Тип статьи: научная
УДК 631.352.5
DOI: 10.35887/2305-2538-2022-6-7-18

К ВЫБОРУ ТИПА ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ НЕСЕМЕННОЙ ЧАСТИ УРОЖАЯ

Денис Геннадьевич Фадеев[1], Дмитрий Александрович Шишин[2], Сергей Владимирович Прокофьев[3]
[1,2,3]Федеральный научный центр лубяных культур, г. Тверь, Россия
[2]d.shishin@fnclk.ru

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

Реферат. *Заделка в почву растительных остатков лубяных культур равноценна внесению на 1 гектар 82-269 кг аммиачной селитры, 56 – 205 кг суперфосфата, 75 – 343 кг калия хлористого, 2-х кг высококонцентрированных микроудобрений. Эффективность накопления гумуса, фитопатогенов в почве зависит от степени измельчения послеуборочных остатков и равномерного их распределения по поверхности, поэтому разработка универсального измельчителя для этих целей является актуальной задачей. Работа посвящена выбору рациональной конструкционно-технологической схемы для разрабатываемого измельчителя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли. Проведен анализ конструкционно-технологических схем современных измельчителей, включающая основные и наиболее значимые классификационные признаки. Установлено, что перспективной является конструкция измельчителя не семенной части урожая: по количеству измельчающих барабанов – однобарабанная; по типу агрегатирования с энергосредством – задняя боковая навеска; рабочая ширина захвата – до 2 м; рабочая скорость движения агрегата от 8 до 13, 5 км/ч. Рассмотрен процесс измельчения не семенной части урожая льна-масличного и конопли. Исходя из условий бесподпорного срезания стеблевых растений и их качественного измельчения теоретически определены параметры измельчающего аппарата (длина основных ножей 0,05 м, длина дополнительных ножей 0,025 м, высота установки кожух измельчающего аппарата 0,34 м). изготовлена лабораторная установка для исследования процесса измельчения неиспользуемых стеблей. По результатам исследования разработана конструкционно-технологическая схема нового измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли, который будет способствовать очищению полей от неиспользуемых остатков и способствовать улучшению экологии и повышению плодородия почвы и урожайности последующих культур.*

Ключевые слова: *измельчение, измельчитель, стебель, лен масличный, конопля.*

TO THE CHOICE OF THE TYPE OF CHOPPER OF THE NON-SEED PART OF THE CROP

Denis Fadeev[1], Dmitry Shishin[2], Sergey Prokofiev[3]
[1,2,3]Federal Scientific Center of Bast Cultures, Tver, Russia
[2]d.shishin@fnclk.ru

Abstract. *Incorporation of plant residues of bast crops into the soil is equivalent to applying 82-269 kg of ammonium nitrate, 56-205 kg of superphosphate, 75-343 kg of potassium chloride, 2 kg of highly concentrated microfertilizers per 1 hectare. The efficiency of accumulation of humus, phytopathogens in the soil depends on the degree of grinding of post-harvest residues and their uniform distribution over the surface, so the development of a universal grinder for these purposes is an urgent task. The work is devoted to the choice of a rational design and technological scheme for the developed grinder of the non-seed part of the crop of bast crops - oil flax and hemp. The analysis of structural and technological*

schemes of modern shredders was carried out, including the main and most significant classification features. It has been established that the design of the grinder of the non-seed part of the crop is promising: in terms of the number of grinding drums - single-drum; according to the type of aggregation with a power source - rear side hitch; working width - up to 2 m; operating speed of the unit from 8 to 13.5 km/h. The process of grinding the non-seed part of the flax-oilseed and hemp crops is considered. The parameters of the chopping apparatus (the length of the main knives is 0.05 m, the length of the additional knives is 0.025 m, the installation height of the casing of the chopping apparatus is 0.34 m) are theoretically determined based on the conditions of unsupported cutting of stem plants and their high-quality grinding. a laboratory installation was made to study the process of grinding unused stems. The design and technological scheme of a new chopper-spreader for the non-seed part of the bast crops - oil flax and hemp, which will help clear the fields from unused residues and help improve the environment and increase soil fertility and yields of subsequent crops, was developed based on the results of the study.
The parameters of the chopping apparatus (the length of the main knives is 0.05 m, the length of the additional knives is 0.025 m, the installation height of the casing of the chopping apparatus is 0.34 m) are theoretically determined based on the conditions of unsupported cutting of stem plants and their high-quality grinding. a laboratory installation was made to study the process of grinding unused stems. The design and technological scheme of a new chopper-spreader for the non-seed part of the bast crops - oil flax and hemp, which will help clear the fields from unused residues and help improve the environment and increase soil fertility and yields of subsequent crops, was developed based on the results of the study.
Keywords: *grinding, chopper, stem, oilseed flax, hemp*.

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

For citation: Fadeev D., Shishin D., Prokofiev S. To the choice of the type of chopper of the non-seed part of the crop. *Nauka v central'noj Rossii* = Science in the Central Russia: 2022; 6(60): 7-18. (In Russ.) https://doi.org/10.35887/2305-2538-2022-6-7-18.

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. Ежегодно после уборки на семена льна масличного и конопли на полях остается несеменная часть урожая (НЧУ). Это вызвано рядом причин: отсутствием или несовершенством технологий и технических средств, нарушением технологического процесса, не благоприятными погодными условиями, экономической нецелесообразностью. Так при уборке льна-масличного уничтожается весь объем тресты, оставшейся после сбора семян.

С целью очищения полей от неиспользуемых остатков, в ряде хозяйств их сжигают, что является нарушением федеральных законов «Об охране окружающей среды» и «Об охране атмосферного воздуха», а также Кодекса РФ об административных правонарушениях. Температура на поверхности почвы при сжигании растительных остатков достигает 360 °С, а на глубине 5 см — 50 °С, в результате чего выгорает гумус, интенсивно осушается почва (на глубину до 10 см), в верхнем слое почвы гибнут микроорганизмы, ухудшается её структура и водопроницаемость. Целесообразно заделывать растительные остатки в почву, что равноценно внесению 82-269 кг/га аммиачной селитры, 56 – 205 кг суперфосфата, 75 – 343 кг калия хлористого, 2-х кг или литров высококонцентрированных микроудобрений (зависит от культуры). Эффективность накопления гумуса, фитопатогенов в почве и подавляющего воздействия на сорняки напрямую зависит от степени измельчения послеуборочных остатков. Измельченные, равномерно разбросанные по поверхности поля они создают влагосберегающий слой,

защищающий почву от резких температурных перепадов, предохраняющий от ветровой и водной эрозии [1].

В связи с вышеизложенным, разработка универсального измельчителя для переработки несеменной части урожая льна масличного и конопли в полевых условиях является актуальной задачей.

Цель исследований – выбор рациональной конструкционно-технологической схемы для разрабатываемого измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли.

Материалы и методы. Измельчители применяют в различных сферах: муниципальном и дорожном секторах, строительстве, животноводстве, лесном и сельском хозяйствах. С их помощью решают различные задачи такие как: создание противопожарных зон; поддержание обочин дорог; уход за садами, виноградниками, лесными насаждениями; уничтожение не пригодной древесины; очистка от растительности земельных участков под строительство, территорий вдоль линий электропередач и трубопроводов; приготовление различных кормов для животных; измельчение остатков сельскохозяйственных культур на полях [2-6]. В статье рассмотрены измельчители, применяемые в сельском хозяйстве.

Анализ существующих способов и устройств для измельчения стеблей растений, показал, что наиболее распространенными являются механическое измельчение ударом машинами непрерывного действия с активными рабочими органами. Многообразие измельчителей можно классифицировать следующим образом (рисунок 1).

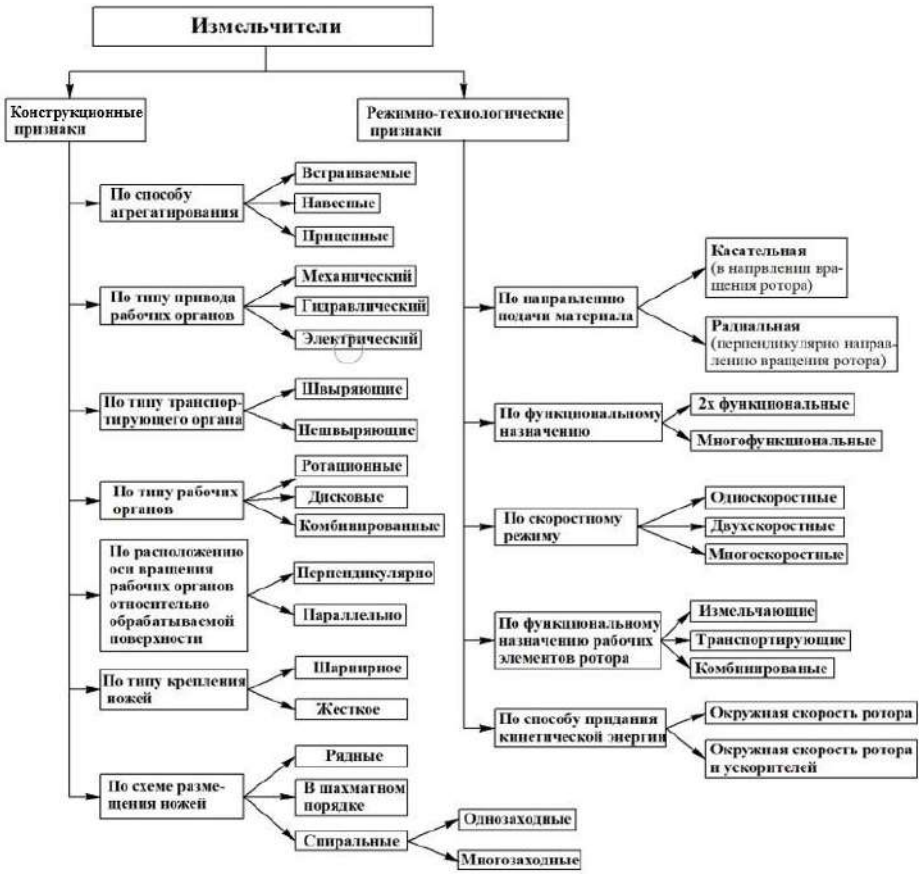


Рисунок 1 - Классификация измельчителей

По способу агрегатирования измельчители можно разделить на встраиваемые, прицепные и навесные. Встраиваемые измельчители широко применяются в зерноуборочных комбайнах, служат для измельчения и разбрасывания соломы по поверхности поля. Использование

измельчителей приводит к снижению производительности комбайнов до 25%, их срока службы от 10 до 25%, повышению расхода топлива до 25% [7]. В коноплеводстве данные измельчители не применяются ввиду физико-механических и технологических свойств стебля культуры.

Навесные и прицепные измельчители, как правило, агрегатируются с различными тракторами и могут располагаться сзади, сбоку машины. Переднее или фронтальное расположение применяется только для навесных машин.

Измельчители также могут устанавливаться на спецшасси, но из-за их высокой стоимости, сложной ремонтопригодности, дорогого обслуживания и эксплуатации в сельском хозяйстве широкого применения они не нашли.

Привод рабочих органов у измельчителей может быть электрическим от электродвигателя, гидравлическим от гидравлики или механическим от ВОМ трактора. Механический привод является самым распространённым благодаря отсутствию большого количества гидравлических соединений, нуждающихся в регулярном обслуживании, не требует подбора специальных масел и дополнительного оборудования (вентиляторов, радиаторов), прост в эксплуатации и имеет меньшие габариты.

По типу рабочих органов измельчители можно разделить на ротационные, дисковые и комбинированные.

Результаты и их обсуждение. У ротационных измельчителей рабочий орган-ротор может представлять собой вал, цилиндр или барабан с расположенными на нем режущими элементами (рисунок 2, *а* - *в*).

У дисковых измельчителей рабочие органом является диск с пилообразными краями или тарелка с расположенными на ней ножами. Форма их может быть различной: круглой, эллипсной, треугольной, комбинированной, крестообразной, конической, двух- трехконсольной (рисунок 2, *г* - *ж*).

К комбинированным можно отнести рабочие органы измельчителей, у которых диск является конструкционной частью ротора (рисунок 2, *и*).

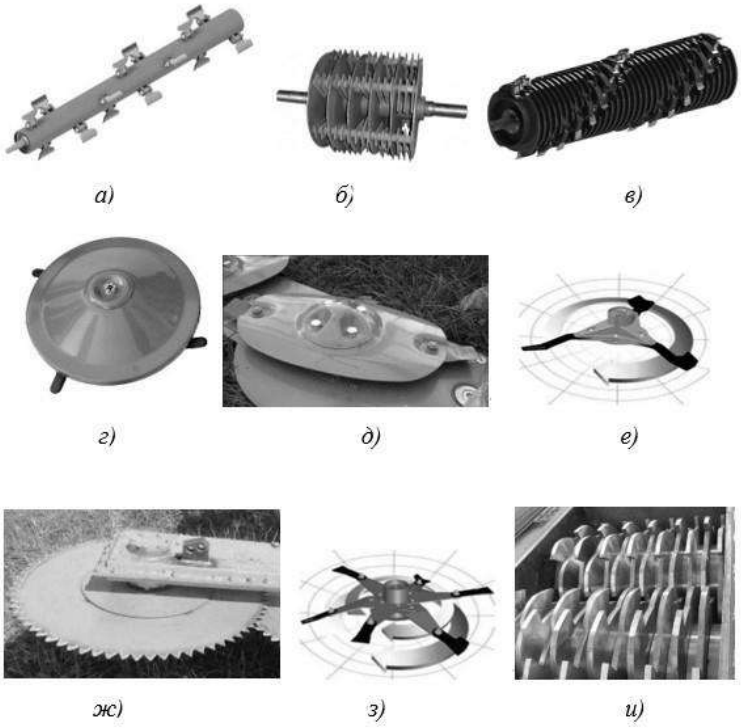


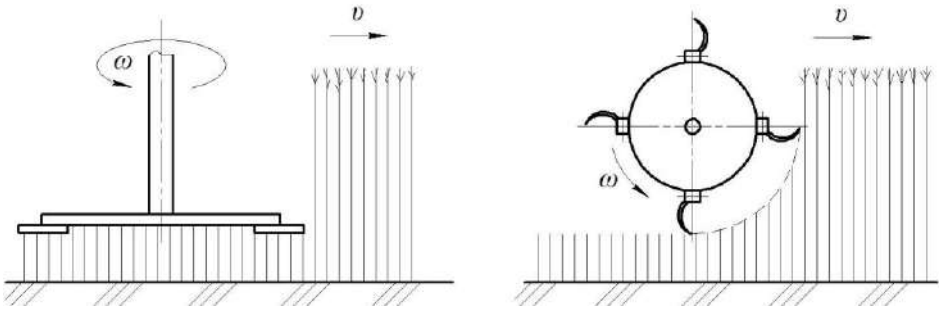
Рисунок 2 - Рабочие органы измельчителей: *а, б, в* - ротоционного типа; *г, д, е, ж, з*- дискового типа; *и*- комбинированные

Режущие элементы на рабочих органах измельчителей могут быть закреплены жестко или шарнирно и располагаться в ряд, в шахматном порядке, по одной или нескольким спиралям.

В зависимости от назначения, измельчители могут не только измельчать, но и выполнять функцию транспортировки. Для этого рабочие органы оснащаются дополнительными лопастями или швыряющими лопатками, которые создают воздушный поток или придают ускорение измельченному материалу, способствуя продвижению частиц к выходу из измельчающего устройства, как на белорусском комбайне КЗС-812 «Палессе GS812» [8].

Также измельчители могут оснащаться дополнительными активными системами – ускорителями различных конструкций, которые придают дополнительную кинетическую энергию измельченным частицам, тем самым увеличивая ширину и равномерность разбрасывания НЧУ по полю. Например, системы Redecop «Maximum Air Velocity», «Turbo Chop», «Pro Chop», «MaxiSpreader», «Opti-Spread» применяемые на зарубежных комбайнах Claas «Lexion», John Deere, New Holland и др. [2, 9].

По положению оси вращения вращающихся режущих частей по отношению к обрабатываемой поверхности измельчители можно разделить на аппараты с осью вращения, перпендикулярной и параллельной ей, как показано на рисунке 3.



а) *б*)

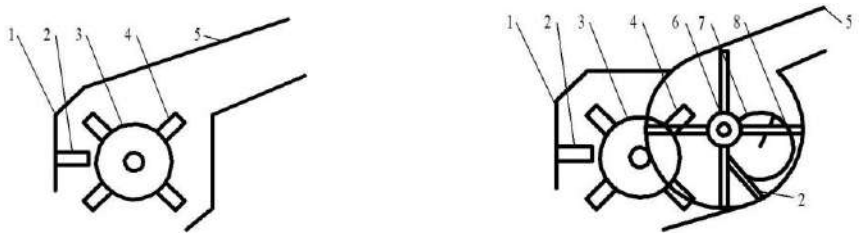
Рисунок 3 - Схема расположения оси вращения рабочих органов измельчителя относительно обрабатываемой поверхности: *а* - перпендикулярно, *б*- параллельно

Измельчители НЧУ, в зависимости от технологии, могут выполнять сразу несколько функций: подбор, измельчение, транспортировка, разбрасывание, заделывание в почву и т.д. Измельчать могут как прямостоящие растения в поле, так и уже скошенные из валка с подбором или без.

По скоростному режиму рабочих органов измельчители могут быть одно- двух- и многоскоростными.

Для решения поставленной задачи наиболее подходят измельчители непрерывного действия с активными рабочими органами, агрегатируемые с тракторами тягового класса 1,4 работающие от ВОМ трактора, обладающие высокой производительностью при их не большой массе и энергопотреблении, а также стоимости.

Сейчас широкое применение получили измельчители НЧУ двух конструкционных исполнений (рисунок 4).



а) *б*)

Рисунок 4 – Конструкционные схемы измельчителя-разбрасывателя: *а*- однобарабанное исполнение; *б*- двухбарабанное исполнение:1 - корпус; 2 – противорежущие пластины; 3 - измельчающий барабан; 4 - нож измельчающего барабана; 5 – разбрасыватель; 6 – доизмельчающий барабан; 7 - шнек; 8 - нож доизмельчающего барабана

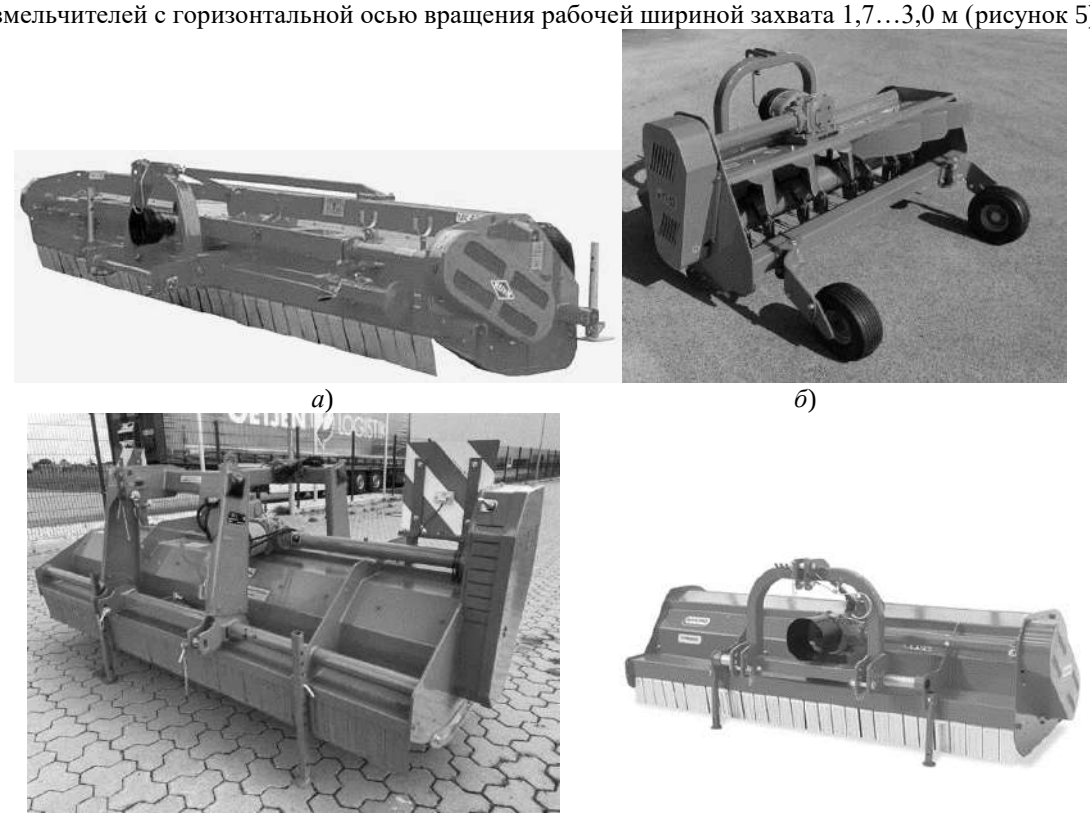
Однобарабанные измельчающие устройства (рисунок 4,*а*) работают следующим образом: ножи 4 измельчающего барабана 3 поднимают солому с поверхности поля, подают её на противорежущие пластины 2, где она под действием ударного действия ножей 4 измельчается и воздушным потоком создаваемым барабаном 3 поступает на разбрасыватель 5, и дальше распределяется по поверхности поля.

Принцип работы двухбарабанных измельчителей (рисунок 4,*б*) отличается тем, что процесс измельчения соломы происходит в два этапа следующим образом. На первом этапе ножи 4 измельчающего барабана 3 поднимают солому с поверхности поля, подают её на противорежущие пластины 2, где она измельчается. За тем на втором этапе шнеком 7 измельченная масса подаётся к доизмельчающему барабану 6 с ножами 8 где она доизмельчается на более мелкие частицы после чего через разбрасыватель 5 происходит распределение по поверхности поля [10].

По сравнению с двухбарабанными измельчителями однобарабанные обладают меньшей металлоёмкостью, меньшим забиванием рабочих органов, более простой конструкцией и энергоемкостью.

Проведённый анализ измельчителей показал, что наиболее рациональной является конструкционно-технологической схема измельчителя с одним барабаном, расположенным параллельно обрабатываемой поверхности (горизонтальная ось вращения) с приводом от ВОМ энергетического средства, без систем активного ускорения измельченной массы. Такие измельчители менее энергоёмки, их удельная мощность 10…12 кВт, что 4…5 раз меньше мощности требуемой на работу встраиваемых измельчителей [11].

В настоящее время за рубежом фирмами «Kuhn», «Ino» и др. выпускается широкий перечень измельчителей с горизонтальной осью вращения рабочей шириной захвата 1,7…3,0 м (рисунок 5).



а) *б*) *в*) *г*)

Рисунок 5 - Зарубежные измельчители разбрасыватели: *а* – Kuhn NK 2801 , *б* - Ino MS 170, *в* – Sauerburger WM3300HF, *г)* - Gaspardo TORNADO 230

Данные измельчители разбрасыватели агрегатируют путём навешивания сзади на энергетическое средство. Такой способ агрегатирования эффективен только при измельчении НЧУ подбором из валка так, как при работе со стеблями на корню происходит их заминание колесами трактора.

Проведённый анализ измельчителей показал, что наиболее рациональной является конструкционно-технологической схема измельчителя с одним барабаном, расположенным параллельно обрабатываемой поверхности с приводом от ВОМ энергетического средства.

Основные условия процесса бесподпорного (или инерционным подпором) измельчения стеблевых растительных культур, аналитически рассмотрены академиком В. П. Горячкиным [12], применительно к отдельному стеблю, растущему в почве и свободно расположенному. В дальнейшем этот вопрос рассматривался Э. М. Гутьяром [13], А. Ю. Ишлинским [14], И. Ф. Василенко [15], Н.Ю. Резника [16], Э. С. Босого [17, 18] и др.

На схеме, представленной на рисунке 6 проведем систему координат *xOy* с началом в точке *O* пересечения траектории вращения измельчающих ножей с вертикалью, проведенной через центр O_1 измельающего барабана, при этом O_x проведем вправо, а ось O_y проведем вверх.

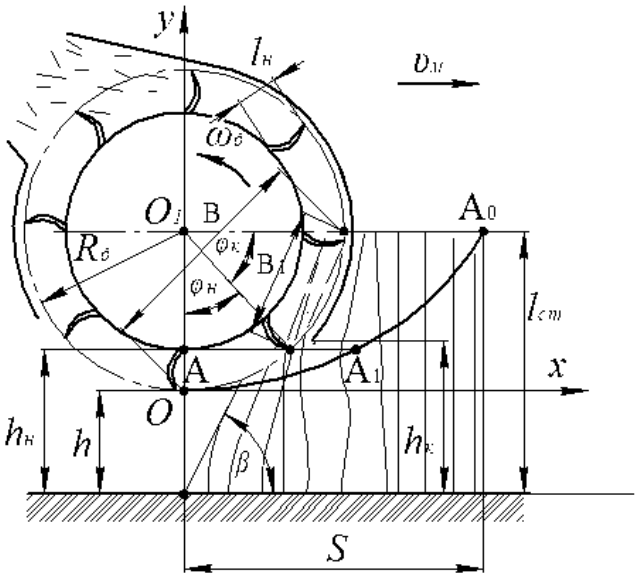


Рисунок 6 - Схема к определению параметров измельчающего аппарата

Согласно рисунку 6, координаты *x* и *y* любой точки *A* (конец ножа измельающего барабана), выражаются следующим образом:

$$\left.\begin{aligned} \chi = \mathrm{AA_0} = \mathrm{AA_1} + \mathrm{A_1A_0} = R_б \sin\varphi_н + v_м t; \\ \mathrm{y} = R_б - R_б \cos\varphi_н, \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

где $R_б$ – расстояние от оси O_1 барабана до конца ножа измельающего барабана, м; $\varphi_н$– угол поворота точки *A* конца ножа от вертикали, рад; $v_м$ – скорость машины, м/с; *t* – время, с.

Угол $\varphi_н$ равен (при равномерном вращении измельчающего барабана, т.е. при ω = const): $\varphi_н = \omega_б t$, где $\omega_б$ – угловая скорость барабана, $с^{-1}$.

Из $\lambda_б$ – показатель кинематического режима работы измельчающего барабана, $\lambda_б = \omega_б R_б / v_м = v_б / v_м$ следует, что

$$R_б = v_М \lambda / \omega. \quad (2)$$

Тогда с учетом равенства (2) и (1) получаем:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\upsilon_M \lambda}{\omega} sin\,\omega\, t + \upsilon_M t; \\ y &= \frac{\upsilon_M \lambda}{\omega}(1 - cos\,\omega\, t). \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Процесс измельчения не семенной части (стеблей) урожая лубяных культур – льна масличного и конопли можно разграничить на отдельные этапы: возникновение упругих колебаний стебля в момент удара по нему ножа, которые возбуждают продольную волну деформаций, поддерживающих друг друга и распространяющихся по длине стебля, делая его особенно жестким и возникновение деформации сгиба тела стебля во время среза, что перемещается вверх и вниз от места среза по материалу стебля.

Согласно рисунку 6 для обеспечения качественного измельчения всех стеблей необходио чтобы зона воздействия ножей аппарата на стебли была равна или больше зоны измельченных отрезков льна.

$$\mathrm{B} \geq \mathrm{B}_1 mn, \quad (4)$$

где B – длина зоны резания, м; B_1 – длина измельченных отрезков, м; m – коэффициент учитывающий неравномерность стеблей льна по высоте; n – коэффициент учитывающий неравномерность движения агрегата по полю.

При измельчении стеблей льна и технической конопли на корню за счет поступательного движения агрегата стебли вступают во взаимодействие с обтекателем измельчающего аппарата, вследствии чего происходит их отгиб на угол β по ходу движения агрегата. Исходя из физико-механических свойств стеблей (например льна) при отгибе, максимальный угол β соответсвующий максимальному изгибающему моменту равен β = 25…35° [19], с увеличением угла β произойдет излом стебля и его измельчение станет невозможено. Тогда при длине стеблестоя (для масличного льна) $l_{ст}$= 0,6м и угле β = 35°, высота $h_н$ установки кожуха измельчающего аппарата над поверхностью поля будет

$$h_к = l_{ст} \cdot sin\,\beta = 0{,}6 \cdot sin\,35° = 0{,}6 \cdot 0{,}57 = 0.342 \text{ м} \quad (5)$$

где $l_{ст}$= 0,6 м - длина стеблестоя; β = 35° - максимальный угол изгиба стеблей. Принимаем $h_н$ равное 0,34 м.

При повороте измельчающего барабана от своего первоначального положения точки O до точки A_1 , угол $\varphi_н$ начала измельчения будет

$$\varphi_н = arc\,cos\frac{R_б - l_н}{R_б} = arc\,cos\left(1 - \frac{l_н}{R_б}\right), \quad (6)$$

где $l_н$ – длина ножа, м; $R_б$ – радиус измельчающегоо барабана, м.

Тогда угол $\varphi_к$ конца измельченя будет

$$\varphi_к = 90^0 - arc\cos\varphi_н = 90^0 - arc\cos\left(1 - \frac{l_н}{R_б}\right). \quad (7)$$

Длина зоны измельчения B_1 с учетом уравнения (7) будет

$$\mathrm{B}_1 = 2R_б\, sin\frac{\varphi_к}{2} = 2R_б\, sin\frac{90^0 - arc\,cos\left(1 - \frac{l_н}{R_б}\right)}{2}. \quad (8)$$

По формуле (2) задаваясь принятыми параметрами $\upsilon_м$ = 2,2...3,75 м/с и ω = 250...260 с$^{-1}$, радиус $R_б$ измельчающего барабана равен $R_б$ = 0,31...0,40 м.

Согласно рисунку 6 угол $\varphi_н$ начала измельчения можно выразить

$$arc\cos\frac{R_б - l_{гр}}{R_б} = arc\cos\frac{l_{ст}(1 - \sin\beta)}{R_б},$$

$$R_б - l_{гр} = l_{ст}(1 - \sin\beta);$$

Тогда длина $l_{гр}$ измельчающего ножа определится

$$l_{гр} = R_б - l_{ст}(1 - \sin\beta). \quad (9)$$

Продставив в формулу (9) значения $R_б$, $l_{ст}$ и угол β получим

$$l_{гр} = 0{,}31 - 0{,}6(1 - \sin 35°) = 0{,}31 - 0{,}26 = 0{,}05\text{м}$$

Для подверждения теоретических исследований экспериментальным путем, была разработана лабораторная установка с конструкционными параметрами определенными выше. Общий вид установки представлен на рисунке 7.

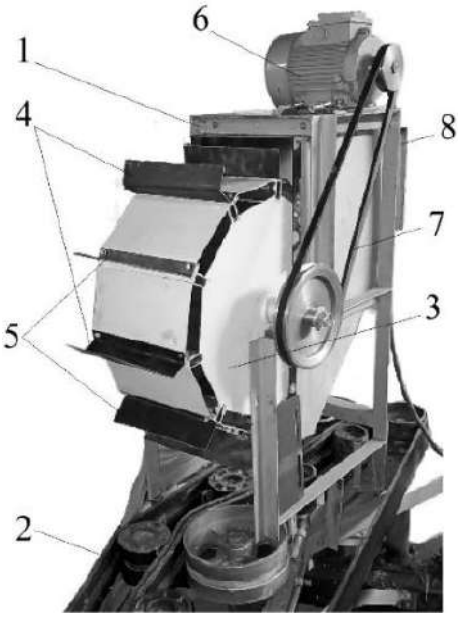


Рисунок 7 - Общий вид экспериментальной установки:1 – рама; 2 – зажимное устройство 3 – измельчающий барабан; 4 – основной нож; 5 – дополнительный нож; 6 – электродвигатель, 7 – ременная передача, 8 – приемная камера

При движении по транспортеру зажимного устройства 2 стебли взаимодействуют с кожухом измельчающего барабана (на рисунке7 кожух снят), отклоняясь попадают к ножам измельчающего барабана 3, где срезаются и измельчаются основными 4 и дополнительными 5 ножами. Далее измельченная масса под действием кинетической энергии, полученной при взаимодействии с ножами измельчающего барабана и воздушного потока, по внутренней обечайке кожуха попадает в приемную камеру 8.

В связи с вышеизложенным нами сформулированы основные требования, предъявляемые к разрабатываемой машине для измельчения не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли:

- схема агрегатирования задняя боковая;
- рабочая ширина захвата до 2 м;
- высокая пропускная способность при низких удельных энергозатратах;
- рабочая скорость движения агрегата в диапазоне от 8 до 13,5 км/ч;
- равномерное распределение измельченного материала по поверхности поля;
- возможность работы со стеблями повышенной влажности;
- массовая доля фракций соломы до 10 см должна быть не менее 90 %, свыше 15 см не должна превышать 3 % [20];
- простота конструкции и обслуживания.

На рисунке 8 представлена конструкционно-технологической схема предложенного измельчителя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли.

Согласно рисунку 8 разрабатываемый измельчитель-разбрасыватель включает в себя опорно-ходовые колеса 1, барабан 2 с шарнирно закрепленными основными ножами 3 и дополнительными ножами, выполненными в 1/2 величины основных ножей, корпус 5 и разбрасывающее устройство 6, выполненное в виде распределительных заслонок.

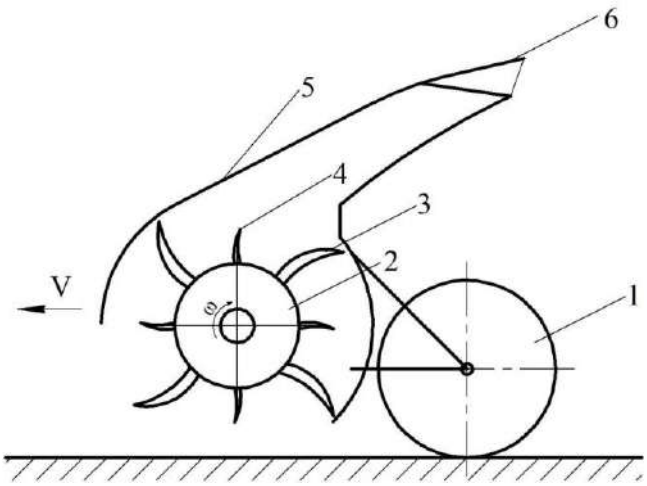


Рисунок 8 – Конструкционно-технологическая схема разрабатываемого измельчителя-разбрасывателя несеменной части урожая:1 – опорно-ходовое колесо; 2 – барабан; 3 – основной нож; 4 – дополнительный нож; 5 – корпус; 6 – разбрасывающее устройство

Выводы. Проанализировав конструкционные и режимно-технологические признаки измельчителей, выявили их основные достоинства и недостатки - малая производительность, неравномерное распределение измельченной растительной массы по поверхности поля, забивание рабочих органов, невозможность работы со стеблями повышенной влажности.

На основании проведенного анализа перспективной является конструкция измельчителя не семенной части урожая: по количеству измельчающих барабанов – однобарабанный; по типу агрегатирования с энергосредством – задняя боковая навеска; рабочая ширина захвата – до 2 м; рабочая скорость движения агрегата от 8 до 13, 5 км/ч.

Разработана конструкционно-технологическая схема нового измельчителя-разбрасывателя не семенной части урожая лубяных культур – льна масличного и конопли который будет способствовать очищению полей от неиспользуемых остатков и способствовать улучшению экологии и повышению плодородия почвы и урожайности последующих культур.

Исходя из условий бесподпорного срезания стеблевых растений и их качественного измельчения теоретически определены параметры измельчающего аппарата (длина основных ножей 0,05 м, длина дополнительных ножей 0,025 м, высота установки кожух измельчающего аппарата 0,34 м).

Список источников

1. Пожнивные остатки или вернуть взятое [электронный ресурс]. URL: http://agrodelo.com.ua/raznoe/pozhnivnye-ostatki-ili-vernut-vzjatoe/ (дата обращения: 02.08.2022).

2. 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

3. Мажугин Е. И. Механико-технологические основы совершенствования косилок для мелиорированных земель и лугопастбищных угодий: монография/ Е. И. Мажугин [и др.]. – Горки : БГСХА, 2017. – 247 с. ил.

4. Особов, В. И. Механическая технология кормов / В. И. Особов. − М.: Колос, 2009. − 344 с.

5. Бобков, В.Н. Краткий обзор конструкций зарубежных косилок-измельчителей / В.Н. Бобко.- Инженерный вестник, 2008.- №1(25).-С.48-50.

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

7. Измельчитель валков соломы УМС-170/УМС-200 [электронный ресурс]. URL: https://selhoztehnika.net/products/izmelchitel-valkov-solomy-ums-170/ (дата обращения: 02.08.2022).

8. Комбайн зерноуборочный самоходный КЗС-812 «Палессе GS812» - Инструкция по эксплуатации. – Брянсксельмаш, 2011.– 186 с.

9. Сельскохозяйственная техника ведущих зарубежных фирм: Кат./ Рос. НИИ информ. и техн.-экон. исслед. по инж.-техн. обеспечению агропром. комплекса: М.:-«Росинформагротех», 2001.- 83 с.

10. Обоснование технологической схемы подборщика-измельчителя соломы / В. Г. Кушнир [и др.] // "3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация". Часть 1. - 2016. - N 2. - С. 261-266.

11. Масиенко, И.В. Обзор патентных разработок измельчителей незерновой части урожая / И.В. Масиенко // Молодежная наука - развитию агропромышленного комплекса: сб. мат. Всероссийской (национальной) науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (Курск, 3–4 декабря 2020 г.).-Курск: КГСХА им. И.И. Иванова- 2020.- С. 326-334. - 344 с.

12. Горячкин, В.П. Собрание сочинений. – Том третий. –Изд. 2-е. – М.: Колос, 1968. – 384 с.

13. Гутьяр, Е.М. К теории резания стеблей // Сельхозмашина. – 1931. - №7. – С.12–13.

14. Ишлинский, А.Ю. Задача о скорости косьбы злаков // Сельхозмашина. – 1937. - №5–6. – С. 8–12.

15. Василенко, И.Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин. Труды ВИСХОМ. – М., 1937. - №5. – С.7–14.

16. Резник, Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов. – М.: Машиностроение, 1975. – 311 с.

17. Босой, Е.С. Режущие аппараты уборочных машин. Теория и расчет. – М.: Машиностроение, 1967. – 167 с.

18. Теория, конструкция и расчет сельскохозяйственных машин: Учебник для вузов сельскохозяйственного машиностроения / Е.С. Босой, О.В. Верняев, И.И. Смирнов, Е.Г. Султан–Шах; Под ред. Е.С. Босого – 2–е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1978. – 568 с.

19. Лачуга, Ю.Ф. Теоретическая механика. – 3-е изд., перераб. и доп. /Ю.Ф. Лачуга, В.А. Ксендзов // – М.: КолосС, 2010. – 576 с.; ил. – (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).

20. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве: – М.: ФГНУ "Росинформагротех". – 2005. – 271 с.

References

1. Crop residues or return the taken [electronic resource]. URL: http://agrodelo.com.ua/raznoe/pozhnivnye-ostatki-ili-vernut-vzjatoe / (date of reference: 02.08.2022).

2. Yagelsky, M.Yu. Development trends and classification of shredders-spreaders of modern combine harvesters / M.Yu. Yagelsky, S.A. Rodimtsev // Bulletin of the Orel State Agrarian University. - 2016. - No3(60). - pp.73-87

3. Mazhugin E. I. Mechanical and technological foundations of the improvement of mowers for reclaimed lands and grasslands: monograph/ E. I. Mazhugin [et al.]. – Gorki: BGSHA, 2017. – 247 p. : ill.

4. Osobov, V. I. Mechanical technology of feed / V. I. Osobov. − M.: Kolos, 2009. − 344 p.

5. Bobkov, V.N. A brief overview of the designs of foreign shredder coils / V.N. Bobko.- Engineering Bulletin, 2008.- №1(25).- P.48-50.

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

7. Shredder of straw rolls UMS-170/UMS-200 [electronic resource]. URL: https://selhoztehnika.net/products/izmelchitel-valkov-solomy-ums-170 / (date of reference: 02.08.2022).

8. Combine harvester self-propelled KZS-812 "Palesse GS812" - Operating instructions.– Bryanskselmash, 2011.– 186 p.

9. Agricultural machinery of leading foreign firms: Cat. / Ros. Research Institute inform. and tech.-econ. research. by eng.-tech. providing agro-industry. complex: M.: -"Rosinformagrotech", 2001.- 83 p.

10. Justification of the technological scheme of the straw picker-shredder / V. G. Kushnir [et al.] // "3i: intellect, idea, innovation - intelligence, idea, innovation". Part 1. - 2016. - N 2. - pp. 261-266.

11. Masienko, I.V. Review of patent developments of shredders of the non-grain part of the crop / I.V. Masienko // Youth science - development of the agro-industrial complex: sat. mat. All-Russian

(national) Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists (Kursk, December 3-4, 2020).-Kursk: KGSHA named after I.I. Ivanov- 2020. - pp. 326-334. - 344 p.

12. Goryachkin, V.P. Collected works. – Volume three. –Ed. 2-E. – M.: Kolos, 1968. – 384 p.

13. Gutyar, E.M. On the theory of cutting stems // Agricultural machinery. – 1931. - №. 7. – p.12-13.

14. Ishlinskiy, A.Yu. The problem of the speed of mowing cereals // Agricultural machine. – 1937. - №5-6. – pp. 8-12.

15. Vasilenko, I.F. Theory of cutting devices of reaping machines. Proceedings of VISKHOM. – M., 1937. - No. 5. – pp.7-14.

16. Reznik, N.E. The theory of cutting with a blade and the basics of calculating cutting devices. – M.: Mashinostroenie, 1975. – 311 p.

17. Bosoy, E.S. Cutting machines of harvesting machines. Theory and calculation. – M.: Mechanical Engineering, 1967. – 167 p.

18. Theory, design and calculation of agricultural machines: Textbook for agricultural engineering universities / E.S. Bosoy, O.V. Vernyaev, I.I. Smirnov, E.G. Sultan–Shah; Edited by E.S. Bosoy – 2nd ed., reprint. and additional – M.: Mechanical Engineering, 1978. – 568 p.

19. Shack, Yu.F. Theoretical Mechanics. – 3rd ed., reprint. and additional /Yu.F. Lachuga, V.A. Ksenzov // – M.: KolosS, 2010. – 576 p.; ill. – (Textbooks and studies. manuals for higher education students. studies. institutions).

20. Initial requirements for basic machine technological operations in crop production: – M.: FGNU "Rosinformagrotech". - 2005. – 271 p.

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; S. Prokofiev– 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): 23.11.2022 Принята к публикации (Accepted): 16.12.2022