и классификация соломоизмельчителей-разбрасывателей современных зерноуборочных комбайнов / М.Ю. Ягельский, С.А. Родимцев // Вестник Орловского государственного аграрного университета. - 2016. - No3(60). - С.73-87.

4. Кленин, Н. И.Сельскохозяйственные и мелиоративные машины: [Учеб. для с.-х. вузов по спец. "Механизация сел. хоз-ва"] / Н. И. Кленин, В. А. Сакун. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: Колос, 1994. - 750, с.

5. Шаповалов, В.И. Исследования упрочнения самозатачивания ножей измельчителя стебельчатых продуктов / В.И. Шаповалов, Я.И. Нежинский // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – Луганськ, 2012. – № 12. – Ч. 1. – С. 25-36.

6. Мажугин Е. И. Механико-технологические основы совершенствова-ния косилок для мелиорированных земель и лугопастбищных уго-дий: монография/ Е. И. Мажугин [и др.]. – Горки: БГСХА, 2017. – 247 с. ил.

7. Ягельский, М.Ю. Типы и классификация ножей измельчителей-разбрасывателей соломы зерноуборочных комбайнов / М.Ю. Ягельский, С.А. Родимцев // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. - 2017. – No1(52). - С.114-122.

8. Смирнов Н.Н. Обоснование параметров и режимов работы технического средства для подбора и измельчения соломы из валков: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 /* Н.Н. Смирнов. – Киров – Йошкар-Ола. 2002. – 145 с.

9. Присяжная, И.М. Совершенствование процесса измельчения и разбрасывания соломы при комбайновой уборке сои: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.М. Присяжная. – Благовещенск. 2010. – 158 с.

10. Вольвак, С.Ф. Исследование измельчающих аппаратов незерновой части урожая зерновых культур с шарнирной подвеской ножей на барабане / С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2015. – №3(7). – С. 9-16.

11. Morozova, N.Yu. THEORETICAL ASPECTS OF THE PROCESS GRINDING STALK FEED CHOPPER WITH A DISK WORKING BODY / Tumanova M.I., Frolov V.Yu, Sysoev D.P., Morozova N.Yu./ Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2019. Т. 6. № 6. С. 134-140.

12. Frolov, V.Yu, Sarbatova N., Kuznetsov V., Strigunova N.Increasing efficiency of process of stem feed grinding by working tool of hammer-segment type // E3S Web of Conferences 273(3):07035/ doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307035

13. Заплетников, И. Н. Измельчение растительного сырья: монография / И. Н. Заплетников, А. В. Шеина. — Харьков: Водный спектр Джи-Ем-Пи, 2016. — 205 с.

14. Ягелюк, С.В. Зусилля різання біомаси олійних луб'яних культур з урахуванням вологості/ С.В. Ягелюк, В.Ф. Дідух, Т.Н. Артюх, О.В. Голій //: зб. наук. ст. // Сільськогосподарські машини. Луцьк. 2021. Вип. 46. С. 124–132. doi: https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496

15. Kemper, S. Analisis of the overlayind cut in rotary mowers / S. Kemper, Th. Lang, L. Frerichs. // Landtechnik. Agricultural Engineering. – 2012. – № 5. P. 346-349.

References

1. Fadeev, D.G. To the choice of the type of chopper of the non-seed part of the crop [Text]/ D.G. Fadeev, D.A. Shishin, S.V. Prokofiev, // Science in Central Russia.-2022.-№6(60).- Pp. 7-18. Doi: https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18

2. Uramovsky Yu.M., Makut A.D. Modern technology for grinding crop residues. /Mechanization and electrification of agriculture. – 2009. - №2(43). Pp. 26-31.

3. Yagelsky, M.Yu. Development trends and classification of straw grinders-spreaders of modern combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Orel State Agrarian University. - 2016. - №3(60). - P.73-87.

4. Klenin, N. I.Agricultural and reclamation machines: [Studies for agricultural universities on spec. "Mechanization of rural households"] / N. I. Klenin, V. A. Sakun. - 3rd ed., reprint. and add. - Moscow : Kolos, 1994. - 750, p.

5. Shapovalov, V.I. Studies of strengthening of self-sharpening of knives of a chopper of stalked products / V.I. Shapovalov, Ya.I. Nezhinsky // Visnik of the Ukrainian National University im.V.Dal. – Lugansk, 2012. – No. 12. – Part 1. – pp. 25-36.

6. Mazhugin E. I. Mechanical and technological bases of improvement of mowers for reclaimed lands and pasture lands: monograph/ E. I. Mazhugin [et al.]. - Gorki: BGSHA, 2017. - 247 p. : il.

7. Yagelsky, M.Yu. Types and classification of knives of shredders-straw spreaders of combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. - 2017. – №1(52). - P.114-122.

8. Smirnov N.N. Justification of parameters and modes of operation of technical means for the selection and grinding of straw from rolls: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 /* N.N. Smirnov. – Kirov – Yoshkar-Ola. 2002. – 145 p.

9. Juror, I.M. Improvement of the process of shredding and spreading straw during combine harvesting of soybeans: dis.... Candidate of Technical Sciences: 05.20.01 / I.M. Juror. – Blagoveshchensk. 2010. – 158 p.

10. Volvak, S.F. Research of grinding machines of the non-grain part of the grain crop with a hinged suspension of knives on a drum / S.F. Volvak, V.I. Shapovalov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2015. – №3(7). – Pp. 9-16.

11. Morozova, N.Yu. THEORETICAL ASPECTS OF THE PROCESS OF GRINDING STEM FEEDS WITH A CHOPPER WITH A DISK WORKING ORGAN / Tumanova M.I., Frolov V.Yu., Sysoev D.P., Morozova N.Yu./ Scientific Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2019. Vol. 6. No. 6. pp. 134-140.

12. Frolov V.Yu., Sarbatova N., Kuznetsov V., Strigunova N.Improving the efficiency of the rod feed grinding process with a hammer-segment type working tool // E3S Web of Conferences 273(3):07035/ doi: https://doi.org/10.1051/e3sconf/202127307035

13. Zapletnikov, I. N. Grinding of vegetable raw materials: monograph / I. N.

Zapletnikov, A.V. Sheina. — Kharkiv: Water spectrum of Gi-Em-Pi, 2016. — 205 p.

14. Yagelyuk, S. V. Zusillya rizannya biomasi lub'yanikh oliynikh kultury z urakhuvannyam Vologda/ S.V. Yagelyuk, V.F. Didukh, T.N. Artyukh, O.V. Goliy //: zb. nauk. art. // Silskogospodarski mashini. Hatch. 2021. Bun. 46. C. 124-132. doi: https://doi.org/10.36910/acm.vi46.496

15. Kemper, S. Analysis of the upper cut in rotary mowers / S. Kemper, T. Lang, L. Frerichs. // Landtechnik. Agricultural machinery. - 2012. – No. 5. pp. 346-349.

Информация об авторах

Д.Г. Фадеев – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник; Д.А. Шишин - научный сотрудник; С. В. Прокофьев – научный сотрудник.

Information about the authors
D. Fadeev – Candidate of Technical Sciences, leading researcher; D. Shishin - researcher.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: *all authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.*
The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию (Received): 20.11.2023 Принята к публикации (Accepted): 23.12.2023