

На правах рукописи



Потебня Андрей Николаевич

**ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА
ПОЛЕВОГО УБОРОЧНОГО АГРЕГАТА**

Специальность 4.3.1 Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Краснодар – 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» (ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ)

Научный

руководитель: **Труфляк Евгений Владимирович**
доктор технических наук, доцент

Официальные
оппоненты:

Федорова Ольга Алексеевна
доктор технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный аграрный университет»,
профессор кафедры «Технические системы в АПК» (г. Волгоград)

Богданчиков Илья Юрьевич
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Рязанский государственный агротехнологический университет имени П. А. Костычева»,
доцент кафедры «Эксплуатация машинно-тракторного парка» (г. Рязань)

Ведущая
организация:

ФГБОУ ВО «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В. М. Кокова» (г. Нальчик).

Защита диссертации состоится «26» сентября 2024 г. в 10.00 часов на заседании диссертационного совета 35.2.019.03 при ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ по адресу: 350044, г. Краснодар, ул. Калинина 13, Кубанский ГАУ, корпус факультета энергетики, ауд. 110.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ: <https://kubsau.ru/>.

Автореферат разослан «__» _____ 2024 г., размещен на официальном сайте ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru> и на сайте ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ <https://kubsau.ru/>.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук,
доцент

Самурганов Евгений
Ерманекосович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. С целью обеспечения безопасности в продовольственной сфере распоряжением Правительства Российской Федерации № 1455-р от 07.07.2017 г. была утверждена «Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения». Для импортозамещения сельскохозяйственной техники перед инженерами-конструкторами заводов-изготовителей, научными работниками стоит задача создания новых или модернизации имеющихся образцов.

Существующие косилки, жатки, кормо- и зерноуборочные комбайны, режущие аппараты этих сельскохозяйственных машин не обеспечивают одновременное срезание, измельчение стеблей кукурузы, подсолнечника, камыша и других культур с целью дальнейшей заделки в почву или разбрасывания по поверхности почвы, а также сбора массы для использования в животноводстве.

Диссертационное исследование выполнено в рамках тематического плана научно-исследовательских работ Кубанского ГАУ, ГР № 121032300060-2 (2021–2025 гг.), раздел 17.2 «Разработка ресурсосберегающих процессов посева, химической обработки, уборки и очистки семян сельскохозяйственных культур на основе новых конструктивно-технологических решений».

Степень разработанности темы. Результаты проведенных научных исследований такими учеными, как Н. В. Алдошина, В. Р. Алешкина, Е. С. Босого, Н. В. Брагинца, В. В. Братишко, Г. И. Бремера, А. И. Бурьянова, И. Ф. Василенко, С. Ф. Вольвака, В. П. Горячкина, Ф. Д. Грязнова, В. Н. Гячева, А. А. Ежевского, Э. В. Жалнина, В. А. Желиговского, Г. И. Сабельникова, Г. Г. Маслова, М. Н. Московского, С. В. Мельникова, А. Н. Карпенко, Л. П. Карташова, Л. П. Крамаренко, В. И. Передни, И. И. Ревенко, Н. Е. Резника, Н. В. Сабликова, Е. И. Трубилина, В. Ю. Фролова, В. И. Шаповалова и других посвящены теории и практике работы режущих и измельчающих рабочих органов сельскохозяйственных машин. Однако вопросы теоретического обоснования срезания, сбора и измельчения одним аппаратом различных культур до конца не решены. Кроме того, не обоснована структурно-функциональная схема полевого уборочного агрегата для срезания и измельчения растений, физическая суть показателя кинематического режима, производительность и затраты энергии на привод срезающе-измельчающего аппарата (СИА).

В настоящее время отсутствует конструктивно-технологическая схема, параметры и режимы работы срезающе-измельчающего аппарата полевого уборочного агрегата, обеспечивающего одновременный срез, сбор и измельчение стеблей.

Это свидетельствует об актуальности темы диссертации по определению и обоснованию конструктивно-технологической схемы, параметров и режимов работы универсального срезающе-измельчающего режущего аппарата.

Рабочая гипотеза. Определение конструктивно-режимных параметров режущего аппарата позволит расширить функциональные возможности и обеспечить срез и измельчение стеблей растений.

Целью работы является повышение эффективности среза и измельчения растений путем обоснования структурно-функциональной схемы агрегата, рациональных параметров и режимов работы режущего аппарата.

Задачи исследования:

1. Обосновать структурно-функциональную схему срезающе-измельчающего агрегата, включающего энергетическое средство и двухстадийный аппарат для утилизации растений на корнях.

2. Разработать аналитические модели, позволяющие на стадии проектирования срезающе-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения энергоемкости, степени измельчения стеблей и показателя кинематического режима.

3. Изучение резания и измельчения стеблей на срезающе-измельчающем аппарате в лабораторных условиях.

4. Определить параметры и режимы работы срезающе-измельчающего режущего аппарата в полевых условиях.

5. Сопоставить результаты теоретических и экспериментальных исследований.

6. Определить экономическую эффективность предложенного решения.

Методы исследований. Теоретические исследования выполнялись на основании теории вероятностей, основных положений математики и теоретической механики. Экспериментальные исследования проводились в лабораторных и полевых условиях в соответствии с апробированными методиками и базировались на теории планирования многофакторного эксперимента.

Объект исследования – технологический процесс среза стеблей кукурузы, подсолнечника и камыша с использованием срезающе-измельчающего режущего аппарата.

Предмет исследования – зависимости между биометрическими показателями, физико-механическими свойствами скашиваемых культур параметрами и режимами работы предлагаемого аппарата.

Научную новизну работы составляют:

– структурно-функциональная схема срезающе-измельчающего аппарата;

– уравнение материального баланса с учетом трансформации исходных стеблей в частицы конечного размера;

– аналитические модели, позволяющие на стадии проектирования срезаво-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей и показателя кинематического режима в зависимости от исходных требований, а также предполагаемых значений параметров срезаво-измельчающего аппарата при различных вариациях.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Теоретическую значимость представляют:

– уравнение материального баланса, позволяющее установить зависимость между характеристикой убираемой культуры и параметрами полевого агрегата;

– аналитические зависимости, характеризующие пропускную способность срезаво-измельчающего устройства с учетом показателя кинематического режима и зависимости, обуславливающие затраты энергии, использование которых позволяет определить мощность привода СИА.

Практическую значимость представляют параметры и режимы работы режущего аппарата, позволяющие расширить функциональные возможности и обеспечивающие одновременный срез, сбор и измельчение стеблей.

Новизна технического решения подтверждена патентом на изобретение РФ № 2762432.

Положения, выносимые на защиту.

1. Структурно-функциональная схема срезаво-измельчающего агрегата, включающего энергетическое средство и двух-стадийный аппарат для утилизации растений на корнях.

2. Модели сравнительной оценки уборочного агрегата по энергоёмкости с учетом качественных показателей работы – однородности частиц по размеру и степени дезинтеграции.

3. Уравнение материального баланса с учетом трансформации исходных стеблей по массе в частицы конечного размера.

4. Аналитические модели, позволяющие на стадии проектирования срезаво-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей и показателя кинематического режима.

5. Результаты сопоставления теоретических и экспериментальных исследований.

6. Параметры и режимы работы срезаво-измельчающего полевого уборочного агрегата.

Реализация и внедрение результатов исследований.

Опытный образец срезаво-измельчающего аппарата прошел экспериментальную проверку в учебном парке Кубанского ГАУ (г. Краснодар), используется в ООО «Агро-Империя» и в ООО «Заря» Крыловского района Краснодарского края.

Апробация работы. Основные положения и выводы диссертации доложены и одобрены на научных конференциях Кубанского ГАУ; Международной конференции «Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов» (2018 г.); III Национальной конференции «Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения» (2019 г.). Опытный образец срезающе-измельчающего аппарата был представлен на Агропромышленной выставке «Агрорусь» (2019 г., г. Санкт-Петербург); XXII Агропромышленной выставке-ярмарке «Золотая Нива» (2022 г., г. Усть-Лабинск); XXIII Агропромышленной выставке-ярмарке «Золотая Нива» (2023 г., г. Усть-Лабинск); Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» (2019 г., 2023 г., г. Москва).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе 3 – в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, 1 монография, получен 1 патент на изобретение РФ.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы, включающего 151 наименование. Диссертация изложена на 216 страницах компьютерного текста, включает 140 рисунков, 59 таблиц, 6 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении изложены актуальность исследований, цель работы, научная новизна, практическая значимость; представлены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор имеющихся конструкций косилок, кормо- и зерноуборочных комбайнов, современных мульчировщиков, измельчителей. Проанализированы патенты на изобретения и полезные модели режущих и измельчающих аппаратов, а также приведены результаты изучения теоретических исследований в данном направлении.

Представлены результаты анализа 50 протоколов испытаний на 10 машиноиспытательных станциях по косилкам, косилкам-плющилкам, жаткам для уборки кормовых культур, агрегатам для измельчения кормов.

В результате проведенного анализа сделан вывод о том, что существующие машины имеют узкий диапазон использования, отсутствует универсальное режущее устройство, обеспечивающее срез, измельчение и перемещение различных по физико-механическим свойствам растений.

Сформулирована цель работы и задачи исследований.

Во второй главе обоснована структурно-функциональная схема агрегата, включающего энергосредство и двухступенчатый режущий аппарат срезающе-измельчающего типа.

На рисунке 1 приведена формализованная модель взаимодействия элементов системы «почва → стебельная масса → измельчающий агрегат».



Рисунок 1 – Формализованная модель взаимодействия элементов системы ПО → П → СМ → ИПА

Согласно приведенным данным на рисунке 1, основными показателями оценки функционирования системы являются: изменение мощности – $N_a(t)$, кВт; производительность агрегата – $Q_a [Q_{СИА}(t)]$, зависящая от пропускной способности срезающе-измельчающего аппарата, кг/с; неоднородность гранулометрического состава измельченной массы – $\Theta(t)$, %; высота среза – H_{cp} , мм; изменение степени измельчения стеблей – $\lambda_n(t)$, ед.; показатель кинематического режима – λ_k , ед. На рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема полевого агрегата со срезающе-измельчающим аппаратом сегментно-ножевого типа.

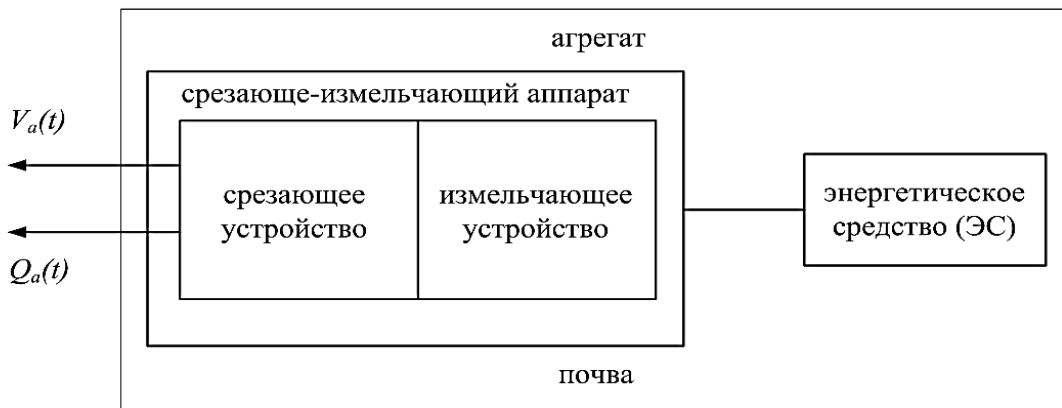


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема агрегата для утилизации растений на корню

По принятой схеме работы агрегата, имеющего двухступенчатый измельчитель, уравнение материального баланса по измельченным стеблям имеет вид:
$$\frac{\left[\sum_{i=1}^R V_{стi}^K \cdot \rho_{стi}^K \right] - \left[\sum_{j=1}^k V_{кстj} \cdot \rho_{кстj} \right]}{F_{ст}^n} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{стj}^{cp} \cdot \rho_{стj}^{cp}}{F_{ст}^n} = \frac{\sum_{\gamma}^m V_{r\gamma}^H \cdot \rho_{r\gamma}^H}{F_r^p}, \quad (1)$$

где $V_{стi}^K$ – объем i -го стебля, стоящего на корню m^3 ; k – количество стеблей, приходящихся на один квадратный метр площади поля; $\rho_{стi}^K$ – плотность

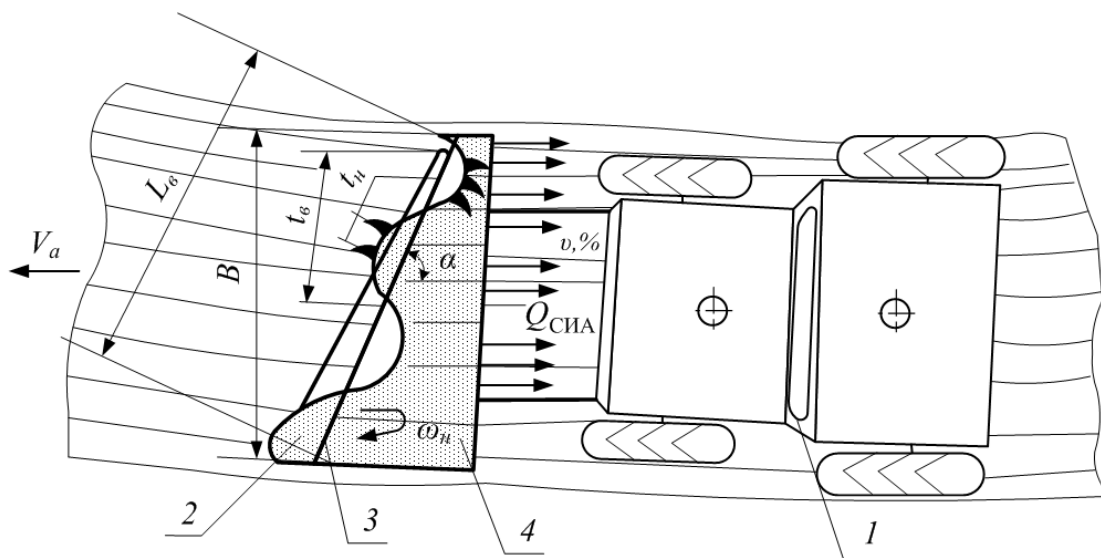
i -го стебля, кг/м^3 ; $V_{\text{кст}_i}$, $\rho_{\text{кст}_i}$ – соответственно объем и плотность i -го стебля в составе оставшейся стерни, м^3 , кг/м^3 ; $V_{\text{ст}_j}^{\text{ср}}$, $\rho_{\text{ст}_j}^{\text{ср}}$ – соответственно объем и плотность j -го срезанного стебля, м^3 , кг/м^3 ; $F_{\text{ст}}^n$ – площадь, занимаемая стеблевой массой, м^2 ; $V_{r\gamma}^H$, $\rho_{r\gamma}^H$ – соответственно объем и плотность частицы, полученной в результате дезинтеграции, м^3 , кг/м^3 ; F_r^p – площадь, на которой распределяется измельченная масса срезанных стеблей, м^2 .

Левая составляющая равенства характеризует плотность стеблестоя, подлежащего утилизации, за минусом остающейся стерни, с высотой, соответствующей агротребованиям, что характеризует урожайность стеблевой массы (кг/м^2 или ц/га).

Средняя составляющая равенства (1) характеризует биологическую массу, подлежащую срезанию части стеблей при работе агрегата, обеспечивающей загрузку агрегата по его пропускной способности (га/ч или кг/с).

Правая часть равенства (1) характеризует биологическую массу в виде совокупности измельченных частиц с показателями их неоднородности состава по размеру и распределения по площади поля отвечающими агротехническим требованиям.

Уравнение баланса позволяет установить связь между данными, входящими в состав уравнения с параметрами полевого агрегата, схема которого представлена на рисунке 3.



1 – энергетическое средство; 2 – шнек измельчителя; 3 – вал шнека;
4 – стеблестой; $L_{\text{в}}$ – длина вала шнека; $t_{\text{в}}$ – шаг винтов; $t_{\text{н}}$ – шаг ножей;
 B – ширина захвата; α – угол атаки; $\omega_{\text{н}}$ – угловая скорость ножей

Рисунок 3 – Схема к определению параметров и режимов работы агрегата

СИА обеспечивает работу в двух стадийном последовательно выполняемом режиме резания (срезания).

Для первой стадии характерны три случая, согласно приведенным на рисунке 4 схемам, а, б и в.

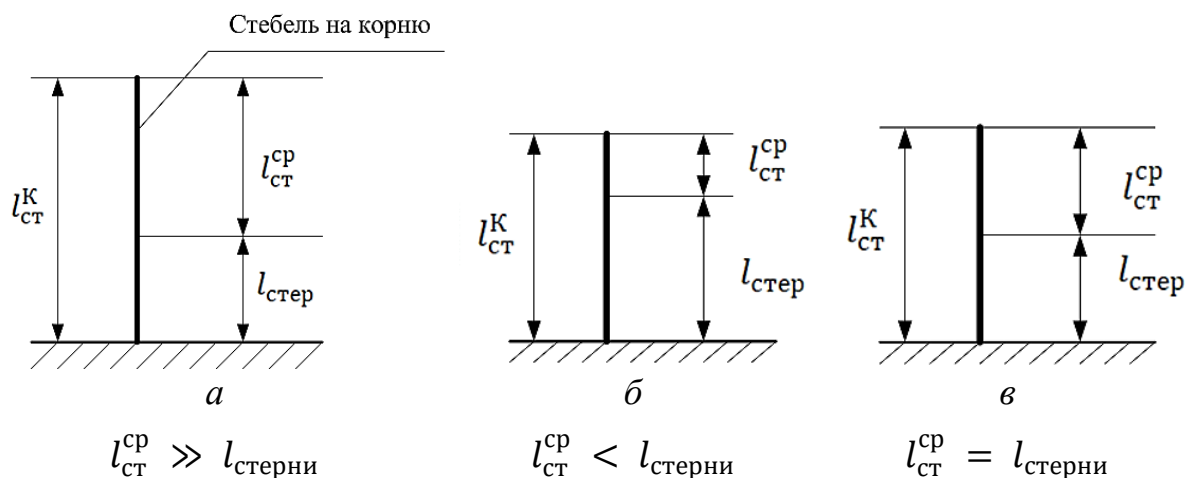


Рисунок 4 – Схема к анализу процесса при безподпорном резании стеблей

Для первой стадии – безподпорного резания стеблей на корню по степени измельчения имеем:

$$\left. \begin{array}{l} \frac{l_{ст}^K}{l_{стерни}^{cp}} \gg 2 \\ \frac{l_{ст}^K}{l_{стерни}^{cp}} > 2 \\ \frac{l_{ст}^K}{l_{стерни}^{cp}} = 2 \end{array} \right\} \quad (2)$$

При этом, согласно имеющимся данным, длина срезанных стеблей камыша, кукурузы, подсолнечника, зерновых культур и веток находится в пределах $l_{ст}^{cp} = 35-152$ см, а $l_{стерни} = 5-30$ см, при диаметре стеблей от 2,0 мм до 5,0 см.

Для второй стадии характерны значения показателя $\lambda_{и} \geq 2$. Как известно, общая степень измельчения равна их произведению на всех стадиях измельчения:

$$\lambda_{и} = \lambda_1 \cdot \lambda_2. \quad (3)$$

Варьировать степень измельчения на первой стадии, возможно путем уменьшения шага ножей на витках шнека, а также изменением угловой скорости шнека. Вторая приводит к изменению показателя кинематического режима λ_K работы СИА в составе агрегата.

Ключевым и определяющим параметром при связи технологических и конструктивно-режимных факторов является исходная высота и густота стеблестоя, подлежащего срезанию в диапазоне длины стебля (рисунок 4):

$$l_{стi}^к - l_{стерниi} = l_{стi}^{cp}, \quad (4)$$

где $l_{стерниi}$ – высота среза стебля является нормируемым параметром с учетом агротехнических требований.

Высота срезаемой части стеблей ($l_{ст}^{cp}$) существенно зависит от высоты стеблей на корню ($l_{ст}^к$), значения которой в массиве растений имеют определенный спектр колебаний случайного характера, относительно их размещения на поверхности почвы (поля).

Имея определенный алгоритм, а также базу с исходными характеристиками, обработанными статистически, представляется возможность решения этой задачи с помощью исследования множества вариантов. Данный подход носит общий характер и может при соответствующих модификациях быть применен в аналогичных ситуациях.

На рисунке 5 представлены зависимости:

$$l_{рст}^н = f(\lambda_{и})$$

при $\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} = l_{ст}^{cp} = 230 \text{ мм.}$ (5)

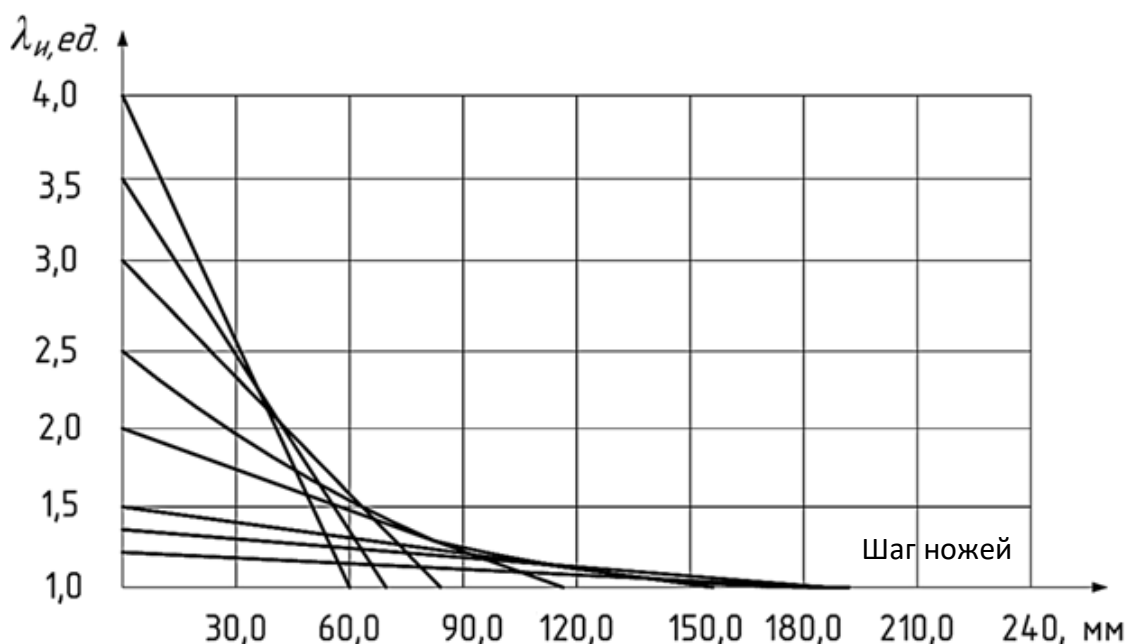


Рисунок 5 – К анализу зависимости $l_{рст}^н = f(\lambda_{и})$ при $\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} = l_{ст}^{cp} = 230 \text{ мм}$

В результате анализа данной зависимости показано, что длину $[l_{рст}^н] = 0-120 \text{ мм}$ можно получить при значениях $\lambda_{и} = 2-4 \text{ ед.}$ Однако в допустимый интервал $0-120 \text{ мм}$ должно попасть по требованиям 85 % частиц из общей массы принятой пробы. Таким образом, учитывая, этот факт и вероятностный характер условий работы полевого агрегата следует сузить диапазон

значений в интервале, например, $\lambda_{и} = 3-4$ ед. Эти данные позволяют увеличить значения такого параметра, как $\{l_{ст}^K - [H_{сп}]\}$ почти в два раза – до 420 мм, при котором $l_{ст}^H \leq 120$ мм составит $\lambda_{и} = 3,5$ ед. При этом следует учитывать, что увеличение $\lambda_{и}$ приводит к увеличению затрат энергии.

На рисунке 6 представлены зависимость и область возможных значений параметра – $\lambda_{к}$ от $\lambda_{и} = 3-4$ при значительных $C = \{0,6-0,65\}$ в соответствии с которыми значения показателя – $\lambda_{к}$ попадают в диапазон: $5 < \lambda_{к} < 6,125$.



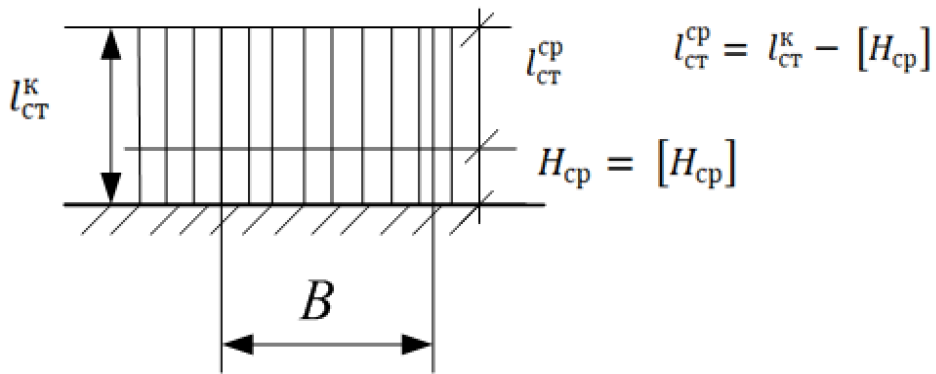
Рисунок 6 – Теоретическая зависимость, характеризующая соотношение – $C = \lambda_{к}/\lambda_{и}$, для установления их значений на стадии проектирования

Рабочий процесс СИА осуществляется в системе функционирования «поле – агрегат». При этом он должен рассматриваться во взаимной связи с факторами, которые принадлежат указанной системе с учетом данного подхода. Поэтому необходимо выделить густоту стеблестоя, которая характеризуется коэффициентом плотности размещения стеблестоя на поле:

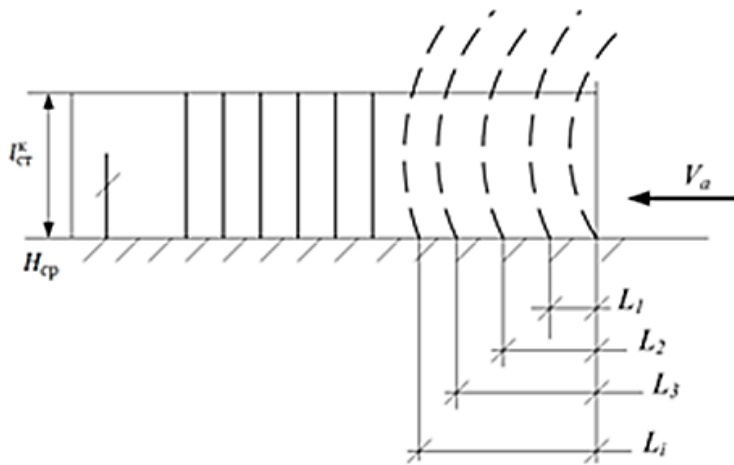
$$k_{гст} = \frac{F_{ст}}{F}, \quad (6)$$

где $F_{ст}$ – площадь, занимаемая определенным количеством стеблей, m^2 ; F – площадь, занимаемая стеблями с учетом расстояния между ними, m^2 .

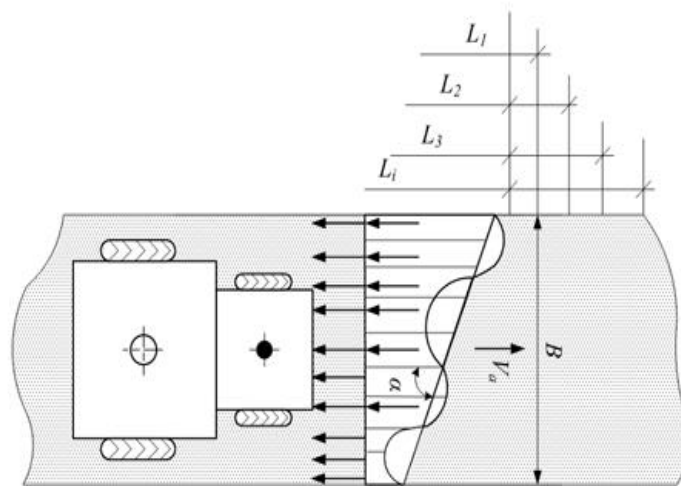
В качестве второго фактора следует выделить высоту стеблей на корню $l_{ст}^K$. Связь данных параметров поля с агрегатом прослеживается наглядно, согласно рисунку 7.



a



б



в

- a – зависимость агрегата, с убираемой стебельной массой;
 б – схема к определению параметров и режимов работы агрегата;
 в – параметры при исходной высоте и густоте стеблестоя,
 подлежащего срезанию в диапазоне длины стебля

Рисунок 7 – Схема к обоснованию параметров сопряженных элементов «поле – агрегат»

Связь агрегата с убираемой стебельной массой характеризуется следующей зависимостью:

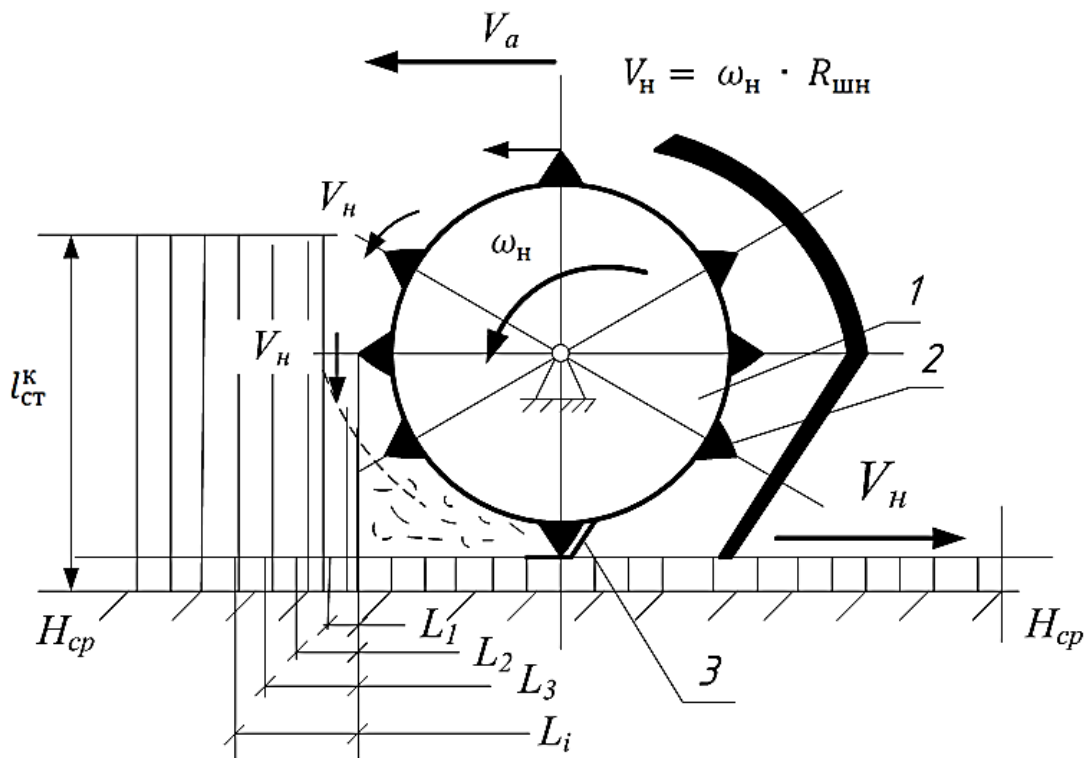
$$k_{\text{гст}} \cdot L_i \cdot (l_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot H_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot V_a = Q_{ai}, \quad (7)$$

где L_i – длина участка, захватываемого агрегатом при i -м значении V_a , м/с (рисунок 7); Q_{ai} – производительность агрегата, кг/с.

При этом производительность агрегата – Q_a должна быть согласована с пропускной способностью срезающе-измельчающего агрегата, работающего в режиме срезания стеблей – $Q_{\text{СУ}}$ и измельчения – $Q_{\text{ИУ}}$:

$$Q_a \leq Q_{\text{СИА}}. \quad (8)$$

В результате анализа рабочего процесса СИА отмечено, что он имеет ряд специфических особенностей. Одной из них является безподпорный срез вертикально стоящего стебля, который посредством корневой системы связан с почвой (рисунок 4). Этот процесс можно отнести к детерминированно-вероятностным, так как на его качество влияют такие факторы, как влажность воздуха, определяющая влажность стеблей, рельеф поля, а также влажность почвы, обуславливающие высоту среза стеблей. Схема к обоснованию параметров СИА представлена на рисунке 8.



1 – шнек; 2 – нож; 3 – L-образный неподвижный нож

Рисунок 8 – Схема к обоснованию параметров СИА

В материалах диссертационного исследования представлена схема и система уравнений к обоснованию кинематического режима. Кроме того,

приведена схема обоснования повышения эффективности срезающей способности срезающе-измельчающего аппарата, путем установки регулируемого в вертикальной и горизонтальной плоскостях бруса-гребенки, как одна из многочисленно возможных.

На основе анализа условий безподпорного срезания стеблей обоснованы пути увеличения степени измельчения на первой стадии – среза стеблей.

С учетом принятых подходов получены: зависимости для определения количества рядов ножей (витков шнека); степени измельчения на второй стадии с учетом показателя кинематического режима, а также его общего значения.

На основании принятого подхода, обусловленного связью параметров, определяющих пропускную способность агрегата Q_a , установлена необходимость проведения анализа в отношении правильного определения срезающей способности СИА в зависимости от числа ножей, заходности винта шнека с ножами, а также их связи с показателем – λ_k .

Более того, получены аналитические зависимости, характеризующие пропускную способность срезающего устройства с учетом показателя кинематического режима.

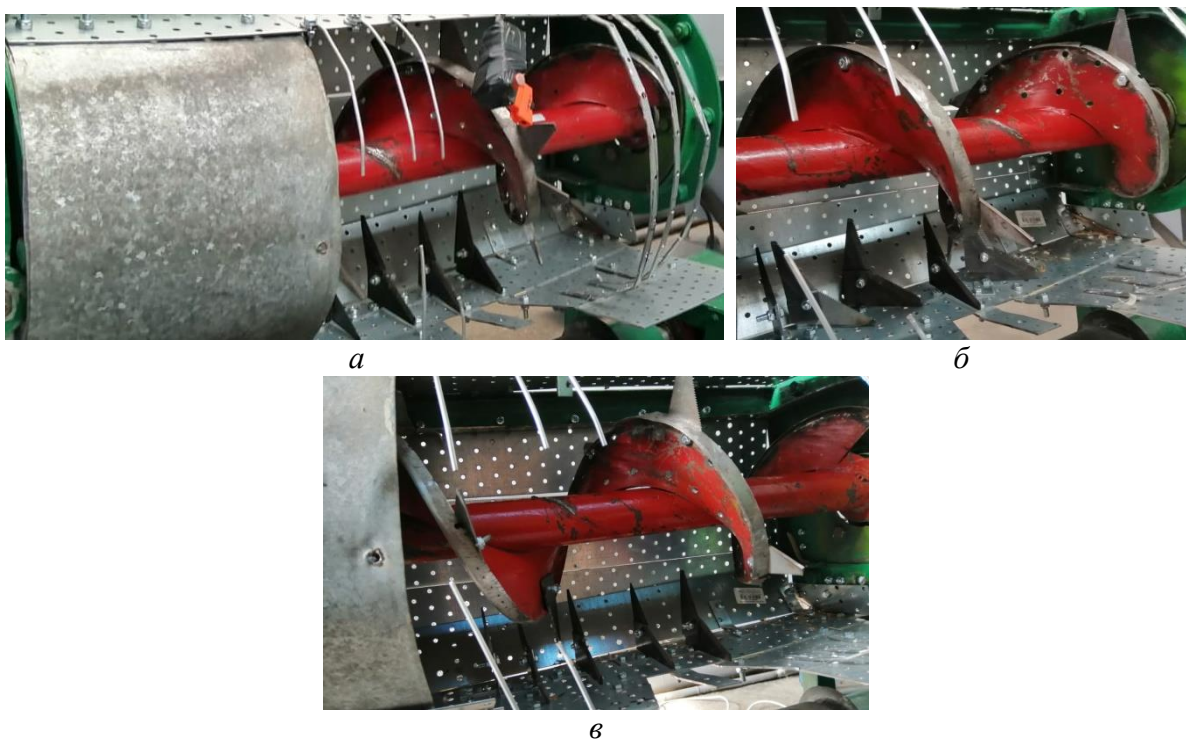
Для процессов срезания стеблей и их измельчения получены зависимости, характеризующие затраты энергии (работу), использование которых позволяет определить мощность привода СИА.

Параметрические значения ключевых факторов – λ_n и λ_k , входящих в установленные теоретическим путем зависимости и влияющие на выбор, являются неизвестными. В связи с этим их необходимо определить в ходе эксперимента.

В третьей главе представлены программа, методики экспериментальных исследований, описание лабораторной и полевой экспериментальных установок со срезающе-измельчающим режущим аппаратом. На основании нормативов обоснована программа проведения экспериментальных исследований для подтверждения теоретических положений, которая включала лабораторные на стационарной установке и полевые на мобильной.

Разработана лабораторная установка с различными вариантами режущего аппарата (рисунок 9) и методика лабораторных исследований.

Полевые экспериментальные исследования проводились на поле учебного парка Кубанского ГАУ после уборки подсолнечника. Предварительно регулировались высота среза, угол наклона режущей части сегментов, шаг размещения сегментов (рисунки 10–11).



а – вариант 1 (половина сегмента, расположенного смежно с углом 90°);
б – вариант 2 (угол наклона противорезов
 в горизонтальной плоскости 30°);
в – вариант 3 (расстояние между противорезами 5 мм)

Рисунок 9 – Варианты срезающе-измельчающего аппарата



а – спереди; *б* – сбоку

Рисунок 10 – Общий вид полевой установки



a – высоты среза; *б* – угла наклона сегментов;
в – шага размещения сегментов

Рисунок 11 – Фото процесса регулировки полевой установки

На основе априорной информации и выбраковки несущественных факторов обоснована методика планирования эксперимента, а также выбраны управляемые факторы и уровни их варьирования (таблица 1).

Таблица 1 – Значения параметров и уровней изменения значений факторов

Изменение значений	Значения параметров		
	$n_{\text{шн.}} (x_1), \text{ мин}^{-1}$	$\alpha_c (x_2), \text{ град}$	$l_c (x_3), \text{ мм}$
+1	1170	80	300
0	850	60	180
-1	530	40	60

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований и их анализ: параметры и режимы работы режущего аппарата срезающе-измельчающего типа при срезе кукурузы, подсолнечника, камыша, веток. Обусловлены конструктивно-режимные параметры работы режущего аппарата СИА.

Минимальное значение времени среза t_{cp} при шаге сегментов $l_c = 180 \text{ мм}$ (кукуруза – 0,095 с; камыш – 0,095 с; ветки – 0,101 с). При этом $t_{cp} = 0,095\text{--}0,194 \text{ с}$.

Максимальные значения угла наклона стебля $\alpha_{ст}$ при $l_c = 240, 360 \text{ мм}$ – 60° , для камыша $l_c = 60 \text{ мм}$ – 60° , веток при $l_c = 60 \text{ мм}$ – 62° .

Проведенными исследованиями по методике многофакторного эксперимента, после соответствующей математической обработки установлено, что значениями параметров при срезе подсолнечника являются: $n_{ш} = 850,0 \text{ мин}^{-1}$; $l_c = 180,0 \text{ мм}$; $\alpha_c = 60,0^\circ$; $t_{пр} = 60,0 \text{ мм}$; $\lambda_k = 5,34 \text{ ед}$.

При которых: $N_9 = 8,01 \text{ кВт}\cdot\text{с/кг}$; $v_{п} = 18,2 \%$; $v_{д} = 14,5 \%$; $\Pi = 1,8 \%$; $\lambda_{и} = 3,51 \text{ ед.}$; $H_{ср} = 51,8 \text{ мм}$; $\zeta = 31,19 \%$.

Установлено, что в зависимости от параметра $n_{ш}$ (мин^{-1}) и соответственно показателя кинематического режима λ_k (ед.), мощность изменяется от 4,99 кВт до 11,022 кВт, производительность от 0,5 кг/с до 1,22 кг/с.

Расхождение теоретических результатов и экспериментальных данных для производительности Q и затрат энергии N составляет, соответственно $\delta_Q = 5\%$ и $\delta_N = \pm 6,4\%$.

В пятой главе приведена сравнительная характеристика имеющихся в распоряжении отечественных сельхозтоваропроизводителей косилок и разработанной нами машины. Приведены: затраты на материалы и покупные изделия по рыночной стоимости – 226,2 тыс. руб.; стоимость работ по созданию разработанного полевого уборочного агрегата в условиях ремонтной мастерской – 12,4 тыс. руб.; эксплуатационные затраты составляют 871 руб./га; дополнительные капиталовложения – 1,43 млн руб. окупятся за 3,4 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Посредством разработанной формализованной модели взаимодействия элементов системы «поле – почва – стебельная масса на корнях – измельчающий агрегат» обоснована структурно-функциональная схема срезаво-измельчающего агрегата, включающего энергетическое средство и двухстадийный аппарат для утилизации растений на корнях.

На основании принятой параметрической модели составлено уравнение материального баланса с учетом трансформации исходных стеблей по массе в частицы конечного размера, отвечающие агротребованиям.

2. С учетом принятых агротребований к конечной длине частиц и высоты среза на основе принципа решения задачи от обратного получены аналитические модели, позволяющие на стадии проектирования срезаво-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей, а также показателя кинематического режима в зависимости от исходных требований и предполагаемых значений параметров срезаво-измельчающего аппарата при различных вариациях.

3. В результате изучения резания стеблей на срезаво-измельчающем аппарате в лабораторных условиях получено:

– по кукурузе: минимальное время среза – 0,095 с при шаге установки сегментов – 180 мм; максимальное значение угла наклона стебля $60,58^\circ$ при шаге установки сегментов 240 мм, минимальное значение угла наклона стебля $37,75^\circ$ при шаге установки сегментов 480 мм;

– по камышу: максимальное время среза – 0,095 при шаге установки сегментов – 180 мм; максимальное значение угла наклона стебля $60,26^\circ$ при

шаге установки сегментов 60 мм, минимальное значение угла наклона стебля 35,26 ° при шаге установки сегментов 300 мм;

– степень измельчения составила более 85 % стеблей с учетом исходных требований на базовые машинные технологические операции в растениеводстве.

4. В результате проведенных исследований по методике многофакторного эксперимента в полевых условиях, после соответствующей математической обработки установлено, что значениями параметров являются: частота вращения шнекового рабочего органа – 850 мин⁻¹; шаг установки сегментов – 180 мм; угол наклона режущей части сегментного ножа – 60 °; шаг установки противорежущих сегментов – 60 мм; показатель кинематического режима работы – 5,34 ед. При этом энергоемкость процесса – 8,01 кВт·с/кг; неоднородность частиц по длине – 14,5 %; показатель потерь в виде несрезанного стеблестоя – 1,8 %; показатель степени расщепления стеблей вдоль волокон – 31,19 %. В зависимости от частоты вращения шнекового рабочего органа и показателя кинематического режима производительность изменяется от 0,5 до 1,22 кг/с.

5. Расхождение результатов теоретических и экспериментальных данных составляет 5,0–6,4 %.

6. Расчеты доказали экономическую целесообразность внедрения проектируемой машины. Дополнительные капиталовложения в размере 1,43 млн руб. окупятся за 3,4 г.

Рекомендации производству

Предложенные в работе параметры и режимы работы срезающе-измельчающего режущего аппарата могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке рабочих органов косилок и жаток кормоуборочных комбайнов.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным и заслуживающим дальнейшего развития направлением является изучение технологии среза и измельчения сельскохозяйственных культур с целью дальнейшего использования в животноводстве.

Основные положения диссертации опубликованы

в изданиях, рекомендованных ВАК:

1. Потebня, А. Н. Обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для среза и измельчения растений и модели оценки его работы / А. Н. Потebня // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2023. – № 190. – С. 81–91.

2. Потebня, А. Н. Экономическая эффективность разработки и внедрения конструкции сельскохозяйственной машины для уборки толстостебельных культур в агропромышленных предприятиях Краснодарского края / Ю. К. Кастиди, А. Н. Потebня // Вестник Академии знаний. – 2023. – № 3(56). – С. 114–116.

3. Потebня, А. Н. Параметры и режимы работы срезающе-измельчающего аппарата / А. Н. Потebня, Е. В. Труфляк. // Инженерные технологии и системы. – 2023. – Т. 33. – № 4. – С. 360–377.

Монография

4. Потebня, А. Н. Параметры и режимы работы срезающе-измельчающего режущего аппарата : монография / А. Н. Потebня, Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2023. – 171 с.

Статьи в других изданиях

5. Потebня, А. Н. Срезающе-измельчающий режущий аппарат / Е. В. Труфляк, А. Н. Потebня // Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов : сб. тез. по материалам междунар. конф. – Отв. за выпуск А. Г. Коцаев. – Краснодар : КубГАУ, 2018. – С. 68.

6. Потebня, А. Н. Устройство для очеса зерновых культур на корню / Е. В. Труфляк, В. И. Горбанько, А. Н. Потebня // Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России : проблемы и решения : сб. тез. по материалам III нац. конф. – Отв. за выпуск А. Г. Коцаев. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – С. 99.

7. Потebня, А. Н. Устройство для очеса зерновых культур на корню / Е. В. Труфляк, В. А. Коровина, А. М. Машков, В. Е. Коровин, Р. В. Горбунков, С. В. Белошицкий, А. Н. Потebня, И. С. Труфляк // Каталог инновационных проектов. – Краснодар : КубГАУ, 2020. – С. 173–175.

8. Потebня, А. Н. Устройство для очеса зерновых культур на корню и утилизация незерновой части урожая / Е. В. Труфляк, В. А. Коровина, А. М. Машков, А. Н. Потebня, В. Е. Коровин, Р. В. Горбунков, И. С. Труфляк // Каталог инновационных проектов. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – С. 159–162.

9. Потebня, А. Н. Срезающе-измельчающего режущего аппарата полевого уборочного агрегата / А. Н. Потebня, Е. В. Труфляк // Материалы ежегодной научно-практической конференции преподавателей по итогам НИР за 2023 г. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2024.– С. 81–91.

Патент на изобретение

10. Пат. 2762432 РФ, А01D 41/08. Устройство для очеса зерновых растений на корню с утилизацией незерновой части урожая / Е. В. Труфляк, А. Н. Потebня, В. А. Коровина, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2020129287 ; заявл. 03.09.2020 ; опубл. 21.12.2021.

Подписано в печать 2024. Формат $60 \times 84 \frac{1}{16}$.
Усл. печ. лист – 1,0.
Тираж 100 экз. Заказ № .

Отпечатано в типографии Кубанского ГАУ
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13