

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени И. Т. ТРУБИЛИНА»

На правах рукописи



ПОТЕБНЯ Андрей Николаевич

ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА ПОЛЕВОГО УБОРОЧНОГО АГРЕГАТА

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Специальность 4.3.1 – Технологии, машины и оборудование
для агропромышленного комплекса

Научный руководитель:
доктор технических наук,
доцент **Труфляк Е. В.**

Краснодар – 2024

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	10
1.1 Обзор конструкций универсальных современных косилок для среза и измельчения стеблей.....	10
1.2 Обзор теоретических исследований.....	22
1.3 Выводы и задачи исследований.....	26
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОЛЕВОГО АГРЕГАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА	28
2.1 Обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений и модели оценки его работы.....	28
2.2 Теоретические исследования по обоснованию режимов и параметров работы срезающе-измельчающего аппарата в составе полевого агрегата..	41
2.3 Выводы по главе.....	63
3 МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	65
3.1 Лабораторная экспериментальная установка и методика исследования	65
3.2 Полевая экспериментальная установка и методика планирования экспе- римента.....	78
3.3 Выводы по главе.....	87
4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУК- ТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО ТИПА	88
4.1 Результаты изучения резания стеблей в лабораторных условиях	88
4.2 Результаты полевых исследований	97
4.3 Выводы по главе.....	120

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ	122
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	126
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	128
ПРИЛОЖЕНИЕ А	145
ПРИЛОЖЕНИЕ Б	149
ПРИЛОЖЕНИЕ В	155
ПРИЛОЖЕНИЕ Г	175
ПРИЛОЖЕНИЕ Д	198
ПРИЛОЖЕНИЕ Е	205

ВВЕДЕНИЕ

С целью обеспечения безопасности в продовольственной сфере распоряжением Правительства Российской Федерации № 1455-р от 07.07.2017 г. была утверждена Стратегия развития сельскохозяйственного машиностроения.

Парк машин для сельского хозяйства характеризуется высоким уровнем недостаточной оснащенности. В 2022 г. производство кормо- и зерноуборочных комбайнов сократилось на 14 и 32 % соответственно. Более 70 % работающей сельскохозяйственной техники имеют срок эксплуатации более 10 лет. Наблюдается низкая энергетическая вооруженность отрасли. В России на 1 тыс. га приходится 2 комбайна, в Казахстане – 3 комбайна, в Белоруссии – 5, в Канаде – 7, в США – 18, в Германии – 12. Это приводит к низкой производительности труда, повышению агросроков и увеличению потерь при уборке урожая до 10–20 % от валового сбора. Ежегодно необходимо обновлять парк на 15 тыс. комбайнов в год.

Для повышения эффективности уборки сельскохозяйственных культур необходимо совершенствовать существующие рабочие органы косилок и жаток комбайнов, которые будут обеспечивать их универсальность и многофункциональность.

Повышение энерговооруженности отрасли в существующих экономических и политических условиях может быть достигнуто применением принципов ресурсосбережения и использованием новых или усовершенствованных конструкций косилок и жаток комбайнов.

Отсутствуют универсальные режущие аппараты этих сельскохозяйственных машин, обеспечивающие одним аппаратом одновременное срезание, сбор, измельчение как тонко- так и толстостебельных культур (кукурузы, подсолнечника, камыша, веток и др.) с целью дальнейшей заделки в почву, сбора массы для утилизации или использования в животноводстве.

Поэтому обоснование конструктивно-технологической схемы, определение параметров и режимов работы универсального срезающе-измельчающего режущего аппарата является актуальной задачей.

Работа выполнена по плану НИР Кубанского ГАУ, регистрационный номер 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 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.

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 (СИА).

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 срезающе-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей и показателя кинематического режима в зависимости от исходных требований, а также предполагаемых значений параметров срезающе-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 срезающего 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 срезающе-измельчающего агрегата, включающего энергетическое средство и двух стадийный аппарат для утилизации растений на корнях.

2. Модели сравнительной оценки уборочного агрегата по энергоемкости 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 срезающе-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей и показателя кинематического режима.

5. Результаты сопоставления теоретических и экспериментальных исследований.

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

Реализация и внедрение результатов исследований.

Опытный образец срезающе-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 9 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 214 страницах компьютерного текста, включает 140 рисунков, 59 таблиц, 6 приложений.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Обзор конструкций режущих аппаратов для среза и измельчения стеблей

Основным рабочим органом жаток уборочных машин и косилок, осуществляющим первичное взаимодействие с растениями, является режущий аппарат. От него зависит качество, эффективность среза и дальнейшей обработки стеблей (складывания, измельчения, плющения, обмолота и т. д.).

Все режущие аппараты можно разделить на две больших группы – сегментных и ротационных вариантов (рисунок 1.1).

Первые варианты при работе осуществляют возвратно-поступательное движение, вторые – вращательное. Соответственно на порядок отличается их скорость резания и соответственно производительность.

Предлагаемая конструкция срезающе-измельчающего аппарата содержит элемент ротационного рабочего органа – совершающего вращательное движение шнек и односторонние сегменты, закрепленные на витках шнека, совершающие как поступательное, так и вращательное движение. Это обеспечивает резание стебля не только поперек, но и вдоль волокон стеблей. Данные аппарат можно отнести к сегментно-ротационному типу с возможностью подпорного и бесподпорного среза. За счет совершения возвратно-поступательного и вращательного движения при осуществлении технологического процесса предполагается, что режущий аппарат будет осуществлять дополнительное измельчение стеблей при их перемещении вдоль шнека, обеспечивая еще дополнительный сбор и перемещение. Это соответственно требует теоретического обоснования и экспериментальной проверки.

На рисунке 1.2 показаны данные типы аппаратов применительно к косилкам и жаткам.

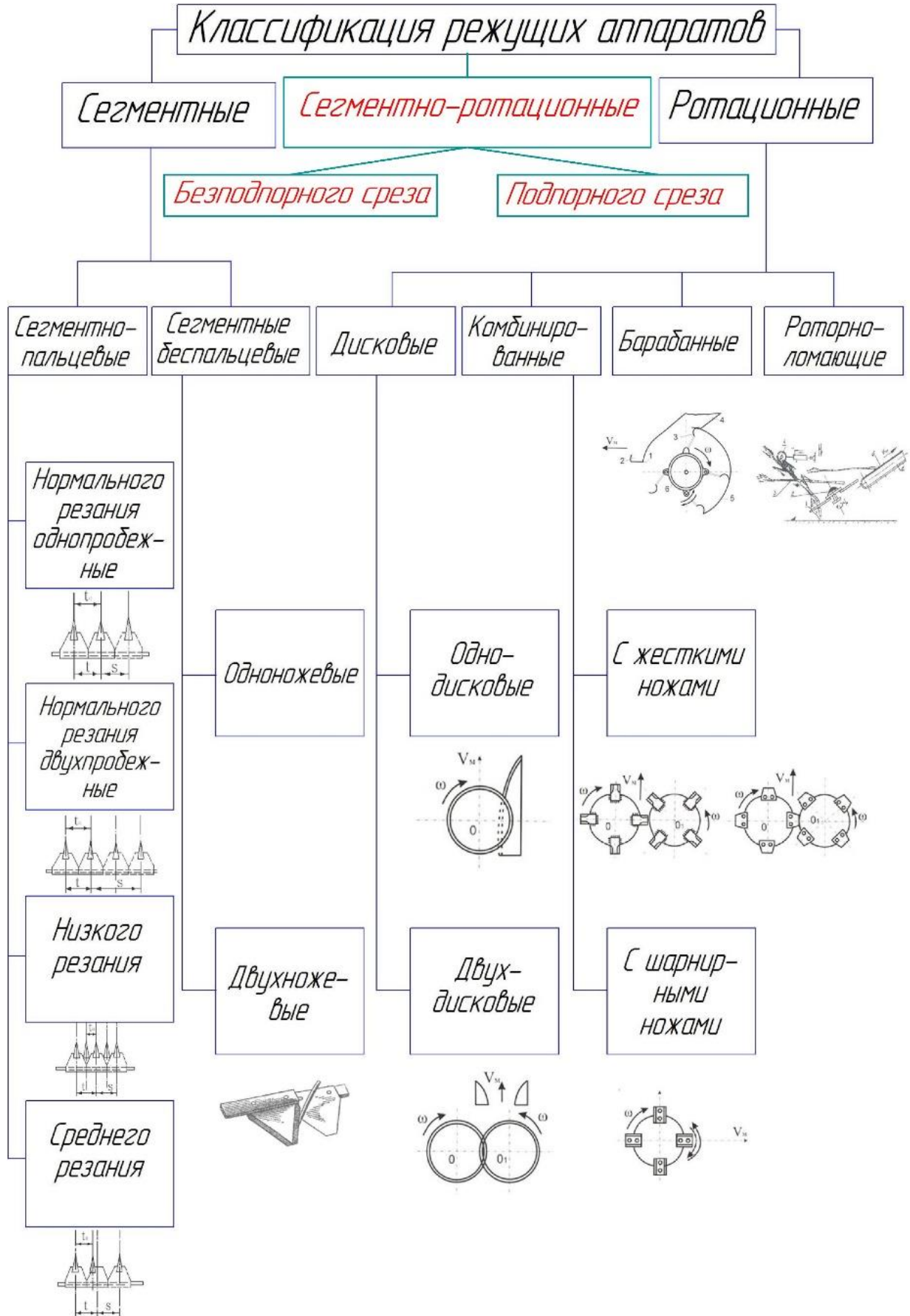


Рисунок 1.1 – Классификация режущих аппаратов

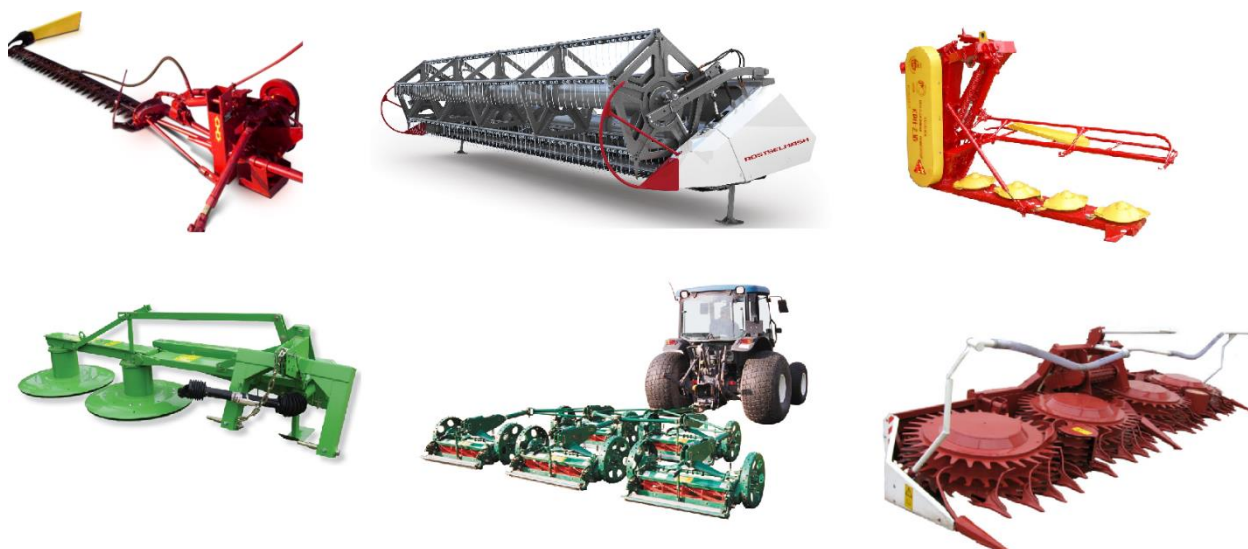


Рисунок 1.2 – Внешний вид различных типов режущих аппаратов: верхний ряд слева–направо – косилка и жатка с сегментными режущими аппаратами; косилка с ротационным; нижний ряд слева – направо – косилки с дисковым и барабанным; жатка с ротационным

В качестве основного рабочего органа, на основе проведенных исследований [121], предполагается использование сплошного шнека, левого или комбинированного направления навивки, однозаходного (рисунок 1.3).

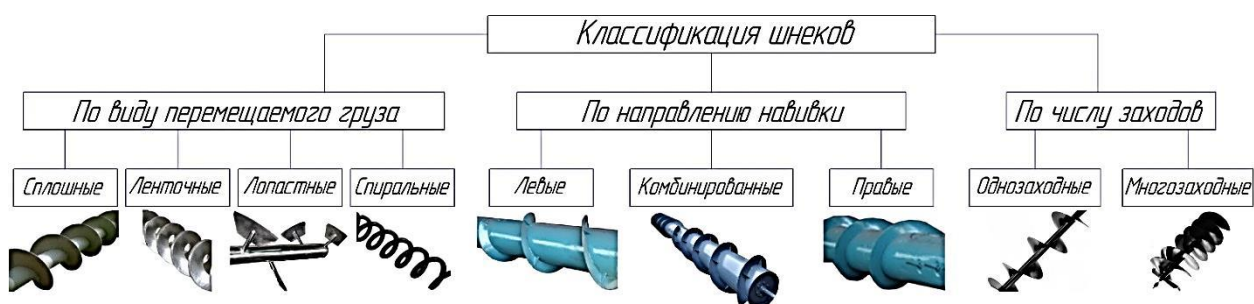


Рисунок 1.3 – Классификация шнеков

Для выявления существующих технических решений, позволяющих проводить срезание и измельчение стеблей выполнен следующий обзор.

Роторная косилка-плющилка КДП-310 (таблица 1.1) применяется для выполнения производственного укоса кормовых трав на больших территориях [124, 151]. Агрегат производит укос травы при помощи пяти вращающихся роторных ножей (рисунок 1.4). В качестве вспомогательного механизма используется активатор бильно-дековой конструкции. Он удаляет восковой слой со

стеблей растений, ускоряя процесс аэрации. Косилка может комплектоваться плющильными вальцами, вместо активатора.

Таблица 1.1 – Технические характеристики косилки-плющилки КДП-310

Показатель	Значение
Вр (ширина захвата), м	3,1
Габаритные размеры, м	
– L (длина)	8,2
– S (ширина)	3,3
– Н (высота)	1,8
Частота вращения ВОМ, мин ⁻¹	1000
М (масса), т	1,85
W (производительность), га/ч	1,8–4,5
n _р (частота вращения ротора), мин ⁻¹	3000
h _{ср} (высота среза), мм	50–90
Трактор, кл. т. с.	1,4
Тип тягово-сцепного устройства трактора: НУ-2	



Рисунок 1.4 – Общий вид рабочих органов косилки-плющилки КДП-310

Косилка-измельчитель прицепная КИР-1,5-0,2 (таблица 1.2) и косилки-измельчители роторные КИР-1,5М и КИР-1,85М (рисунок 1.5) [150] предназначены для скашивания, измельчения многолетних сеянных и естественных трав, а также для скашивания, измельчения и разбрасывания по полю пожнивных остатков сорго, подсолнечника, кукурузы, ботвы картофеля; подбора скошенных растений из валков с одновременным их измельчением. Они готовят силосные культуры для зеленой подкормки животным. Косилки-измельчители растительную массу транспортируют в прицеп, агрегируемый за ней, или в идущий рядом с ней транспорт.

Таблица 1.2 – Технические характеристики косилки-измельчителя КИР-1,5-0,2

Показатель	Значение
Тип	прицепной
Вр, м	1,5
Габаритные размеры, мм:	
– L	4600
– S	2400
– H	4200
M, кг	980±50
W, т/ч	10,5–31,5
V _p , км/ч	8
V _t , км/ч	20
h _{ср} , мм	50–400
Трактор, кл. т. с.	1,4



а



б



в

Рисунок 1.5 – Внешний вид косилки-измельчителя роторной:

а – КИР-1,5-0,2; б – КИР-1,5М; в – КИР-1,85М

Косилка-измельчитель КИП-1,4 (рисунок 1.6 а, таблица 1.3) и ее модификация КИП-1,5-01 (таблица 1.4), а также косилка-подборщик-измельчитель КУФ-1,8 (рисунок 1.6 б), косилка-измельчитель навесная КИН-Ф-1500 (рисунок 1.6 в, таблица 1.5) скашивают и измельчают растения для подкормки животных. Косилка агрегируется с трактором МТЗ-1221, к которому присоединяется транспортная тележка. Рабочие органы машины приводятся от ВОМ трактора. Ширина захвата режущего аппарата – 1,4 м. Высота среза 5–7 см [151].

Таблица 1.3 – Технические характеристики косилки-измельчителя КИП-1,4

Показатель	Значение
W, га/ч	0,6–1,1
B, м	1,8
h _{ср} , мм	60–200
l _{ср} , мм	10–60

Таблица 1.4 – Технические характеристики косилки-измельчителя прицепной КИП-1,5-01

Показатель	Значение
W за 1 ч основного времени, т/г	15–45
W за 1 ч эксплуатационного времени, т/ч	10,5–51,5
V _p , на основных операциях, км/ч	7–10
V _t , км/ч, не более	20
B, м	1,5
M, кг	850
h _{ср} , мм:	
– максимальная	400
– минимальная	50
l _{ср} , мм	12–120
Обслуживающий персонал, чел.	1
Срок службы, лет	5

Таблица 1.5 – Технические характеристики косилки-измельчителя КИН-Ф-1500

Показатель	Значение
N, не более, кВт	40
W при уборке зеленой массы урожайностью не менее 20 т/га и влажностью не менее 80 %:	
– за час основного времени, т/ч	18
– за час эксплуатационного времени, т/ч	12
B, мм	1500
Высота установки ножей ротора, мм	60–550
Высота подачи измельченной массы, не менее, м	3,6
Габаритные размеры с трактором в транспортном положении:	
– L, мм	5800
– S, мм	2250
– H, мм	4000
Масса конструкционная, не более, кг	950
V _p , не более, км/ч	8
V _t , не более, км/ч	20

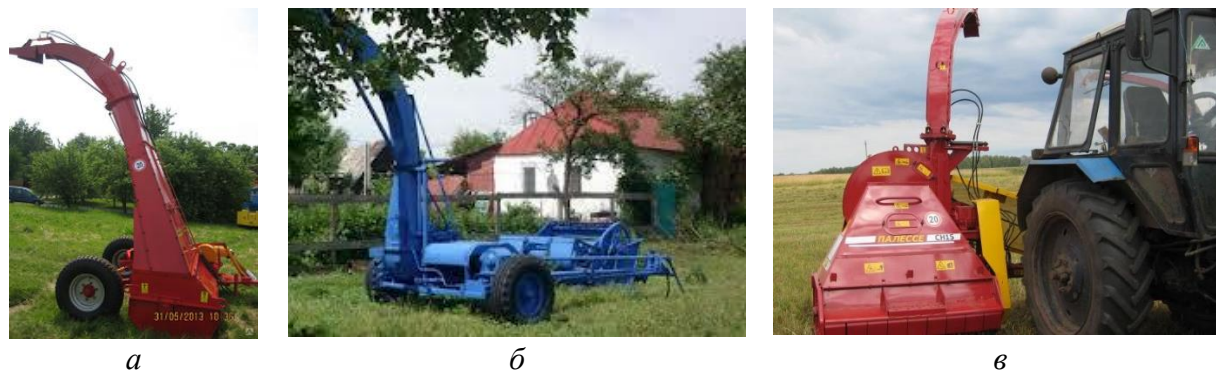


Рисунок 1.6 – Внешний вид косилок-измельчителей:

a – КИП-1,4; *б* – КУФ-1,8; *в* – КИН-Ф-1500

Измельчитель мульчирователь скоростной ИМС-2,4(2,8) (рисунок 1.7, таблица 1.6) измельчает пожнивные остатки кукурузы, подсолнечника, солому в валках. Производитель – АО «Агропромтехника» (Россия, Ставропольский край) [151].



Рисунок 1.7 – Внешний вид измельчителя-мульчирователя скоростного ИМС-2,4

Измельчители АФ (рисунок 1.8 а) и ЕФХ (рисунок 1.8 б), а также измельчитель Kverneland (рисунок 1.8 в) предназначены для срезанных ветвей, для сплошного измельчения кустарниковой растительности \varnothing до 4 см, при измельчении органических остатков на биомассу, восстановления и преобразования лесных участков в сельскохозяйственные угодья, расчистки побережий рек и каналов, линий электропередачи и трубопроводов, а также откосов и насыпей автодорог и железнодорожных путей. Измельчители АФ и ЕФХ оснащены твердосплавными сменными режущими органами (молотками), сделанными с повышенным запасом прочности [151].

Таблица 1.6 – Технические характеристики измельчителей-мульчирователей скоростных

Показатель	Значение			
	ИМС-2,4М	ИМС-2,4У	ИМС-2,8	ИМС-2,8М
В, м	2,4		2,8	
W, га/ч	1,8–2		2,1–2,3	
Тип агрегатирования	Прицепной	Полунавесной, прицепной	Прицепной	
Требуемая мощность трактора, кВт	74	59–74	74	
Требуемая мощность трактора, л. с.	100	80–100	100	
Тип шин	Пневматические			
V_p , км/ч	8–12			
$V_{тр}$, км/ч	20			
$h_{ср}$, мм	20–200			
Агрегируется с трактором	МТЗ-1021/1025/1221	–	МТЗ-1021/1025/1221	–
$l_{ср}$, мм	5–100			
Срок эксплуатации, лет	7			
Агрегируемость, т. с.	1,4–2			
ВОМ, мин ⁻¹	540/1000			
Частота вращения ротора при ВОМ 540 мин ⁻¹ , мин ⁻¹	1450	1145	1450	540 1145
Частота вращения ротора при ВОМ 1000 мин ⁻¹ , мин ⁻¹	2650	1980	2650	
Количество обслуживающего персонала, чел.	1			
Давление в шинах, МПа	0,18–0,2			
Давление в шинах, кгс/см ²	1,8–2			
Габаритные размеры и масса:				
– L, мм	2800	2200	2800	3300
– S, мм	3150	2700	3550	
– H, мм	750	790	750	
Дорожный просвет, мм	165			
M, кг	1200	960	1320	



Рисунок 1.8 – Внешний вид измельчителей: а – АF; б – EFX; в – Kverneland

Мульчирователи специального назначения Kuhn VK (рисунок 1.9 а) и Kuhn BPR (рисунок 1.9 б) предназначены для измельчения виноградной лозы, незначительных древесных остатков, заросших травостоев, пастбищ, ухода за кустарниками.

Мульчирователи полевые с горизонтальным ротором Kuhn BNG (рисунок 1.9 в), Kuhn NK (рисунок 1.9 г), Kuhn RM (S) (рисунок 1.8 д) предназначены для измельчения растительных остатков на полях, для ухода за обочинами дорог с целью борьбы с паразитами и повышения плодородности почвы, улучшения ее структуры.

Мульчирователь полевой с горизонтальным ротором Kuhn BK (рисунок 1.8 е) предназначен для измельчения пожнивных остатков, заросших травостоев, пастбищ и паровых полей. Производитель – Kuhn S.A. (Франция) [151].



Рисунок 1.9 – Мульчирователи:

а – Kuhn VK; *б* – Kuhn BPR; *в* – Kuhn BNG; *г* – Kuhn NK;
д – Kuhn RM (S); *е* – Kuhn BK

Обзор косилок-измельчителей, плющилок и мульчирователей представлен в Приложение В (рисунки В1–В20, таблицы В1–В14).

В России и странах СНГ широко используют самоходные кормоуборочные машины отечественных заводов-изготовителей и НТЦК ОАО «Гомсельмаш» Республики Беларусь: ДОН-680М, КСУ-1, ПАЛЕССЕ, КВК-800 и т. д., которые положительно себя зарекомендовали при уборке сеянных и естественно выросших травяных культур, кукурузы, сорго на силос, ботвы сахарной свеклы и других культур. Сельхозтоваропроизводители также используют самоходные косилки-плющилки «Мещера Е403» (Россия), кормоуборочный комбайн Jaguar 870 и различные срезающе-измельчающие агрегаты фирмы John Deere – модели 7150, 7300 и 7350 (Германия) [151].

Прицепные и самоходные машины для уборки зеленой массы на корм и сенаж рекомендуют в коллективной работе М. Н. Московский и В. Г. Хамуев [69]. Они отмечают, что лучшие результаты показали косилки-измельчители, изготовленные НТЦК ОАО «Гомсельмаш» (Республика Беларусь) и ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» (Россия) [124].

Согласно анализу сельскохозяйственной техники, большой диапазон зарубежной кормоуборочной техники прицепного типа в нашей стране представлены предприятиями-изготовителями: ООО «МосАгро» и ООО «Агро-Нова» [151]. Наиболее рентабельны и менее дорогостоящие отечественные прицепные кормоуборочные комбайны (производители – ООО «Комбайновый завод «Ростсельмаш» и Республика Беларусь), которые оснащены многими системами, за исключением металлодетектора и камнеуловителя (Приложение В, рисунки В21–В30).

Устаревшие технологии заготовки сена, силоса, сенажа не обеспечивают высокого качества кормов, приводят к потерям урожая, и повышают себестоимость [69].

Проведен анализ 50 протоколов испытаний косилок, косилок-плющилок на 10 машиноиспытательных станциях (МИС) за 2015–2022 гг. [122, 123, 125, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132].

Цель анализа – выявление существующих промышленных образцов режущих аппаратов с дополнительной возможностью их измельчения, прошедших государственные испытания по заданным агротехническим требованиям.

Проведенные исследования позволили обобщить в Приложение Г (таблицы Г1–Г9, рисунки Г1–Г45).

На основании выполненного обзора конструкций косилок для среза и измельчения стеблей можно заключить следующее:

- существующие устройства содержат различные элементы для среза и измельчения стеблей: ножи, цепные элементы, роторы, противорежущие пластины;

- существующие устройства преимущественно имеют узкую специализацию и обеспечивают уборку толстостебельных или тонкостебельных культур с ограниченной многофункциональностью использования;

- отсутствуют конструкции режущего аппарата рабочий орган которого совершает как поступательное, так и вращательное движение. Это обеспечивает резание стебля не только поперек, но и вдоль волокон стеблей и дополнительное измельчение стеблей при их перемещении вдоль шнека, обеспечивая еще дополнительный сбор и перемещение.

Анализ протоколов испытаний косилок, косилок-плющилок, измельчителей показал:

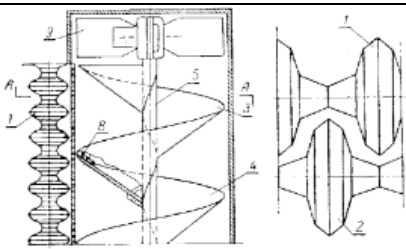
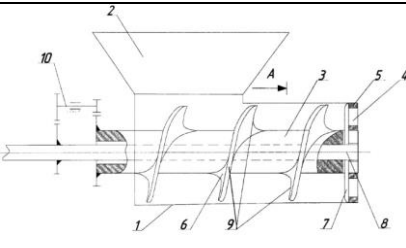
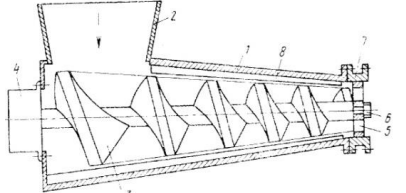
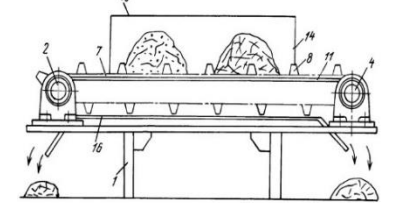
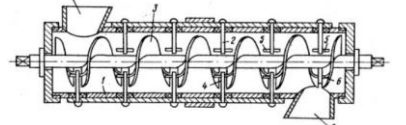
- существующие машины преимущественно предназначены на выполнение одной-двух технологических операций одним рабочим органом (срез, плющение, измельчение);

- срез с плющением обеспечивает дисковая косилка Krone Easy Cut 2800/1CV, косилка-плющилка TAARUP 433 2LT и «Мещера Е-403»; жатки Е-025, SH-309Т, Е-033; косилки-плющилки FC-303GC, КП-500; косилка роторная КРП-350-01;

- срез с измельчением осуществляют жатки ЖГР-4,5-1Е, КВК-6025.12-07; комбайн Ягуар 870; косилка-измельчитель КИР-1,5Н.

Патентный анализ режущих и измельчающих аппаратов, проведенный по результатам обзора Федерального патентного ведомства результатов интеллектуальной деятельности на изобретения и полезные модели РФ (Приложение Д) [133].

Таблица 1.17 – Пример результатов патентного обзора и анализа

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
124746		Рубящее резание заменяется скользящим использованием. Шнековый аппарат	Отсутствует дополнительное измельчение стеблей
142728		Предназначена для измельчения продуктов сельского хозяйства и может применяться для измельчения корнеплодов, зерна и грубых кормов. Данная конструкция содержит полый цилиндр с загрузочной воронкой, подающий шнек, измельчающий орган, выгрузное окно, перекрываемое декой и редуктор	Только для измельчения в животноводстве
1768296		Ножи шнека закреплены равномерно и с одинаковым зазором	Не срезает стебли
2267907		Измельчитель имеет параллельно расположенные замкнутые контуры цепей	Только измельчает без среза
701584		Измельчитель используется для кормов. Имеет шнековый режущий аппарат	Не обеспечивает измельчение толстостебельных культур

В ходе выполнения теоретического синопсиса была выполнена научная работа [117], в которой указано, что шнековый аппарат используется преимущественно для измельчения кормов и стеблей. Отсутствуют универсальные устройства не только среза, но также сбора и измельчения, различных по физико-механическим свойствам стеблей.

1.2 Обзор теоретических исследований

Научно-исследовательские работы известных ученых, таких 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, В. А. Гульчевского, Ф. Д. Грязнова, В. Н. Гячева, А. А. Ежевского, Н. И. Есепчука, Э. В. Жалнина, В. А. Желиговского, Ю. А. Иванова, Г. И. Сабельникова, Ю. В. Саенко, Г. Г. Маслова, М. Н. Московского, С. В. Мельникова, А. Н. Карпенко, Л. П. Карташова, Л. П. Крамаренко, Г. М. Кукта, С. И. Назарова, В. И. Передни, И. И. Ревенко, Н. Е. Резника, В. Д. Роговой, С. И. Рустамова, Н. В. Сабликова, Е. И. Трубилина, В. Ю. Фролова, В. И. Шаповалова, В. С. Хмелевского, Г. С. Ялпачик и других посвящены теории и практике работы режущих и измельчающих рабочих органов сельскохозяйственных машин.

Экспериментальная скорость резания стеблей различных режущих аппаратов была определена В. П. Горячкиным [30, 31], И. Ф. Василенко, А. Ю. Ишлинским [47], Е. М. Гутьяром [35].

Изучением среза толстостебельных культур занимались И. Ф. Василенко [17], Е. С. Босой [9], В. А. Носов [74], Ю. Ф. Новиков [73], Н. В. Сабликов [105], Н. В. Брагинец [10], А. А. Вертий [22] и др.

По данным [17, 22] регламентирующими факторами работы режущих аппаратов являются: скольжение, скорость, размеры ножа; защемление и физико-механические свойства материала; удельная работа резания; зазор в режущей паре.

По изучению и обоснованию параметров конструкции измельчающего аппарата с шарнирным креплением ножей, который бы использовался при резании свободно стоящих стеблей, были опубликованы работы В. И. Шаповалова [140] и А. А. Вертий [22].

Известны труды по механизации заготовки стебельчатых кормов [8], измельчающих аппаратов с шарнирной подвеской ножей [22, 24, 25, 26, 33, 52], в которых ученые предлагают для увеличения производительности измельчителя повысить скорость движения ножей до 55–65 м/с.

Бесподпорный срез изучен в работе Б. Н. Штомпеля [141]. Им были обоснованы оптимальные параметры: скорости движения, траектории, угла наклона режущего ножа, влияющие на срез стеблей, которые изменяются от массы, высоты среза стебля; физико-механических свойств травы. Б. Н. Штомпель в своей работе [141] представил аналитическую зависимость условия срезания бесподпорным способом. Также им была сформулирована необходимая для среза стебля скорость режущего инструмента.

Режущий аппарат, содержащий шнек изучен в работах Т. П. Погорова [95, 96, 97, 98], Х. Геррмана [27]. Шнековому режущему аппарату были посвящены научные разработки, защищенные патентами РФ [82, 92]. Эта тема актуальна в наши дни и требует дальнейших исследований и разработки модифицированного режущего шнекового аппарата, который будет работать с большей производительностью и меньшими энергозатратами.

Т. П. Погоров в своей работе [95] предложил оптимальную схему работы шнекового режущего аппарата; по формулам определил необходимую скорость движения ножа, чтобы без опоры срезать толстостебельное растение; обосновал правильный выбор подачи режущего аппарата от зависимости высоты стерни, а также качества среза и измельчения стеблей растений; оптимальный кинематический режим работы. Он определил по формуле угол подъема винтовой линии шнека:

$$\operatorname{tg}\beta = \frac{h}{\pi D}; \quad (1.1)$$

$$D = \frac{h}{\pi \operatorname{tg}\beta}, \quad (1.2)$$

где D – диаметр спирали режущего аппарата, м;

h – шаг винтовой линии, м.

Количество ножей режущего аппарата шнекового типа определяется по формуле [95]:

$$K = \frac{\pi D V_M L_{ш}}{60 V_p l_p h} \cdot 100, \quad (1.3)$$

где V_M – скорость косилки, м/с;

L_{III} – рабочая длина шнека, м;

V_p – скорость резания, м/с;

l_p – длина измельченных частиц стеблей, м.

Абсолютная скорость частиц выражается зависимостью [95]:

$$V = \frac{\omega R}{\cos \varphi} \sqrt{\sin^2 \beta + \sin^2 \alpha'_0}. \quad (1.4)$$

Потребляемая мощность режущего аппарата с учетом мощностей на резание $N_{рез}$, измельчение и транспортировку $N_{ТР}$, сопротивления воздуха $N_{ВС}$ и КПД $\eta_{РА}$:

$$N_{общ} = (N_{рез} + N_{ТР} + N_{ВС}) \frac{1}{\eta_{РА}}. \quad (1.5)$$

Теория резания и расчеты режущих машин были представлены многочисленными трудами российских ученых [13, 37, 38, 39, 45, 83, 84, 85, 87, 89, 90, 104, 108, 113, 114].

М. И. Карпенко [50] предложил увеличить скорость движения ножей ротационного аппарата до 72 м/с, что должно, по его мнению, уменьшить энергозатраты на 33 % и потери урожая на 50 %.

Научная работа В. В. Хатунцева [137] была посвящена исследованию конструкции и технологии работы косилки с ротационным рабочим органом для скашивания многолетних трав, равномерного распределения скашиваемой травы и формирования мульчирующего слоя в приствольных полосах садов.

Научные работы [135, 136] были посвящены обоснованию геометрических параметров режущего аппарата сегментно-дискового типа, которые были началом для разработки новых конструкции такого типа.

Б. Г. Раев [100] был основоположником исследований конструкции и работы косилок без противорежущей части.

В основном исследования проводили по измельчающим и режущим устройствам, задействованным в производстве кормов для животноводства [12, 13, 23, 32, 43].

Как известно, к измельчающей технике относятся прицепные дисковые и роторные косилки-измельчители, такие как ИРО-3,0, П6-ППР, ПАЛЕССЕ СТ42, KLEVER, КИП-1,4, КУФ-1,8, КИН-Ф-1500, ИМС-2,4, КДП-310 и другие отечественные и производства ОАО «Гомсельмаш» Республики Беларусь. В сельскохозяйственных работах также применяются срезающие и измельчающие агрегаты иностранных производителей – косилки фирмы John Deere, Kverneland, Taurus, Gemini, Vega, Virgo (Италия); различные модели мульчирователей фирмы Kuhn S. A. (Франция); модели косилок фирмы NOVOCAT 3007 T RCB, MasterCut, TAARUP 4332 LT, POTTINGER Landtechnik GmbH (Австрия); Kverneland Group (Дания) и многие другие [124, 151].

Многие из специалистов по сельскохозяйственной технике делали обзор результатов работы режущих и измельчающих агрегатов.

Так, В. А. Гулькевский отмечал, что таким рабочим органом используется совместное действие скользящего резания и расщепляющего действия рубки, при этом измельчаются как тонкостебельные корма, так и стебли кукурузы и сорго различной влажности [33].

Председатель ассоциации испытателей сельскохозяйственной техники и технологий (АИСТ) В. М. Пронин отмечал в своей научной работе [99], что производительность машины при лабораторно-полевых испытаниях определяется расчетным путем через пропускную способность комбайна.

Коллектив авторов приводит [69] подробную характеристику полученных в результате проведения сравнительных испытаний современных отечественных и зарубежных образцов сельскохозяйственных машин для растениеводства, поставляемых на внутренний рынок страны. Оценена степень необходимости совершенствования серийных косилок, кормоуборочных комбайнов, измельчителей отечественных производителей для сельскохозяйственного производства.

Профессоры Кубанского ГАУ Г. Г. Маслов и Е. И. Трубилин в своей монографии [63] рекомендовали, как наиболее эффективные для скашивания и измельчения кукурузы на силос, люцерны и других сеянных трав комбайны «Ягуар», Дон-800, Е-282, «Полесье» и др.; перевозку измельченной массы от комбайнов тракторами с прицепами или автомобилями типа КАМАЗ, ЗИЛ.

По мнению А. А. Ежевского [42] и В. И. Черноиванова [139] существуют направления развития отечественного машиностроения для разработки и изготовления средств, которые необходимы в сельском хозяйстве нашей страны. Это, прежде всего, модернизация имеющихся косилок, мульчирователей, измельчителей, комбайнов и другой сельскохозяйственной техники.

Как видно из обзора теоретических исследований, в настоящее время остро стоит задача модификации прицепных и самоходных косильно-измельчающих агрегатов для повышения их конкурентоспособности, рентабельности и обеспечения эффективной работы в полях России.

В условиях введённых странами Европы и США санкций, а также для решения задачи импортозамещения перед инженерами-конструкторами заводов-изготовителей, научными работниками стоит первоочередная задача создания или модификация имеющейся техники, которая была бы экономически, энергетически более эффективна и рентабельна, а также улучшить технологии производства сельскохозяйственных культур для их более высокого урожая при малых энергетических и экономических затратах.

1.4 Выводы и задачи исследований

Проблема состоит в отсутствии конструктивно-технологической схемы, параметров и режимов работы срезающе-измельчающего режущего аппарата, обеспечивающего одновременный срез, сбор и измельчение стеблей.

Рабочая гипотеза – определение конструктивно-режимных параметров и режимов работы режущего аппарата позволит расширить функциональные возможности и обеспечить срез и измельчение стеблей растений.

Цель работы – расширение функциональных возможностей полевого уборочного агрегата путем обоснования параметров и режимов работы срезающе-измельчающего аппарата.

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, а также качественными показателями его работы.

Задачи исследования

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

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

3. Исследовать срез и измельчение стеблей в лабораторных условиях для обоснования математических моделей.

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.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОБОСНОВАНИЮ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПОЛЕВОГО АГРЕГАТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА

2.1 Обоснование структурно-функциональной схемы агрегата для срезания и измельчения растений и модели оценки его работы

Известно, что на выбор параметров и режимов работы измельчающего аппарата любого типа влияют биологические и физико-механические свойства растений, рельеф поля и т. д. [1].

Особенностью растительных материалов является волокнистое строение тканей, характеризующееся неоднородностью строения, а также большие различия в сопротивляемости разрушению вдоль и поперек их волокон.

При этом многочисленными исследованиями установлено, что работа, затрачиваемая на срез стеблей зерновых культур составляет $A_n = 100\text{--}200$ Дж/м², а риса до 500 Дж/м² [47], среднее усилие среза стебля – $P = 2\text{--}6$ Н, а максимальное – до 30 Н [47].

При этом, предел прочности стебля при растяжении, равен $\sigma_b = 150\text{--}400$ МПа, а при срезе $\sigma_b = 60\text{--}80$ МПа [47].

Модуль упругости E для стеблей пшеницы находится в пределах 4500–7500 МПа [47].

Жесткость стебля EJ при изгибе, зависит от его влажности, а также количества стеблей в пучке.

Плотность ткани растений находится в пределах 1300–1600 кг/м³ [47].

В то же время на эффективность работы агрегата существенное влияние оказывают длина срезаемых стеблей, способ их размещения на поверхности поля, его рельеф и т. д. При этом рис и бобовые культуры растут кустами по 2–5 стеблей [47].

На рисунке 2.1 приведена формализованная модель взаимодействия элементов системы «почва → стебельная масса → измельчающий агрегат».



Рисунок 2.1 – Формализованная модель взаимодействия элементов системы
ПО → П → СМ → ИПА

Согласно рисунку 2.1 основными показателями оценки функционирования системы являются:

- изменение мощности – $N_a(t)$, кВт;
- производительность агрегата – $Q_a [Q_{\text{СИА}}(t)]$, 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 2.2 представлена структурно-функциональная схема полевого агрегата со срезающе-измельчающим аппаратом сегментно-ножевого типа.

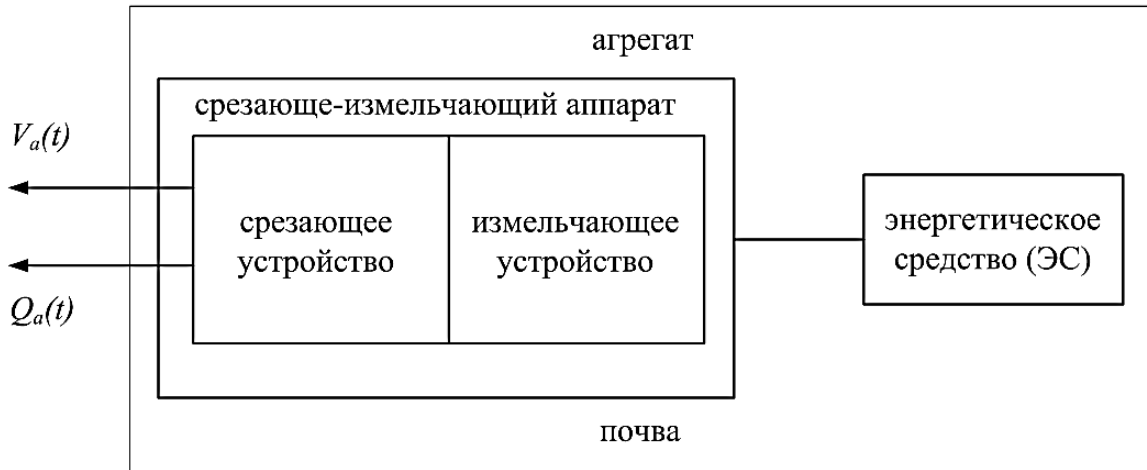


Рисунок 2.2 – Структурно-функциональная схема агрегата для утилизации растений на корню

В общем виде параметрическая модель функционирования поставленной на исследование системы может быть представлена в следующей форме:

$$\mathcal{E} = f [N(\lambda_{и}); Q_a (Q_{СИА}); v(H_{ср})] \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

$$\text{при } N(\lambda_{и}) \rightarrow \min;$$

$$Q_a (Q_{СИА}) \rightarrow \text{opt};$$

$$v(H_{ср}) \rightarrow \min.$$

В соответствии с принятой схемой и условиями работы полевого агрегата, с использованием срезающе-измельчающего устройства ножевого типа рассмотрим его работу, которая осуществляется в двух стадийном режиме, включающим «срез стеблей на корню → измельчении стеблей, с распределением частиц по полю».

В связи с изложенным, уравнение материального баланса будет иметь вид:

$$\frac{[\sum_{i=1}^R V_{ст_i}^K \cdot \rho_{ст_i}^K] - [\sum_{j=1}^k V_{кст_i} \cdot \rho_{кст_i}]}{F_{ст}^n} = \frac{\sum_{j=1}^n V_{ст_j}^{cp} \cdot \rho_{ст_j}^{cp}}{F_{ст}^n} = \frac{\sum_{\gamma}^m V_{r_{\gamma}}^H \cdot \rho_{r_{\gamma}}^H}{F_r^p}, \quad (2.2)$$

где $V_{ст_i}^K$ – объем i -го стебля, стоящего на корню m^3 ;

k – количество стеблей, приходящихся на один квадратный метр площади поля;

$\rho_{\text{ст}i}^K$ – плотность i -го стебля, кг/м³;

$V_{\text{кст}i}, \rho_{\text{кст}i}$ – соответственно объем и плотность i -го стебля в составе оставшейся стерни, м³, кг/м³;

$V_{\text{ст}j}^{\text{ср}}, \rho_{\text{ст}j}^{\text{ср}}$ – соответственно объем и плотность j -го срезанного стебля, м³, кг/м³;

$F_{\text{ст}}^n$ – площадь, занимаемая стебельной массой, м²;

$V_{r\gamma}^H, \rho_{r\gamma}^H$ – соответственно объем и плотность частицы, полученной в результате дезинтеграции, м³, кг/м³;

F_r^p – площадь на которой распределяется измельченная масса срезанных стеблей, м².

Левая составляющая равенства характеризует плотность стеблестоя, подлежащего утилизации, за минусом остающейся стерни, с высотой, соответствующей агротребованиям, что по сути характеризует урожайность стебельной массы, кг/м² или ц/га.

Средняя составляющая равенства (2.2) 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 (2.2) характеризует биологическую массу в виде совокупности измельченных частиц, с показателями их неоднородности состава по размеру – до 15 % и распределения по площади поля отвечающими агротребованиям.

Приведенные выше уравнение баланса позволяет установить связь между параметрами входящими в состав уравнения (2.2) с параметрами полевого агрегата, схема которого представлена на рисунке 2.3.

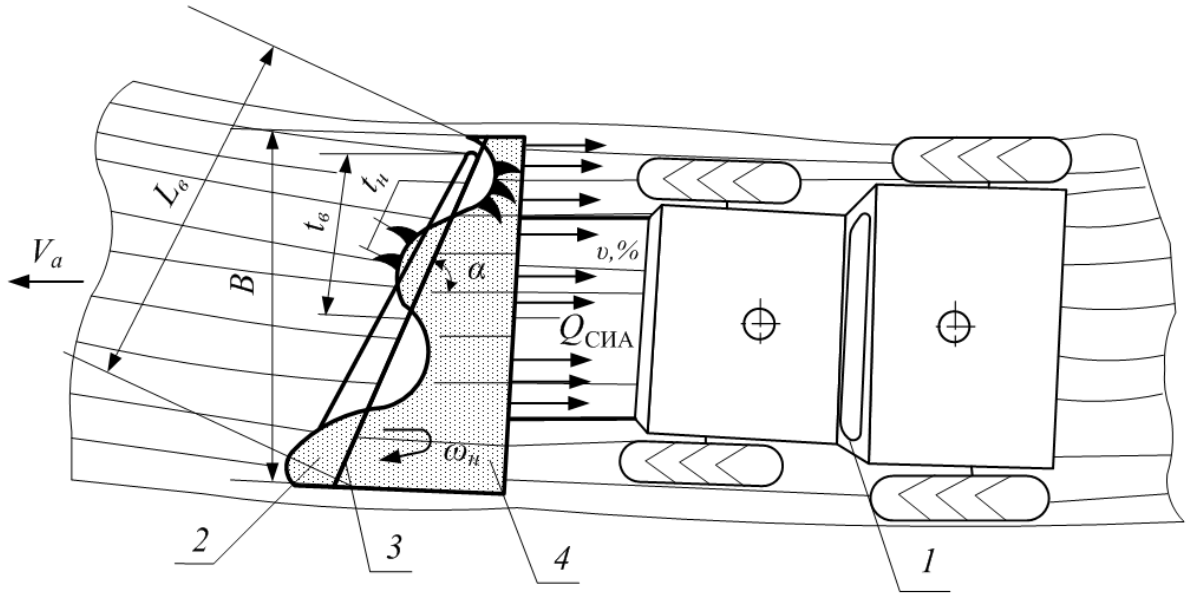


Рисунок 2.3 – Схема к определению параметров и режимов работы агрегата:
 1 – энергетическое средство; 2 – винт измельчителя; 3 – вал винта; 4 – стелестой;
 L_b – длина вала винта; t_b – шаг винтов; t_n – шаг ножей; B – ширина захвата;
 α – угол атаки; ω_n – угловая скорость ножей

Так по двум правым составляющим можно записать:

– для пропускной способности агрегата:

$$\frac{\sum_{j=1}^n V_{\text{СТ}j}^{\text{CP}} \cdot \rho_{\text{СТ}j}^{\text{CP}}}{F_{\text{СТ}}^n} \cdot L_b \cdot \sin \alpha \cdot V_a \leq Q_a, \quad (2.3)$$

где L_b – длина вала винта СИА, м;

α – угол атаки, градус;

V_a – скорость движения агрегата, м/с;

– для определения пропускной способности СИА, кг/с:

$$\frac{\sum_{\gamma=1}^m V_{r\gamma}^H \cdot \rho_{r\gamma}^H}{F_r^p} \cdot [t_b \cdot K \cdot Z_n \cdot Z_{\text{РН}} \cdot \omega_n \cdot R_{\text{ШН}}], \quad (2.4)$$

где t_b – шаг витков шнека, м;

K – количество витков;

Z_n – число ножей;

$Z_{\text{РН}}$ – количество рядов ножей, шт.;

ω_n – угловая скорость ножей, с^{-1} ;

$R_{\text{шн}}$ – радиус шнека по концам ножей, м.

Произведение параметров, заключенных в скобки характеризует так называемую срезающе-захватывающую способность шнекового рабочего органа с ножами при взаимодействии его со стебельной массой посредством его «надвижения» со скоростью движения агрегата – V_a .

Как уже отмечалось выше СИА, обеспечивает работу в двух стадийном последовательно выполняемом режиме:

- первая стадия – стадия безопорного резания (срезание);
- вторая стадия – 2-х опорного резания.

Для первой стадии характерны три случая, согласно приведенным на рисунке 2.4 схемам *а*, *б* и *в*.

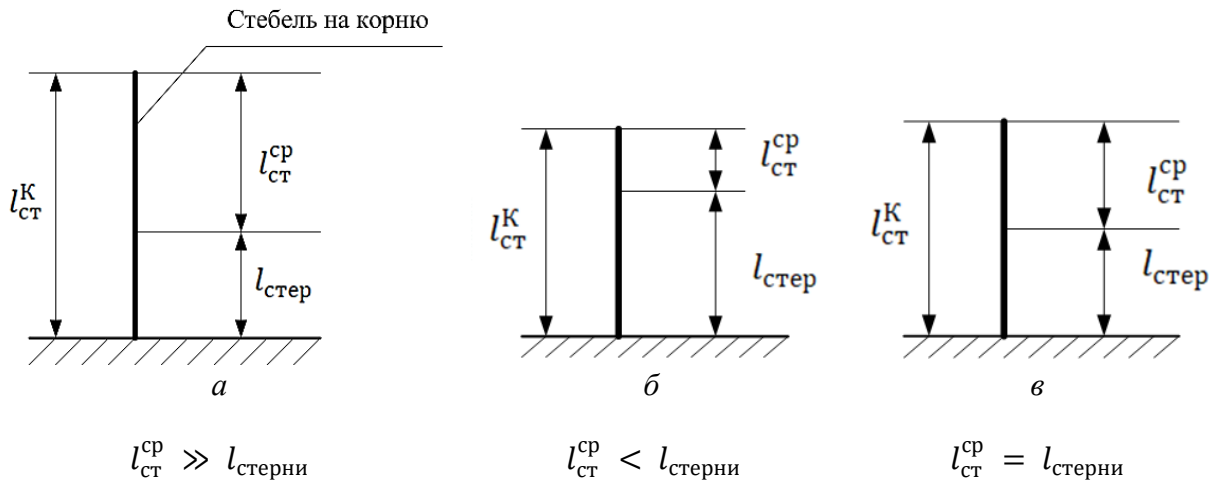


Рисунок 2.4 – Схема к анализу процесса при безопорном резании стеблей

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

$$\left. \begin{array}{l} \frac{l_{\text{ст}}^{\text{К}}}{l_{\text{стерни}}^{\text{сп}}} \gg 2 \\ \frac{l_{\text{ст}}^{\text{К}}}{l_{\text{стерни}}^{\text{сп}}} > 2 \\ \frac{l_{\text{ст}}^{\text{К}}}{l_{\text{стерни}}^{\text{сп}}} = 2 \end{array} \right\} \quad (2.5)$$

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

Для второй стадии – двухстороннего резания характерны значения показателя $\lambda_{\text{и}} \geq 2$. При этом известно, что общая степень измельчения равна их произведению на всех стадиях измельчения

$$\lambda_{\text{и}} = \lambda_1 \cdot \lambda_2. \quad (2.6)$$

Варьировать степень измельчения на первой стадии, возможно путем уменьшения шага ножей на витках шнека, а также изменением угловой скорости шнека.

Однако, второй путь приводит к изменению показателя кинематического режима $\lambda_{\text{к}}$ работы СИА в составе агрегата.

Для обеспечения значения параметра – λ_2 запишем следующее условие:

$$Q_{\text{а}} \leq Q_{\text{СИА}}, \quad (2.7)$$

Приравнивая правую и левую части (2.7) имеем

$$L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot V_{\text{а}} \cdot k_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}}^{\text{cp}} \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{cp}} = 0,16 \cdot k_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot F_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot l_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot \rho_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot Z_{\text{н}} \cdot Z_{\text{рн}}, \quad (2.8)$$

где F_{r}^{H} – площадь поперечного сечения измельченных частиц, м².

Решение данного равенства относительно параметра $Z_{\text{рн}}$ получаем:

$$Z_{\text{рн}} = \frac{2\lambda \cdot L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot V_{\text{а}} \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{cp}} \cdot k_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}}^{\text{cp}}}{k_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot F_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot l_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot \rho_{\text{r}}^{\text{H}}}. \quad (2.9)$$

Здесь $\frac{l_{\text{ст}}^{\text{cp}}}{l_{\text{r}}^{\text{H}}} = \lambda_2$ и, следовательно получим

$$\lambda_2 = \frac{0,16 \cdot Z_{\text{рн}} \cdot k_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot F_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot l_{\text{r}}^{\text{H}} \cdot \rho_{\text{r}}^{\text{H}}}{L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot V_{\text{а}} \cdot k_{\text{ст}} \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{cp}}}. \quad (2.10)$$

Для показателя кинематического режима запишем

$$\lambda_{\text{к}} = \frac{\omega_{\text{н}} \cdot R_{\text{шн}}}{V_{\text{а}}}, \quad (2.11)$$

где $R_{\text{шн}}$ – радиус шнека по концам ножей, м.

Перепишем (2.11) в виде

$$\frac{\lambda_{\text{к}}}{R_{\text{шн}}} = \frac{\omega_{\text{н}}}{V_{\text{а}}}. \quad (2.12)$$

Из равенства (2.12) имеем

$$R_{\text{шн}} = \frac{\lambda_{\text{к}} \cdot V_{\text{а}}}{\omega_{\text{н}}}. \quad (2.13)$$

В равенстве (2.10), соотношение $\omega_{\text{н}}/V_{\text{а}}$, согласно (2.12) можно заменить на $\lambda_{\text{к}}/R_{\text{шн}}$ с учетом того что $\rho_r^{\text{н}} = \rho_{\text{ст}}^{\text{сп}}$ и, тогда

$$\lambda_2 = \frac{0,16 \cdot Z_{\text{рн}} \cdot k_r^{\text{н}} \cdot F_r^{\text{н}} \cdot \lambda_{\text{к}}}{L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot k_{\text{ст}} \cdot R_{\text{шн}}}. \quad (2.14)$$

Анализ данного выражения показывает, что параметры λ_2 и $\lambda_{\text{к}}$ связаны между собой.

Для параметра $Z_{\text{рн}}$ также можно записать, что

$$Z_{\text{рн}} = \frac{2\lambda \cdot R_{\text{шн}}}{t_{\text{н}}}, \quad (2.15)$$

где $t_{\text{н}}$ – шаг между ножами по витку шнека.

Из (2.15) получаем

$$t_{\text{н}} = \frac{2\lambda \cdot R_{\text{шн}}}{Z_{\text{рн}}}. \quad (2.16)$$

С учетом (2.9) выражений (2.16) и (2.12) запишется

$$t_{\text{н}} = \frac{2\lambda \cdot R_{\text{шн}} \cdot l_r^{\text{н}} \cdot k_r^{\text{н}} \cdot F_r^{\text{н}} \cdot \omega_{\text{н}}}{2\lambda \cdot L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot V_{\text{а}} \cdot k_{\text{ст}} \cdot l_{\text{ст}}^{\text{сп}}}, \quad (2.17)$$

где $\frac{\omega_{\text{н}}}{V_{\text{а}}} = \frac{\lambda_2}{R_{\text{шн}}}$, а $\frac{l_r^{\text{н}}}{l_{\text{ст}}^{\text{сп}}} = \frac{1}{\lambda_2}$ и тогда

$$t_{\text{н}} = \frac{k_r^{\text{н}} \cdot F_r^{\text{н}} \cdot \lambda_{\text{к}}}{L_{\text{в}} \cdot \sin \alpha \cdot k_{\text{ст}} \cdot \lambda_2}. \quad (2.18)$$

Как следует из (2.18) значения параметра t_H зависят от соотношения λ_K/λ_2 .

В соответствии с (2.6), (2.14) и (2.15) можно записать

$$\lambda_{и} = \lambda_1 \cdot \frac{4\lambda^2 \cdot k_r^H \cdot F_r^H \cdot \lambda_K}{L_B \cdot \sin \alpha \cdot k_{ст} \cdot t_H}. \quad (2.19)$$

Зависимость (2.19) устанавливает связь общей степени измельчения $\lambda_{и}$ с показателем кинематического режима λ_K .

Таким образом, в результате теоретического анализа установлено, что существуют зависимости, характеризующие связь технологических и конструктивно-режимных факторов.

Важным и определяющим параметром при этом является исходная высота и густота стеблестоя, подлежащего срезанию в диапазоне длины стебля (рисунок 2.4).

$$l_{ст_i}^K - l_{стерни_i} = l_{ст_i}^{cp}, \quad (2.20)$$

где $l_{стерни_i}$ – высота среза стебля, которая является нормируемым параметром, значения которого определяются агротребованиями на высоту среза $[H_{ср}]$, м – $l_{стерни} \leq [H_{ср}]$.

При этой связи, высота срезаемой части стеблей – $l_{ст}^{cp}$ существенно зависит от высоты стеблей на корню – $l_{ст}^K$, значения которой в массиве растений, имеет определенный спектр колебаний случайного характера, относительно их размещения на поверхности почвы (поля).

Вполне очевидно, что случайный характер колебаний оказывает влияние на качественные и энергетические показатели работы агрегата и срезающе-измельчающего аппарата и, в частности на конечную длину частиц – l_r^H . $l_r^H = [l_r]$.

Соответственно, через значения данного показателя накладываются ограничения на показатель степени измельчения – $\lambda_{и}$.

Взаимосвязь данных параметров, прямо или непосредственно представлена зависимостями (2.8), (2.9), (2.10), (2.14), (2.17), 2.18) и (2.19).

Анализ данных выражений показывает, что также существует функциональная связь и между показателями $\lambda_{и}$ и $\lambda_{к}$, которую установим, используя следующий подход.

Как известно [2] дисперсия, характеризующая разброс значений длины – $l_{r_i}^H$, полученных в результате принятой трансформации определяется по формуле:

$$D = \frac{\sum (l_{r_i}^H - l_{r_{cp}}) \cdot q_i}{\sum q_i} = [D], \quad (2.21)$$

где q_i – масса частиц каждой фракции;

$\sum q_i$ – масса фракций.

При этом, оценка приводится по значениям коэффициента вариации

$$[v] = \frac{100 [D]^{0,5}}{l_{r_{cp}}^H}, \quad (2.22)$$

откуда следует, что

$$v = 100 \cdot \frac{\sum \Delta l_i \cdot q_i}{[l_{r_{cp}}^H] \sum q_i} = [v] \quad (2.23)$$

и тогда

$$l_{r_{cp}}^H = 100 \cdot \frac{\sum \Delta l_i^H \cdot q_i}{\sum q_i [v]} = [l_{Пср}^H]. \quad (2.24)$$

В тоже время, как установлено ранее

$$\lambda_{и} = \frac{l_{ст}^K - [H_{cp}]}{[l_{r_{cp}}^H]} = [\lambda_{и}] \quad (2.25)$$

и соответственно,

$$[l_{r_{cp}}^H] = \frac{\{l_{ст}^K - [H_{cp}]\}}{[\lambda_{и}]} \quad (2.26)$$

Совместное решение (2.25) и (2.24) дает выражение:

$$[\lambda_{и}] = \frac{\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} \sum q_i \cdot [v]}{100 \cdot \sum \Delta l_r^н \cdot q_i}. \quad (2.27)$$

С учетом выражения (2.19) имеем, что

$$\lambda_{к} = \frac{0,0063[\lambda_{и}] \cdot L_{в} \cdot \sin \alpha \cdot t_{н}}{k_r^н \cdot F_r^н \cdot \lambda_1} \quad (2.28)$$

или:

$$\lambda_{к} = \frac{0,000063 \{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} \sum q_i \cdot [v] \cdot L_{в} \cdot \sin \alpha \cdot t_{н}}{k_r^н \cdot F_r^н \cdot \sum \Delta l_r^н \cdot q_i \cdot \lambda_1}. \quad (2.29)$$

Таким образом, подход от обратного позволил выйти на возможность установления рекомендуемых значений показателей на разработки и проектирования $\lambda_{и}$ и $\lambda_{к}$ через известный нормируемый – $[v]$, %, равный, согласно агрегированиям – 15 %.

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

На рисунке 2.5 представлены зависимости

$$l_{рст}^н = f(\lambda_{и}) \text{ при}$$

$$\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} = l_{ст}^{ср} = 230 \text{ мм.}$$

Анализ данной зависимости показывает, что длину $[l_{рст}^н] = 0-120$ мм можно получить при значениях $\lambda_{и} = 2-4$ ед. Однако, в допустимый интервал 0–120 мм должно попасть по требованиям, 85 % частиц из общей массы принятой пробы учитывая, данный факт и вероятностный характер условий работы полевого агрегата следует сузить диапазон значений в интервале, например, $\lambda_{и} = 3-4$ ед. Данные значения позволяют в тоже время увеличить значе-

ния такого параметра, как $\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\}$ почти в два раза – до 420 мм, при котором $l_{ст}^н \leq 120$ мм составит $\lambda_{и} = 3,5$ ед., однако при этом следует учитывать, что увеличение $\lambda_{и}$ приводит к увеличению затрат энергии.

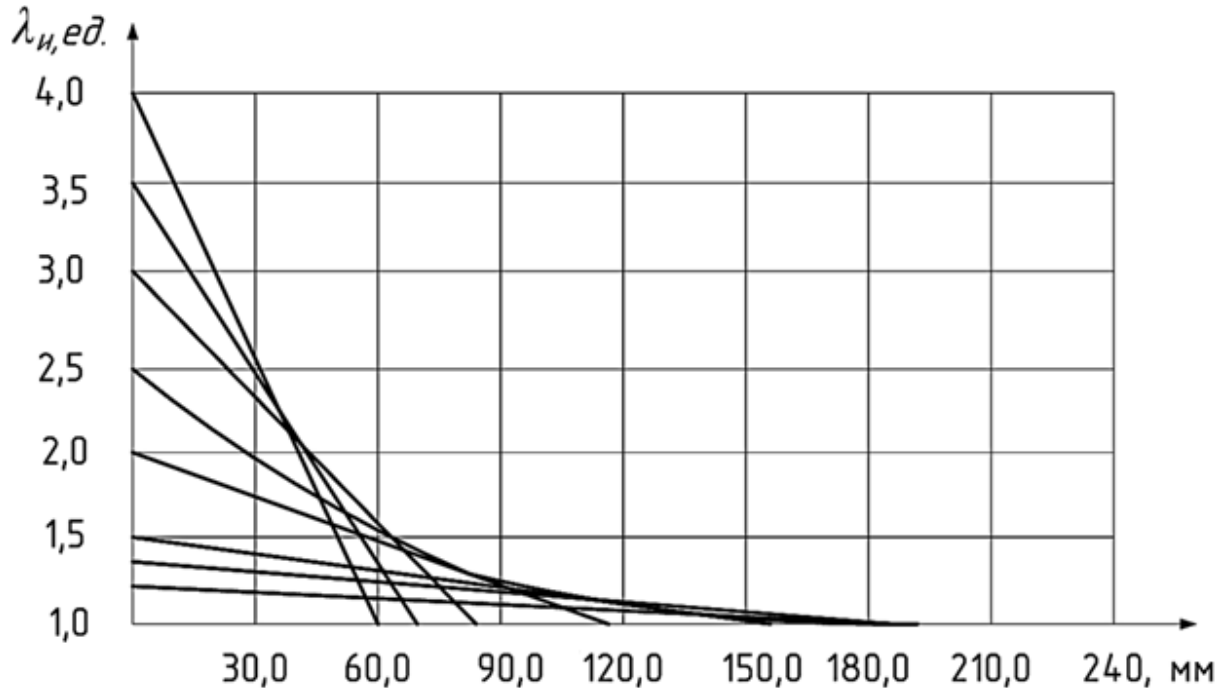


Рисунок 2.5 – К анализу зависимости $l_{ст}^н = f(\lambda_{и})$ при $\{l_{ст}^к - [H_{ср}]\} = l_{ст}^{ср} = 230$ мм

В то же время, установлено, что существует зависимость между параметрами в виде соотношения:

$$C = \frac{\lambda_{и}}{\lambda_{к}}, \quad (2.30)$$

в связи, с чем необходимо определить исходные и область возможных значений данного параметра.

На рисунке 2.6 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:

$$5 < \lambda_{к} < 6,125.$$

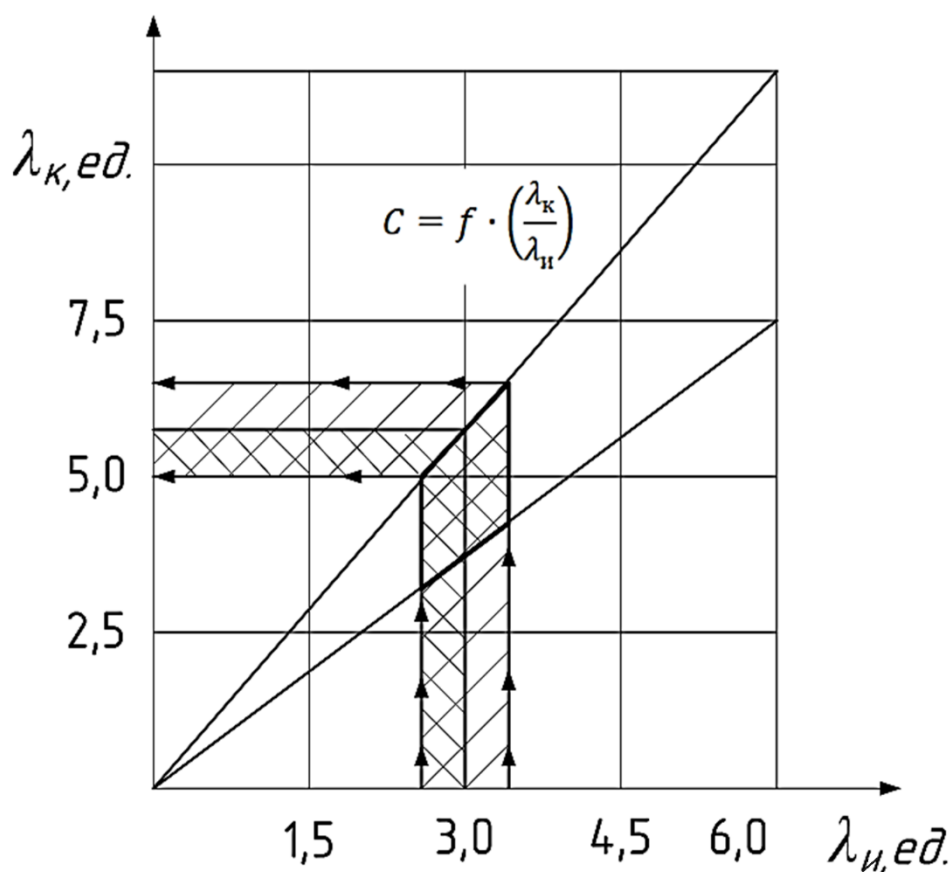


Рисунок 2.6 – Теоретическая зависимость, характеризующая соотношение – $C = \lambda_k/\lambda_n$, для установления их значений на стадии проектирования



– область прогнозируемых оптимальных значений показателей λ_n и λ_k



– область скорректированных значений параметров

Последующие расчеты, проведенные в соответствии с установленными зависимостями в виде формул (2.19), (2.12), (2.13), (2.15) и (2.16) позволили сузить диапазон принятых ранее значений:

$$\left. \begin{array}{l} 3,6 > \lambda_n > 3,0 \\ 5,5 > \lambda_k > 5,0 \end{array} \right\} \quad (2.31)$$

Однако, для установления оптимальных значений данных параметров необходимо проведение экспериментальных исследований.

Знание этих значений позволяет посредством полученных выше, в результате теоретических исследований, расчетных формул определить конструктивно-режимные параметры полевого агрегата с СИА, а также через их значения – мощность привода и пропускную способность.

2.2 Теоретические исследования по обоснованию режимов и параметров работы срезающе-измельчающего аппарата в составе полевого агрегата

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

$$k_{\text{гст}} = \frac{F_{\text{ст}}}{F}, \quad (2.32)$$

где $F_{\text{ст}}$ – площадь, занимаемая определенным количеством стеблей, м²;

F – площадь, занимаемая стеблями, с учетом расстояния между ними, м².

В качестве второго фактора следует выделить высоту стеблей на корню $l_{\text{ст}}^{\text{к}}$.

Связь данных параметров поля с агрегатом прослеживается наглядно, согласно рисунку 2.7.

Связь агрегата, с убираемой стебельной массой характеризуется следующей зависимостью

$$k_{\text{гст}} \cdot L_i \cdot (l_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot H_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot V_a = Q_{ai}, \quad (2.33)$$

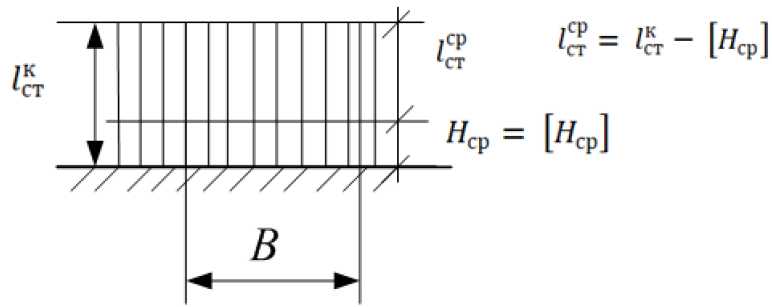
где L_i – длина участка, захватываемого агрегатом при i -м значении V_a , м/с,

согласно рисунку 2.7;

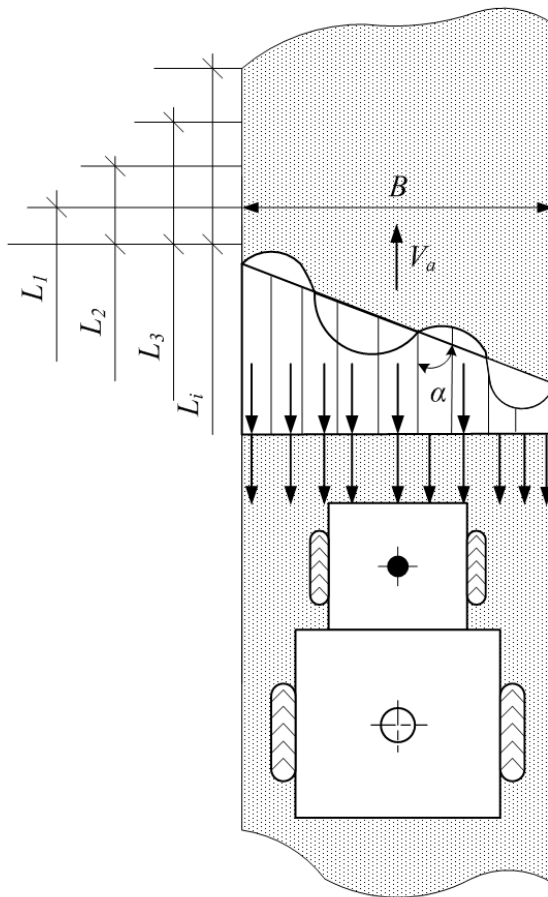
Q_{ai} – производительность агрегата, кг/с.

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

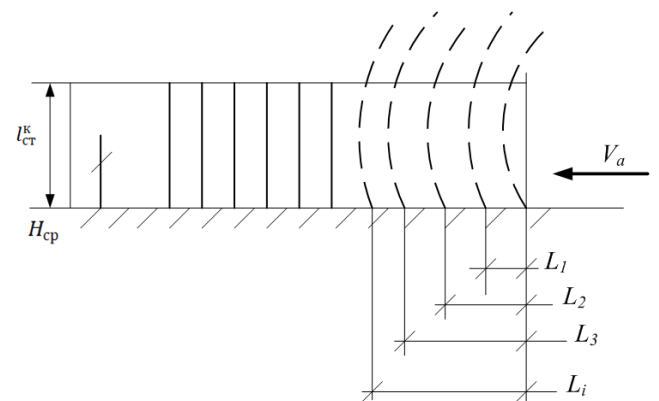
$$Q_a \leq Q_{\text{СИА}}. \quad (2.34)$$



a



б



б

Рисунок 2.7 – Схема к обоснованию параметров сопряженных элементов «поле – агрегат»

Анализ рабочего процесса СИА показал (рисунок 2.4), что он имеет ряд специфических особенностей, основной из которых является, так называемый, безподпорный срез вертикально стоящего стебля, который посредством корневой системы связан с почвой (рисунок 2.4). Данный 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.

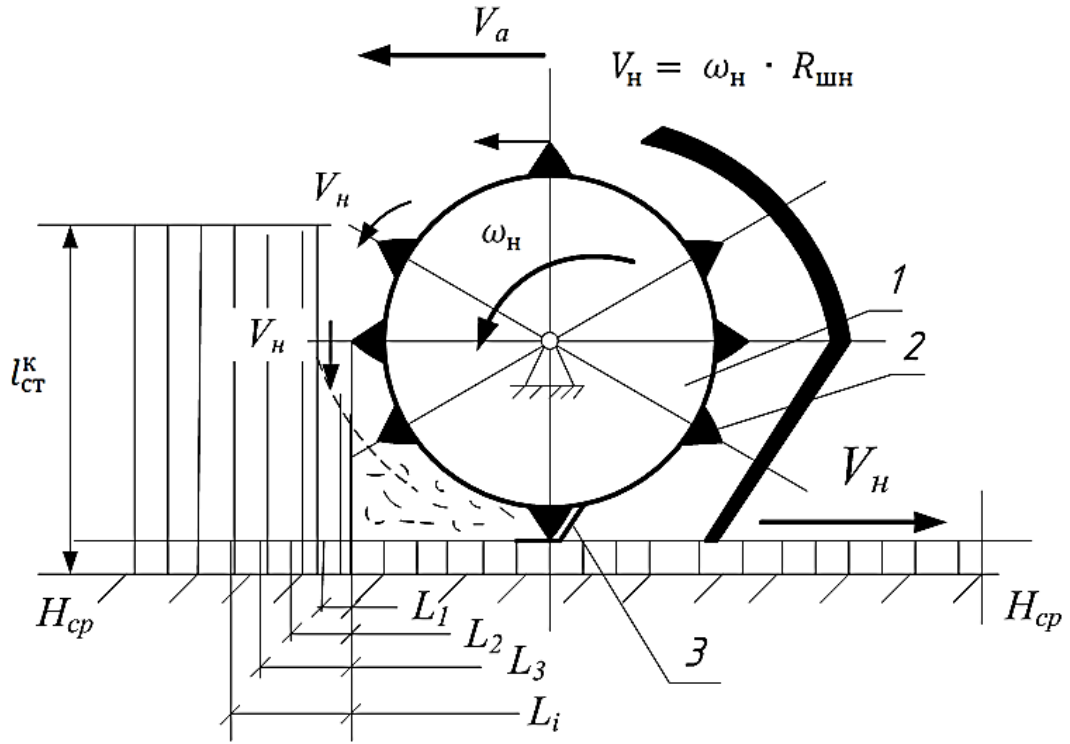


Рисунок 2.8 – Схема к обоснованию параметров СИА:

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

Пропускная способность СИА должна отвечать условию

$$Q_{\text{СИА}} \leq Q_{\text{СУ}} \leq Q_{\text{ИУ}}. \quad (2.35)$$

При этом, имеем, что

$$k_{\text{ГСМ}} \cdot L_i \cdot (l_{\text{СТ}}^{\text{К}} - H_{\text{СР}}) \cdot \rho_{\text{СТ}}^{\text{К}} \cdot V_{\text{а}_i} \leq \frac{k_{\text{СТ}}^{\text{К}} \cdot B_{\text{Ш}} \cdot L_i \cdot (l_{\text{СТ}}^{\text{К}} - H_{\text{СР}}) \cdot \rho_{\text{СТ}}^{\text{К}}}{t_{\text{дв.а}_i}}, \quad (2.36)$$

где $t_{\text{дв.а}_i}$ – время движения агрегата, равное $t_{\text{дв.а}_i} = L_i \cdot V_{\text{а}_i}$.

Анализ данного выражения показывает, что составляющая $(l_{\text{СТ}}^{\text{К}} - H_{\text{СР}})$, с учетом показателя $k_{\text{ГСМ}}$, является тем параметром, который в существенной степени зависит от вероятности его среза ножом. Следовательно, для достижения полной вероятности среза всех стеблей на принятом участке длиной L_i

необходимо оценить вероятность взаимодействия каждого из стеблей с ножом.

Таким образом, вопрос заключается в правильном выборе количества ножей, размещенных на шнеке с определенным шагом. В свою очередь, число ножей Z_H и их шаг связаны с режимом работы агрегата посредством параметра $-\lambda_K$.

Данную задачу можно решить, используя следующий метод.

При рассмотрении взаимодействия стеблей, размещенных в рядках или условных рядках (камыш, кустарник) и ножей, размещенных по винтовой линии шнека с определенным шагом (в проекции на поверхность поля) возникает потребность к оценке необходимых и достаточных условий по интенсивности такого взаимодействия.

Для описания данного процесса примем, что количество стеблей во всех рядках по ширине захвата агрегата B (рисунок 2.3) равно $-M_1$, а количество ножей по длине винтовой линии, с учетом захватности витков по длине режущего аппарата (может быть от одного до четырех), равно $-M_2$, на площади $B \cdot L_a$, где L_a – путь проходимый агрегатом за время $-\Delta t_i$.

Определим количество стеблей $-Z_1$ через какой-то промежуток времени работы агрегата $-T$, а число ножей, обеспечивших срез Z_2 . Оценим возможность взаимодействия стеблей и ножей за малый промежуток времени $-\Delta t$. Количественное изменение числа стеблей $-\Delta Z_1$, определяется их срезом (случайная величина). За промежуток времени, равный $-\Delta t_i$, каждый из ножей $-Z_2$, обеспечивает $X_2 \cdot \Delta t$ фактических срезов, где $X_2 = \xi \cdot \rho_2$ – средняя интенсивность появления ножей в области нахождения в области нахождения стеблей в единицу времени (ножей/с), а ρ_2 – вероятность среза конкретным ножом конкретного стебля из всего их множества в рядке на элементарной площади ΔS и ξ – число ножей за t .

В этой связи имеем равенство,

$$\Delta Z_1 = -X_2 \cdot Z_2 \cdot \Delta t, \quad (2.37)$$

а его дифференциальное уравнение может быть представлено как

$$\frac{dZ_1}{dt} = -X_2 \cdot Z_2. \quad (2.38)$$

По аналогии имеем также, что

$$\frac{dZ_2}{dt} = -X_1 \cdot Z_1. \quad (2.39)$$

Это система дифференциальных уравнений при начальных условиях $Z_1(0) = M_1$ и $Z_2(0) = M_2$.

Дифференцирование и соответствующая замена дают следующее уравнение:

$$\frac{d^2Z_1}{dt^2} = X_1 \cdot X_2 \cdot Z_1. \quad (2.40)$$

Общим решением данного уравнения является

$$Z_1 = C_1 \exp \sqrt{X_1 \cdot X_2} \cdot T + C_2 \exp(-\sqrt{X_1 \cdot X_2} \cdot T). \quad (2.41)$$

При использовании гиперболических функций, имеем

$$Z_1 = C_3 ch \cdot [(X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T] + C_4 sh \cdot [(X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T]. \quad (2.42)$$

На основании дифференцирования получаем, что

$$\begin{aligned} Z_2 = & -C_3 \cdot \left(\frac{X_1}{X_2}\right)^{0,5} \cdot sh \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T - \\ & - C_4 \cdot \left(\frac{X_1}{X_2}\right)^{0,5} \cdot ch \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T. \end{aligned} \quad (2.43)$$

При принятых выше начальных условиях определим значения постоянных:

$$\left. \begin{aligned} C_3 &= M_1, \\ C_4 &= -\left(\frac{X_2}{X_1}\right)^{0,5} \cdot M_2 \end{aligned} \right\} \quad (2.44)$$

На основании этого можно записать, что

$$Z_1 = M_1 \cdot ch \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T - M_2 \cdot \left(\frac{X_1}{X_2}\right)^{0,5} \cdot sh \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T. \quad (2.45)$$

$$Z_2 = -M_1 \cdot \left(\frac{X_1}{X_2}\right)^{0,5} sh \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T + M_2 ch \cdot (X_1 \cdot X_2)^{0,5} \cdot T. \quad (2.46)$$

Для упрощения данных зависимостей перейдем от абсолютных значений к относительным, через их доли:

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1 &= \frac{Z_1}{M_1}; \\ \Psi_2 &= \frac{Z_2}{M_2} \end{aligned} \right\}. \quad (2.47)$$

Разделив правые и левые части уравнений (2.38) и (2.39) на M_1 и M_2 , получим

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_1}{dt} &= -X_2 \cdot \frac{M_2}{M_1} \cdot \Psi_2; \\ \frac{d\Psi_2}{dt} &= -X_1 \cdot \frac{M_1}{M_2} \cdot \Psi_1 \end{aligned} \right\}. \quad (2.48)$$

Интегрирование уравнений системы (2.48) при $\Psi_1 = \Psi_2 = 1$ и $T = 0$ с заменой

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= X_1 \cdot \frac{M_1}{M_2}; \\ \gamma_2 &= X_2 \cdot \frac{M_2}{M_1} \end{aligned} \right\}. \quad (2.49)$$

В результате этого получим, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\Psi_1}{d\Psi} &= -\gamma_2 \cdot \Psi_2; \\ \frac{d\Psi_2}{d\Psi} &= -\gamma_1 \cdot \Psi_1 \end{aligned} \right\}. \quad (2.50)$$

Физический смысл γ_1 и γ_2 состоит в том, что они показывают интенсивность взаимодействия какого-то количества ножей срезающе-измельчающего аппарата с каким-то количеством стеблей на определенных участке, определенной площади, за промежуток времени, равный Δt_i с определенной вероятностью – ρ_2 . Данный факт подтверждается тем, что взаимодействие стеблей и одиночных (зерновые) и разветвленных (трава, камыш, кустарники) с ножами СИА осуществляется по траектории имеющей характер циклоидальной кривой.

Решение системы уравнений (2.50) путем замены переменных, дает следующие зависимости

$$\left. \begin{aligned} \Psi_1 &= ch \cdot (\gamma_1 \cdot \gamma_2)^{0,5} \cdot T - \left(\frac{\gamma_2}{\gamma_1}\right)^{0,5} \cdot sh \cdot (\gamma_1 \cdot \gamma_2)^{0,5} \cdot T; \\ \Psi_2 &= ch \cdot (\gamma_1 \cdot \gamma_2)^{0,5} \cdot T - \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)^{0,5} \cdot sh \cdot (\gamma_1 \cdot \gamma_2)^{0,5} \cdot T \end{aligned} \right\} \quad (2.53)$$

Введя новую переменную, в виде приведенного времени – t' , равного

$t' = (\gamma_1 \cdot \gamma_2) \cdot T$, и приняв $\left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2}\right)^{0,5} = \varphi$, имеем:

$$\left. \begin{aligned} \gamma_1 &= ch \cdot t' - \varphi^{-1} \cdot sht'; \\ \gamma_2 &= ch \cdot t' - \varphi \cdot sht' \end{aligned} \right\} \quad (2.54)$$

При значении параметра $\varphi = 1$ не происходит среза у 50 % стеблей, так как ножи работают по схеме, представленной на рисунке 2.9 а, т. е. $\lambda_k = 1$.

При значении $\varphi = 1$

$$\Psi_1 = \Psi_2 = e^{-t'}. \quad (2.55)$$

При значениях $\varphi > 1$, интенсивность воздействия ножей на стебли более высокая и, при этом, $\lambda_k > 1$, а поэтому через определенное время Δt все стебли на определенной площади – $S_{уп}$, не равной общей площади среза стеблей, будут срезаны и перемещены к неподвижным ножам.

Примем количество ножей – $Z_n = 50$ шт., которые взаимодействуют со стеблями в зависимости от показателя – λ_k , интенсивностью 0,25 срезов в секунду с вероятностью среза стеблей, например, $\rho_1 = 0,56$.

Примем, что в рядке на принимаемой длине – L_1 , 25 стеблей, с их условной интенсивностью не попадания под нож и с вероятностью их попадания под нож $\rho_2 = 0,5$.

Определим значения коэффициентов Ψ_1 и Ψ_2

$$\Psi_1 = \frac{0,25 \cdot 0,56 \cdot 50}{25} = 0,28.$$

$$\Psi_2 = \frac{0,5 \cdot 0,5 \cdot 25}{50} = 0,125.$$

Имеем, что и в этом случае ножами будут срезано большее количество стеблей, чем не срезанное.

Определим значения параметра – t'

$$t' = (0,28 \cdot 0,125)^{0,5} \cdot T = 0,187 \cdot T$$

и параметра – φ

$$\varphi = \left(\frac{0,28}{0,125} \right)^{0,5} \approx 1,5.$$

В момент завершения принятого процесса взаимодействия ножей и стеблей $\Psi_2 = 0$ и. тогда

$$cht' - \varphi cht' = 0, \text{ откуда}$$

$tnt' = \frac{1}{\Psi} = \frac{1}{1,5} = 0,667$. Согласно таблицы значений $tn t' = 0,8$, что соответствует $T = 256,8$ секунды.

Определим долю стеблей, при принятых данных, которые остались не срезанными.

Для этого вначале определим параметр Ψ_1 .

$$\Psi_1 = ch \cdot 0,8 - 0,667 \cdot sh \cdot 0,8 = 1,337 - 0,667 \cdot 0,881 = 1,337 - 0,585 = 0,752.$$

$$\text{Откуда имеем, что } \Psi_2 = 1 - 0,752 = 0,248.$$

Таким образом, можно заключить, что при принятых значениях – φ количество не срезанных стеблей составит 24,8 %.

Путем перебора вариантов с количеством ножей – Z_n , их количеством в рядах и количество рядов – $Z_{рн}$, определяющих захватность винтового шнека, а так же варьируя значениями шага – t_n между ножами и шагом витков шнека – t_b , с учетом показателя режима – λ_k можно выйти на значение $\Psi_2 \approx 0$.

При этом, как установлено ранее, взаимодействие лезвия ножа со стеблем происходит по схеме, аналогичной принципу работы мотовила зерноуборочного комбайна.

Известно также, что в основе этого принципа лежит совокупность двух одновременно выполняемых движений поступательного – со стороны агрегата – V_a и вращательного – V_n , со стороны шнека.

В результате этого, траекторией движения точки, находящейся на лезвии ножа является удлиненная циклоида – трахоида.

В свою очередь, особенностью данного вида траектории является наличие в ее конфигурации, так называемой петли (рисунок 2.9). Значения параметров данной петли обусловлены значениями режимных параметров V_a и V_n , а так же их соотношением в виде показателя кинематического режима, который равен:

$$\lambda_k = \frac{V_n}{V_a} = \frac{\omega_n \cdot R_{шн}}{V_a}. \quad (2.56)$$

Согласно рисунку 2.9 б перемещение агрегата при каком-то значении λ_k за один оборот шнека составит

$$L_{a_i} = V_{a_i} \cdot t_{a_i}, \quad (2.57)$$

где t_{a_i} – время движения полевого агрегата.

При известных L_{a_i} и $V_{a_i} = \omega_n \cdot R_{шн}$ время движения t_{a_i} составит:

$$t_{a_i} = \frac{L_{a_i}}{\omega_n} \cdot R_{шн}. \quad (2.58)$$

При этом расстояние между точками входа двух соседних ножей в стелестой равно:

$$L_{Z_n} = \frac{L_a}{Z_n} = \frac{2\pi \cdot R_n}{(\lambda_k \cdot Z_n)}, \quad (2.59)$$

где R_n – радиус по концу ножа;

Z_n – число ножей, проходящих по одному следу (зависит от заходности шнека (винта); (зная L_Z , можно найти – λ_k).

– Угол поворота ножа, соответствующий т. А (рисунок 2.9 б)

$$\omega t_{гр} = \arcsin \frac{V_a}{V_n}; \quad (2.60)$$

– Ширина петли удлиненной циклоиды

$$X' = 2R_{\text{шн}} \cdot \cos \omega t - V_a \cdot t_a = 2R_{\text{шн}} \left[\cos \omega t - \left(\frac{\pi}{2} - \omega t \right) \cdot \lambda_k^{-1} \right]. \quad (2.61)$$

Зная X' находим λ_k .

– Общее количество ножей $Z_{\text{он}}$ при количестве заходов винта $Z_{\text{зн}}$ равно, согласно рисунку 2.10:

$$Z_{\text{он}} = Z_{\text{вн}} \cdot Z_{\text{зн}}, \quad (2.62)$$

где $Z_{\text{вн}}$ – число ножей, расположенных по одному винту;

или

$$Z_{\text{он}} = \frac{B_{\text{ш}} \cdot \cos \alpha \cdot Z_{\text{зн}}}{t_{\text{н}}}. \quad (2.63)$$

С учетом приведенного теоретического анализа, в соответствии с (2.34) и (2.35) можно записать

$$Q_{\text{су}} = k_{\text{гст}} \cdot B_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ст}}^{\Gamma} \cdot (l_{\text{ст}}^{\text{к}} - H_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot V_a, \quad (2.64)$$

где $k_{\text{ст}}^{\Gamma}$ – количество захватываемых стеблей, шт.

Нам известно, что

$$V_a = \frac{V_{\text{н}}}{\lambda_k}, \quad (2.65)$$

по этому

$$Q_{\text{су}} = \frac{k_{\text{ст}}^{\Gamma} \cdot B_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot (l_{\text{ст}}^{\text{к}} - H_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot V_{\text{он}}}{\lambda_k} \quad (2.66)$$

или

$$Q_{\text{су}} = \frac{k_{\text{ст}}^{\Gamma} \cdot B_{\text{ш}} \cdot k_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot (l_{\text{ст}}^{\text{к}} - H_{\text{ср}}) \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{к}} \cdot \omega_{\text{н}} \cdot R_{\text{шн}}}{\lambda_k}, \quad (2.67)$$

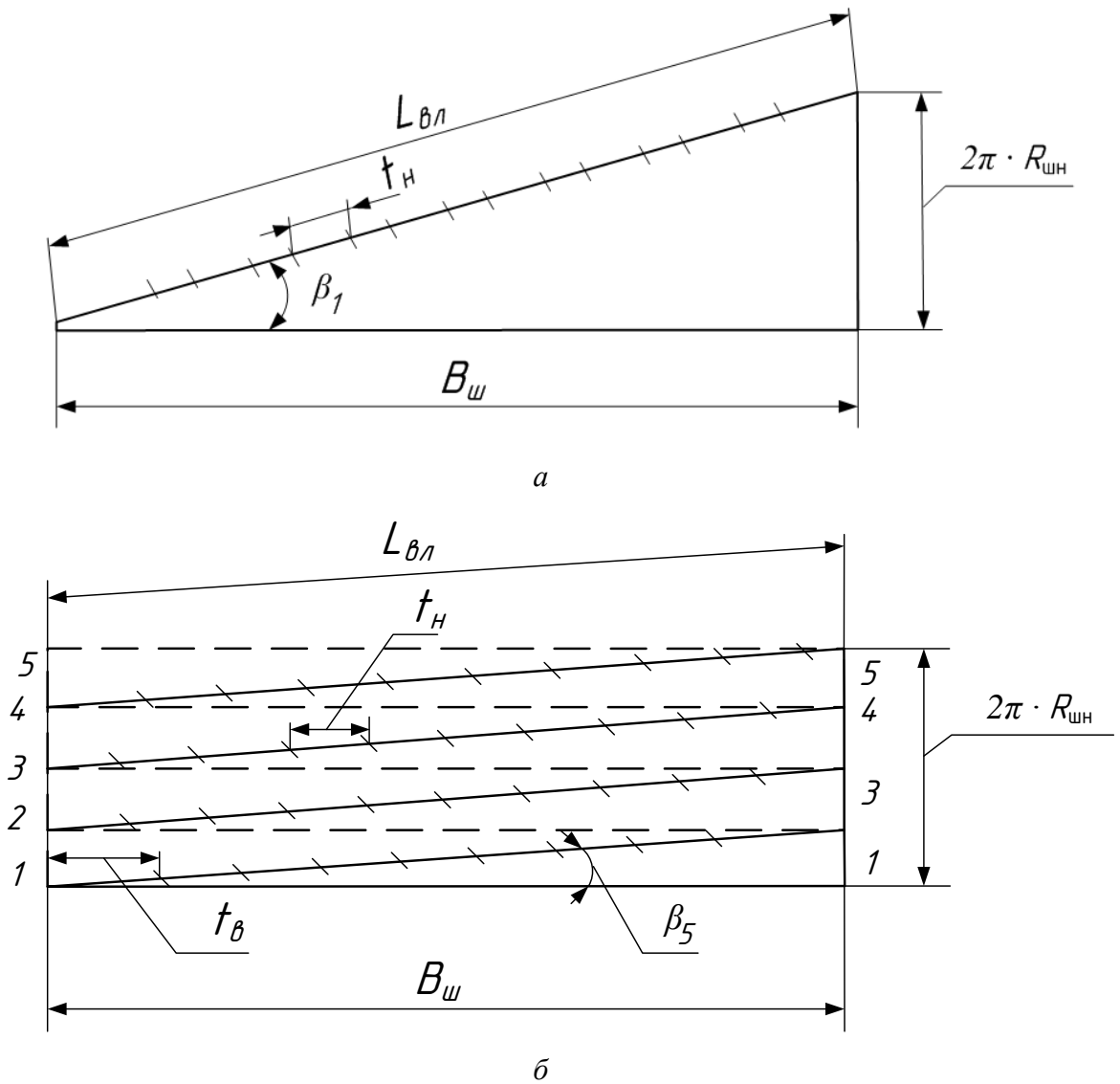


Рисунок 2.10 – Схема к определению числа ножей для одно- (а) и пяти-(б) заходных винтов:

$L_{в\lambda}$ – раздвижка винта; $B_{ш}$ – длина вала шнека;
 $R_{в\lambda}$ – радиус по винту; t_H – шаг ножей; β – угол наклона винта

На рисунке 2.11 представлен график зависимости $V_a = f \cdot (\omega_H \cdot R_{шн})$ при различных значениях λ_k .

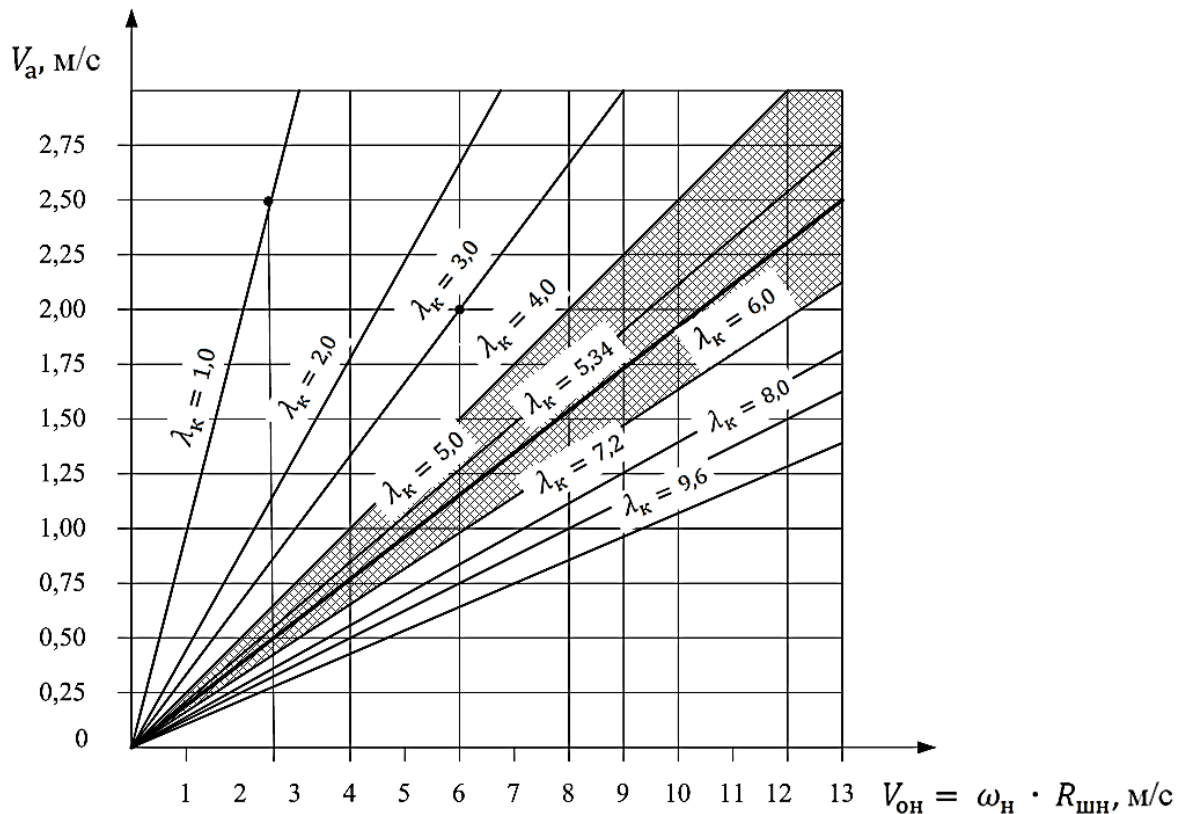


Рисунок 2.11 – К анализу зависимости, характеризующей значения показателя кинематического режима λ_k от параметров V_a и $\omega_n \cdot R_{шн}$

Анализ представленных зависимостей показывает, что $V_{он} = V_a$ и $\lambda_k = 1$ – укороченная циклоида, при $V_{он} > V_a$, $\lambda_k > 1$ – удлиненная циклоида.

При этом, ранее (рисунок 2.6) был установлен диапазон для λ_k – $5 < \lambda_k < 6,125$ с учетом степени измельчения $\lambda_n = 3-4$.

В этой связи, область оптимальных значений λ_k определяется заштрихованной поверхностью. В пределах этой области следует определиться со значениями таких параметров как – ω_n и $R_{шн}$, а также V_a , что возможно сделать только на основании проведенного эксперимента.

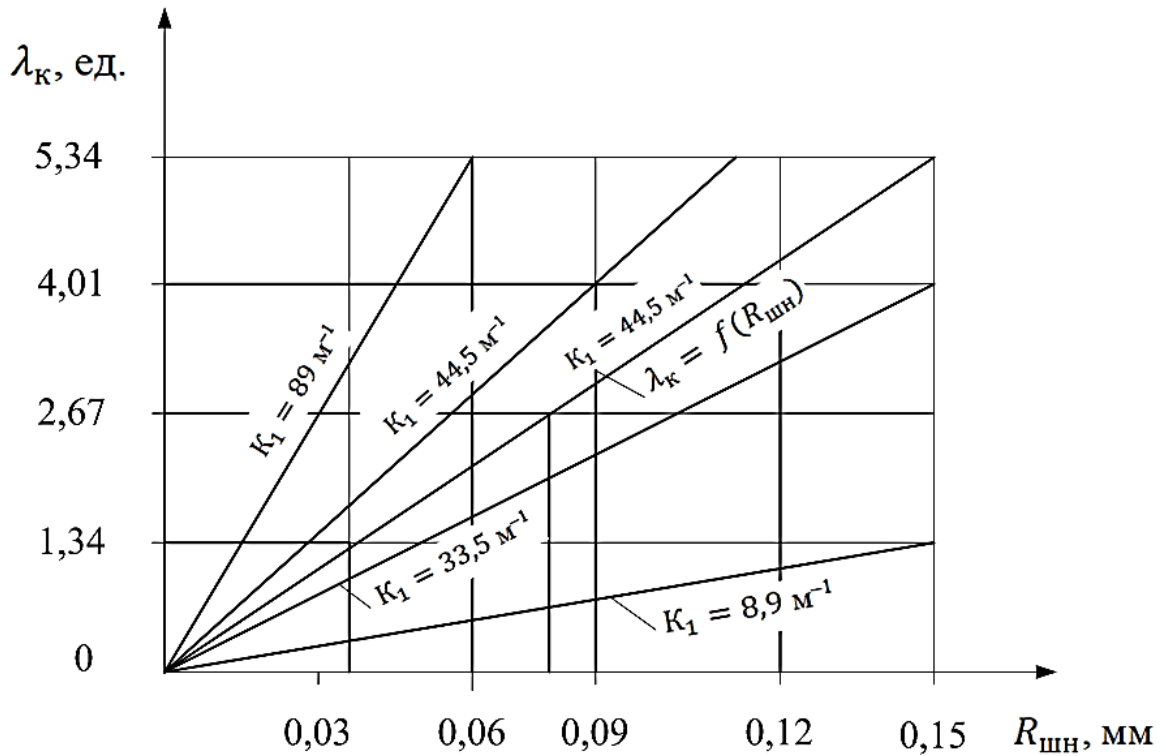


Рисунок 2.12 – Зависимости показателя λ_k от $R_{\text{шн}}$
при различных $\frac{\omega_n}{V_a} = \frac{K_1}{\text{м}^{-1}}$

В соответствии с условием (2.34) имеем, что

$$Q_{\text{иу}} \geq Q_{\text{су}}. \quad (2.68)$$

При этом, рабочий процесс ИУ характеризуется тем, что к неподвижно закреплённым ножам L-образной формы подаются пучки стеблей с длиной срезаемых стеблей

$$k_{\text{ст}}^k \cdot l_{\text{ст}}^{\text{ср}} \leq (l_{\text{ст}}^k - H_{\text{ср}}) \cdot R_{\text{ст}}^{\Gamma} \quad (2.69)$$

с помощью шнека с ножами.

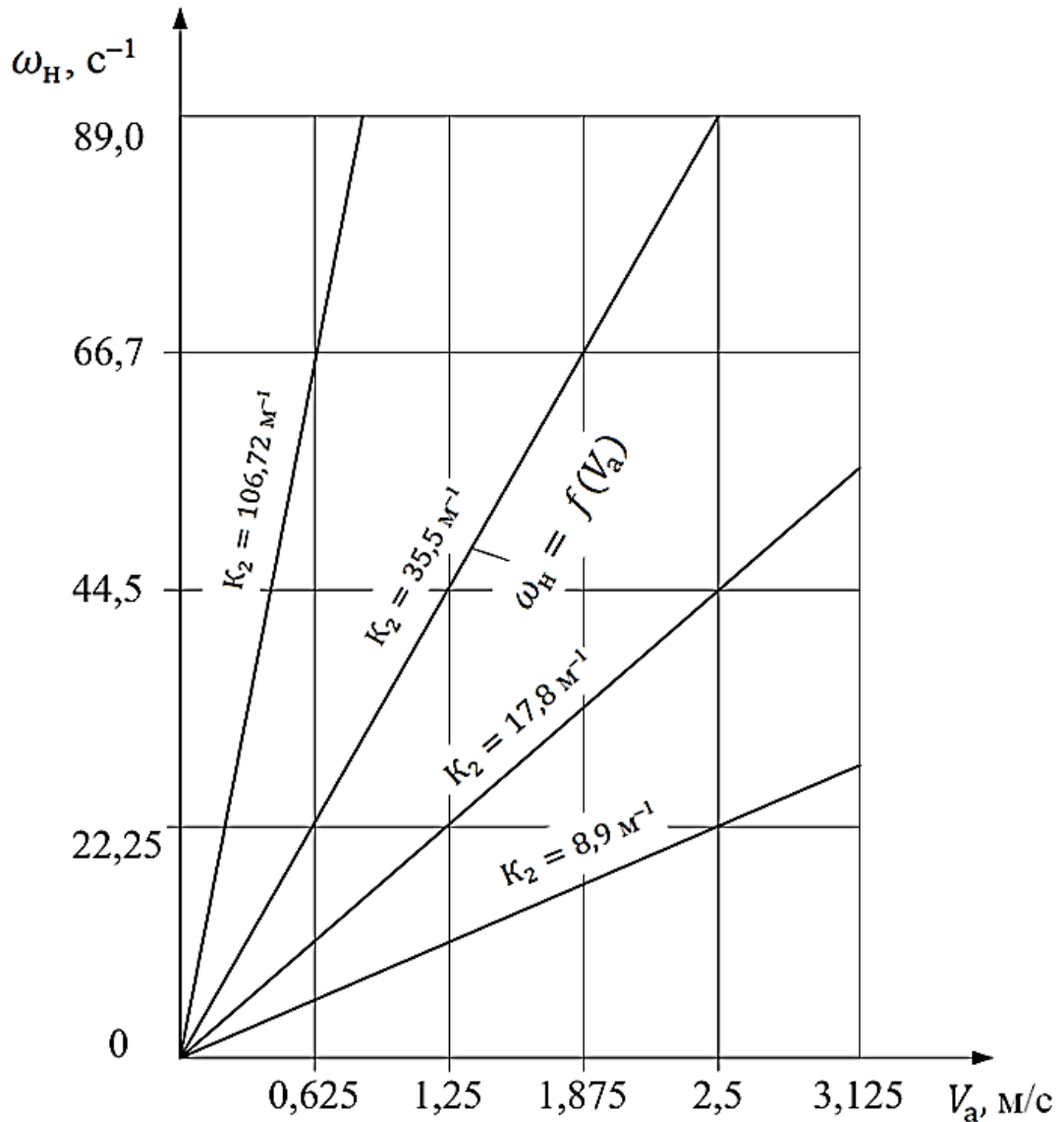


Рисунок 2.13 – Зависимости угловой скорости ножа шнека – ω_H, c^{-1} от параметра – $V_a, m/s$ при различных значениях $K_2 = \frac{\lambda_K}{R_{шн}}, M^{-1}$

На рисунке 2.14 б показана площадь разреза пучка равная:

$S_{\Delta} = S_{\Delta 1} + S_{\Delta 2}$ при $S_{\Delta 1} = S_{\Delta 2}$, заданном $\angle \xi = 150^{\circ}$ и соответственно,

$\angle \gamma < \gamma_1 < \gamma_2 = 15^{\circ}$ длина ножа шнека $l_{лн} = a$ и $h_{\Delta} = 0,5 \cdot \cos \gamma$

или $h_{\Delta} = 0,5 l_{лн} \cdot \cos \gamma$.

При этом, $S_{\Delta 1} = 0,5 h_{\Delta} \cdot 0,5 l_{лн} = 0,25 l_{лн}^2 \cdot \cos \gamma$, а $S_{\Delta 2} = 0,5 l_{лн}^2 \cdot \cos \gamma$.

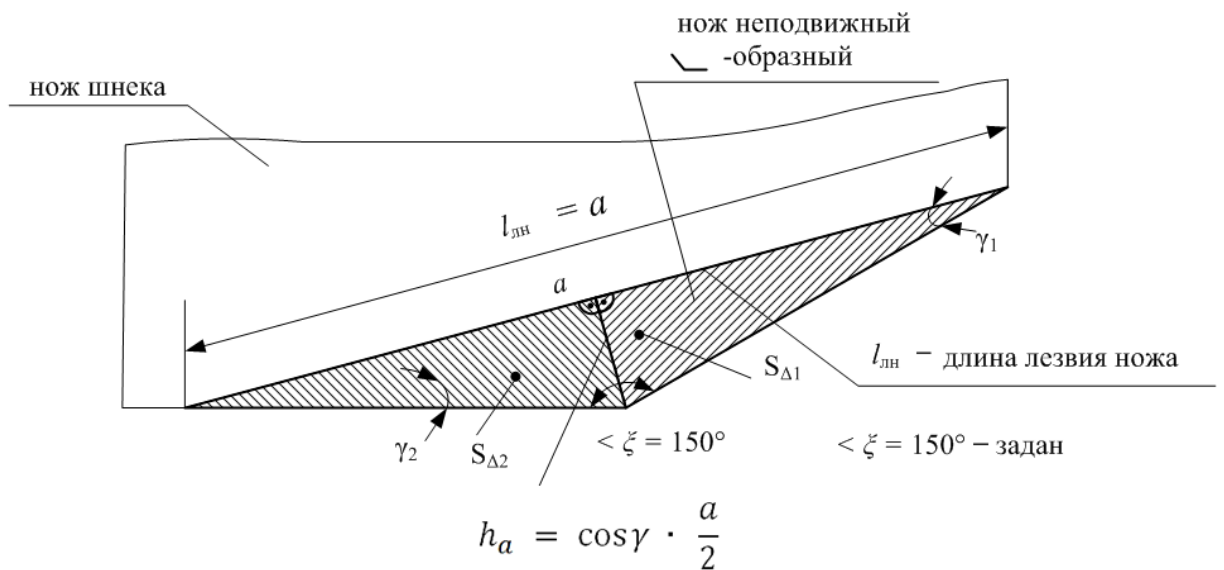
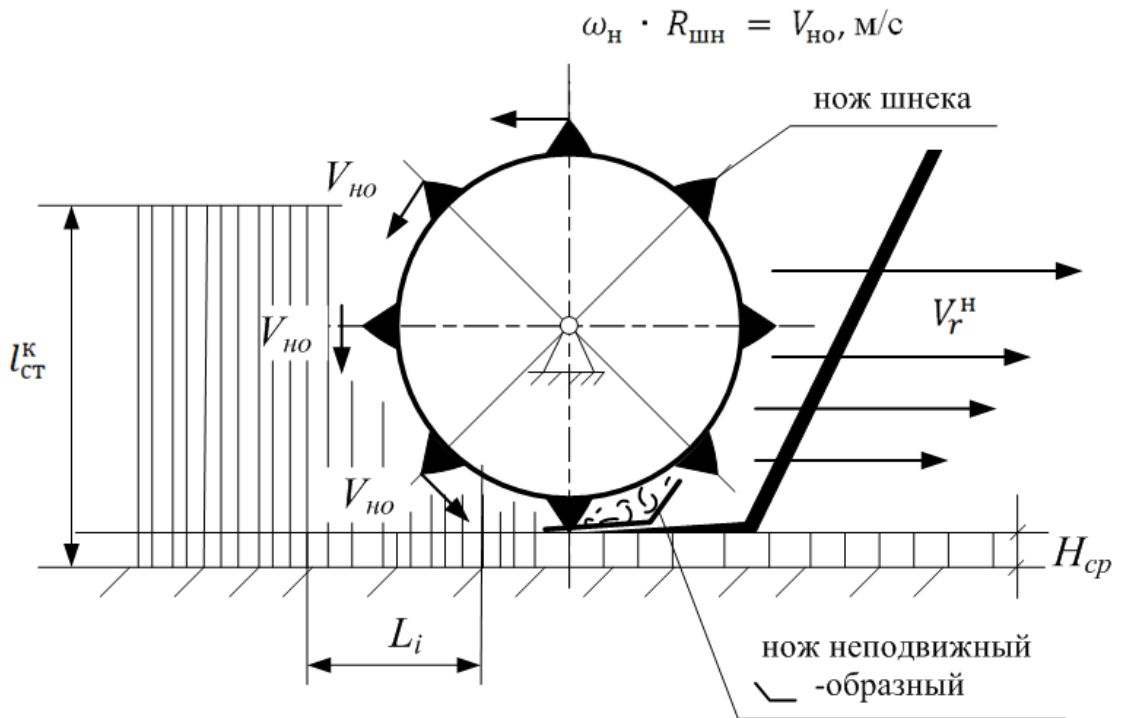


Рисунок 2.14 – Схема к определению параметров ИА:

a – период подачи пучка; b – период «защемления» пучка между двумя L-образными ножами

Объем пучка, при этом составит $V_{\text{п}} = t_{\text{н}_2} \cdot S_{\Delta}$, а масса – $M_{\text{п}}$, с учетом степени его уплотнения, до значения – $\rho_{\text{ст}}^{\text{п}}$

$$M_{\text{п}} = 0,5 l_{\text{лн}}^2 \cdot \cos \gamma \cdot t_{\text{н}_2} \cdot \rho_{\text{ст}}^{\text{п}}. \quad (2.70)$$

Тогда пропускная способность ИУ, с учетом приведенного определяется как:

$$Q_{\text{ИУ}} = \frac{0,5 l_{\text{ЛН}}^2 \cdot \cos \gamma \cdot t_{\text{Н}_2} \cdot \rho_{\text{СТ}}^{\text{П}} \cdot \omega_{\text{Н}}}{2\pi} = 0,08 \cdot l_{\text{ЛН}}^2 \cdot \cos \gamma \cdot t_{\text{Н}_2} \cdot \rho_{\text{СТ}}^{\text{П}} \cdot \omega_{\text{Н}}. \quad (2.71)$$

Задаваясь значением $Q_{\text{ИУ}}$ можно определить параметры $l_{\text{ЛН}}$ и $t_{\text{Н}_2}$.

Процесс трансформации стеблей в частицы требуемого размера $l_{\text{СТ}}^{\text{СР}} = (l_{\text{СТ}}^{\text{К}} \cdot H_{\text{СР}}) \rightarrow [l_{\text{СТ}}^{\text{Н}}]$.

С точки зрения затрат энергии рассмотрим в рамках срезания стеблей (рисунок 2.15) и их последующего измельчения в ИУ.

На рисунке 2.15 приведена схема к обоснованию повышения эффективности срезающей способности срезающе-измельчающего аппарата, путем установки, регулируемого в вертикальной и горизонтальной плоскостях бруса-гребенки, как одна из многочисленно возможных.

Использование данной схемы возможно и целесообразно при наличии условия $l_{\text{СТ}}^{\text{Н}} \leq [l_{\text{СТ}}^{\text{Н}}]$.

Для установления зависимостей, характеризующих затраты энергии на осуществление процесса дезинтеграции стеблей, запишем уравнение баланса

$$A_{\text{изм.о.}} \cong U_{\text{разр.о.}}, \quad (2.72)$$

где $A_{\text{изм.о.}}$ – общая работа, связанная с дезинтеграцией стеблей, Дж;

$U_{\text{разр.о.}}$ – общая потенциальная энергия, препятствующая разрушению стеблей, Дж.

Первая часть равенства (2.71) предусматривает учет потенциальной энергии на сопротивление деформации и среза (излома) стеблей – U_1 , U_2 , а также на их разрушение U_3 , U_4 .

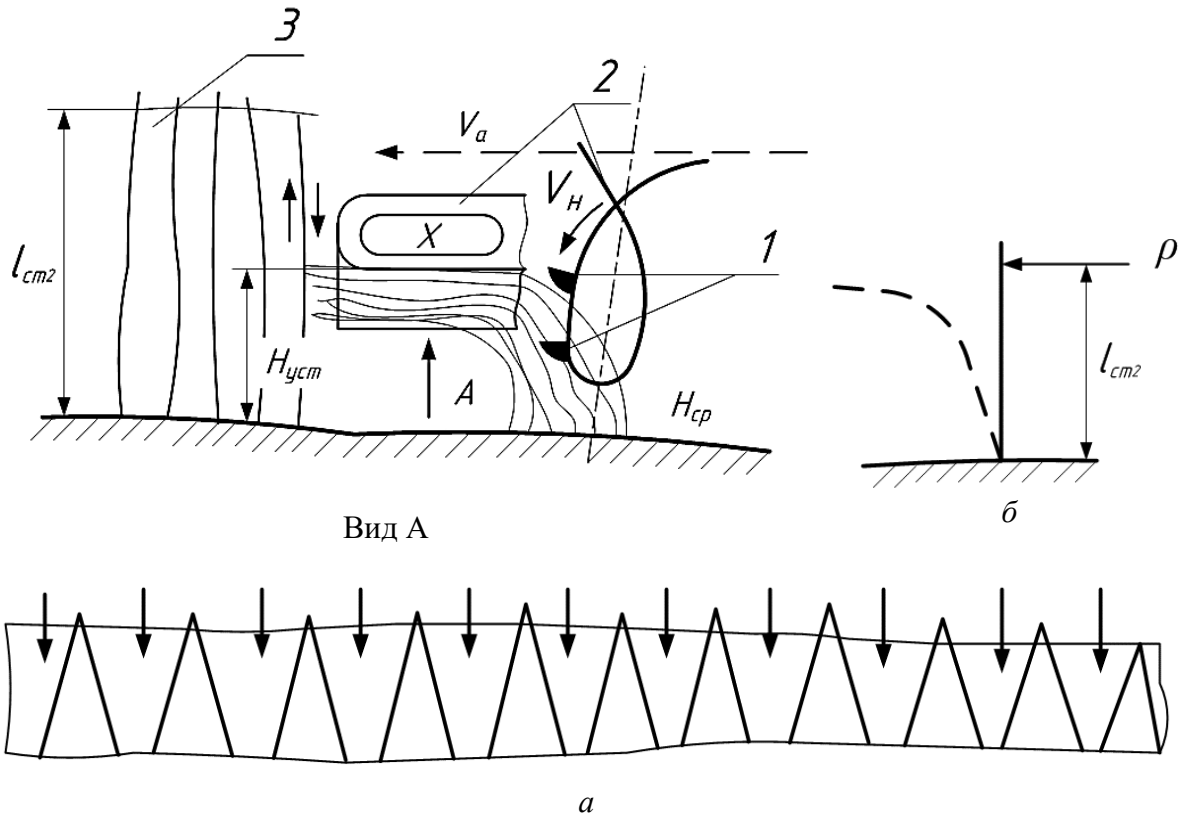


Рисунок 2.15 – Схема к обоснованию способа повышения эффективности срезающей способности ножей (а) и расчету затрат на деформацию (б):

1 – ножи; 2 – брус-гребенка; 3 – стебли после воздействия

Согласно рабочему процессу агрегата (рисунок 2.15), в первоначальный момент стебли, как консольно закрепленная балка, за счет воздействия на них СИА испытывают деформацию изгиба с максимальным прогибом – Y_{max} , равным [57]

$$Y_{max} = \frac{P \cdot l_{ст}^3}{3EJ}, \quad (2.73)$$

где P – сила, действующая на стебель, Н (рисунок 2.15 б);

$l_{ст}$ – длина стебля;

E – модуль упругости (модуль Юнга, Н/м² (Па));

J – момент инерции сечения стебля, м⁴;

EJ – жесткость стебля при изгибе.

В то же время для потенциальной энергии деформации [57] в нашем случае (рисунок 2.15 б) имеем

$$U = \frac{P^2 \cdot l_{\text{ст}}^3}{6EJ}. \quad (2.74)$$

Решая совместно уравнения (2.72) и (2.73), получаем

$$U_1 = \frac{k_{\text{ст}} \cdot P \cdot Y_{\text{max}}}{2} \cong A_{\text{деф1}}, \quad (2.75)$$

где $A_{\text{деф1}}$ – работа, связанная с деформацией стебля (ей), Дж.

С учетом данных, полученных профессором С. В. Мельниковым [67], можно записать

$$\frac{k_{\text{ст}} \cdot P \cdot Y_{\text{max}}}{2} = C_1 \cdot \lg \lambda_1^3 \cdot Q_{\text{су}} \cdot t_{\text{ср}}, \quad (2.76)$$

где C_1 – эмпирический коэффициент, Дж/кг;

$t_{\text{ср}}$ – время срезания стеблей, равное $\frac{1}{\omega_{\text{н}}} \cdot Z_{\text{рн}}$.

Потенциальная энергия разрушения стебля (ей), после их деформации вследствие его (их) излома (так как чистый срез не присутствует) будет равна [67]

$$U_2 = \frac{W_{\text{изг.}}^2 \cdot \sigma_{\text{в}}^2 \cdot l_{\text{ст}}}{2EJ}, \quad (2.77)$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – направление разрушения в стебле, Н/м².

Приняв, что

$$\frac{W_{\text{изг.}}}{J} = \frac{1}{R_{\text{ст}}}, \quad (2.78)$$

где $R_{\text{ст}}$ – радиус поперечного сечения стебля в месте его разрушения (среза – излома),

имеем:

$$U_2 = \frac{W_{\text{изг.}} \cdot \sigma_{\text{в}}^2 \cdot Y_{\text{max}}}{2E} \cdot \frac{1}{R_{\text{ст}}} \cong A_{\text{р2}}, \quad (2.79)$$

где $A_{\text{р2}}$ – работа, связанная с процессом разрушения стебля (ей), Дж.

С учетом данных, полученных профессором С. В. Мельниковым [67], в правой части можно записать

$$\frac{1}{R_{ст}} \cdot \frac{W_{изг.} \cdot \sigma_B^2 \cdot Y_{max}}{2E} \cong C_2 (\lambda_{U_1} - 1) Q_{су} \cdot t_{ср}, \quad (2.80)$$

где C_2 – эмпирический коэффициент, Дж/кг;

λ_{U_1} – степень дезинтеграции (измельчения) на первой ступени.

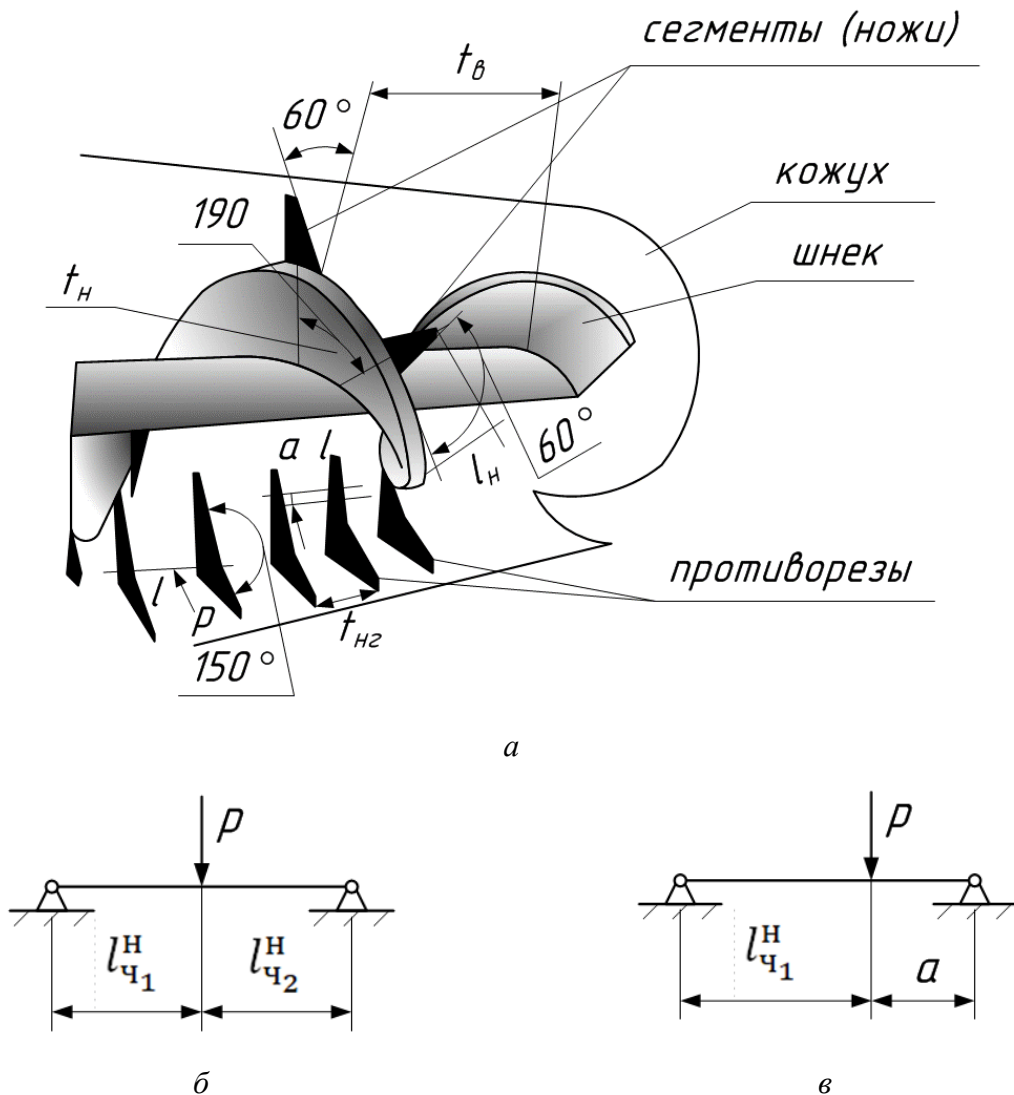


Рисунок 2.16 – Схема к обоснованию затрат на работу измельчителя (а) и расчетные схемы: (б) – при $l_{ч1}^H = l_{ч2}^H$ и (в) – при $l_{ч1}^H \neq a$

Для второй стадии дезинтеграции (рисунок 2.16) путем использования в устройстве L-образных противорезов, установленных с шагом, равным t_{H_2} , потенциальную энергию деформации через значение максимального прогиба [57]

$$Y_{max} = \frac{P \cdot (l_{ст}^{cp})^3}{48 \cdot EJ}, \quad (2.81)$$

где $l_{ст}^{cp}$ – длина частицы, получаемая после первого разрушения, м.

$$-l_{ч}^и = [l_{ч}^и], \text{ где } [l_{ч}^и] \text{ – длина в соответствии с агротребованиями.}$$

Тогда потенциальная энергия деформации стебля (ей) длиной $l_{ч}$, как опертой на двух опорах балки (рисунок 2.16 б)

$$U_3 = 8 \cdot P \cdot Y_{max} \cdot R_{ч} \cong A_{деф_3}, \quad (2.82)$$

где $R_{ч}$ – число частиц длиной $l_{ч}$.

Для случая (рисунок 2.16 в) имеем, что

$$U'_3 = \frac{P \cdot (l_{чн}^н)^4 \cdot Y_{max}}{2a^2(l_{ч1}^н - a)^2} \cong A'_{деф_3}. \quad (2.83)$$

При этом, также согласно данным [67], в отношении правой части зависимости (2.83) запишем, что

$$[8 \cdot P \cdot Y_{max} \cdot R_{ч}] = C'_1 \cdot lg\lambda_{и1}^3 \cdot Q_{иу} \cdot t_{p_2}, \quad (2.84)$$

где C'_1 – эмпирический коэффициент, Дж/кг;

$Q_{иу}$ – пропускная способность СИА на второй стадии дезинтеграции, равная Q , кг/с;

t_{p_2} – время разрушения и выброса частиц на поверхность почвы, с.

При этом, для процесса разрушения частиц стебля, аналогично равенству (2.84), можно записать

$$\frac{k_{ч}}{R_{ст}} \cdot \frac{W_{изг.} \cdot \sigma_B^2 \cdot Y_{max}}{2E} \cong C'_2 (\lambda_{U_2} - 1) Q_{иу} \cdot t_{p_2}, \quad (2.85)$$

где C'_2 – эмпирический коэффициент, Дж/кг;

λ_{U_2} – степень дезинтеграции (разрушения) на второй стадии;

t_{p_2} – время разрушения и выброса частиц, равное $\frac{2\pi}{\omega_H}$, с.

Решение уравнений (2.76), (2.80), (2.82) и (2.83) относительно параметров C_1, C_2, C'_1 и C'_2 дает:

$$C_1 = \frac{k_{ст} \cdot P \cdot Y_{max}}{2 \cdot \lg \lambda_1^3 \cdot Q_{су} \cdot t_{ср}}; \quad (2.86)$$

$$C_2 = \frac{k_{ст} \cdot W_{изг.} \cdot \sigma_B^2 \cdot Y_{max}}{2E(\lambda_{U_2} - 1)Q_{су} \cdot t_{ср}}; \quad (2.87)$$

$$C'_1 = \frac{8 \cdot k_{ч} \cdot P \cdot Y_{max}}{g \lambda_{н1}^3 \cdot Q_{иу} \cdot t_{p_2}}; \quad (2.88)$$

$$C'_2 = \frac{k_{ч} \cdot W_{изг.} \cdot \sigma_B^2 \cdot Y_{max}}{2R_{чст} \cdot E(\lambda_{U_2} - 1)Q_{иу} \cdot t_{p_2}}. \quad (2.89)$$

По своему физическому смыслу (Дж/кг) данные коэффициенты, характеризуют удельную работу деформации на первом и втором аппаратах:

$$A_{деф}^V = C_1 + C'_1 \quad (2.90)$$

и соответственно, удельную работу разрушения (чистого среза здесь нет):

$$A_{раз}^S = C_2 + C'_2. \quad (2.91)$$

В итоге мощность определяется как:

$$N = (A_{деф} + A_{раз}) \cdot \frac{Q_{на}}{\eta}, \quad (2.92)$$

где $A_{деф} = C_1 \cdot \lg \lambda_{U_1}^3 + C'_1 \cdot \lg \lambda_{U_1},$ (2.93)

а $A_{раз} = C_2(\lambda_{U_2} - 1) + C'_2(\lambda_{U_2} - 1).$ (2.94)

и η – КПД передачи.

2.3 Выводы по главе

1. Посредством разработанной формализованной модели взаимодействия элементов системы «поле – почва – стебельная масса на корнях–измельчающий агрегат» обоснована структурно-функциональная схема срезающе-измельчающего агрегата, включающего энергетическое средство и двух стадийный аппарат срезающе-измельчающего типа 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.

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

2. С учетом принятых подходов получены зависимости:

- для определения количества рядов ножей (заходов винта);
- для определения степени измельчения на второй стадии с учетом показателя кинематического режима, а также его общего значения.

3. 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 СИА получать прогнозируемые значения $\lambda_{и}$ и $\lambda_{к}$ в зависимости от исходных требований – $[v]$ и предполагаемых значениях параметров СИА при различных вариациях.

На основании графического анализа полученных зависимостей установлены примерный и скорректированный диапазон значений для $\lambda_{и}$ и $\lambda_{к}$.

Оптимальные значения данных показателей возможны только путем проведения эксперимента.

4. На основании принятого подхода, обусловленного связью параметров определяющей 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 .

На основании приведенного примера доказана методическая целесообразность его использования при расчетах и выборе числа ножей, а также – λ_k .

5. Получены аналитические зависимости, характеризующие пропускную способность срезающего устройства с учетом показателя кинематического режима.

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

Параметрические значения ключевых факторов – $\lambda_{и}$ и λ_k , входящих в установленные теоретическим путем зависимости и влияющие на выбор, являются неизвестными, в связи, с чем их необходимо определить в ходе эксперимента.

3 МЕТОДИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Лабораторная экспериментальная установка и методика исследования

Программа экспериментальных исследований включала проведение лабораторных опытов на кафедре эксплуатации и технического сервиса Кубанского ГАУ и полевые исследования в учебном парке Кубанского ГАУ (акт эксперимента в Приложение А).

Полученная полевая экспериментальная установка была апробирована и прошла производственные испытания в ООО «Агро-Империя» и ООО «Заря» Крыловского района (Приложения Б и В).

Программа лабораторных исследований предусматривала изучение среза и измельчения тонко- и толстостебельных культур на стационарной установке с определением качественных показателей среза и измельчения, а также параметров и режимов работы срезающе-измельчающего аппарата.

Программа полевых исследований предусматривала многофакторный эксперимент для обоснования рациональных параметров и режимов предложенного устройства.

Представлено описание лабораторной и полевой экспериментальных установок со срезающе-измельчающим режущим аппаратом. Проведено изучение подпорного и бесподпорного среза стеблей подсолнечника, кукурузы и камыша. В полевых условиях проведено планирование эксперимента при уборке подсолнечника.

Рассмотрим лабораторную установку срезающего аппарата, выполненную в трех вариантах для подпорного и бесподпорного резания стеблей.

Лабораторный образец содержит транспортёр 1 с регулировкой привода 8 (рисунок 3.1). Срезающе-измельчающий аппарат представлен шнеком 4 и

противорежущей пластиной 3 (вариант подпорного среза). Образец приводился от электропривода 5. Частота вращения шнека изменялась регулятором 7. Для изменения высоты расположения режущего аппарата использовался винт 6 (таблица 3.1).

В качестве режущего элемента применялись левосторонние сегменты, шаг установки которых составлял 60–480 мм (рисунок 3.2).



Рисунок 3.1 – Лабораторный образец:

- 1 – транспортёр; 2 – крепление стеблей; 3 – нож; 4 – шнек; 5 – ременной привод;
 6 – регулировка высоты режущего аппарата; 7 – регулировка оборотов шнека;
 8 – электропривод; 9 – регулировка поступательной скорости транспортера;
 10 – регулировка натяжения

Таблица 3.1 – Техническая характеристика

Показатель	Значение
$B_{\text{рез. ап.}}, \text{ см}$	65
$D_{\text{шн.}}, \text{ см}$	18
$n_{\text{шн.}}, \text{ мин}^{-1}$	0–850
$V_{\text{тр.}}, \text{ км/ч (м/с)}$	9 (2,5)
$N_{\text{вит. шн.}}, \text{ мм}$	240
$L_{\text{тр.}}, \text{ мм}$	2820



Рисунок 3.2 – Левосторонние режущие элементы

Стебли крепятся в держатели 2 на транспортер 3 с шагом и междурядьем, соответствующим культуре (рисунок 3.3).

Далее регулируется поступательная скорость транспортной ленты, высота расположения и частота вращения шнека.

Потом стебли срезаются режущими элементами.

Изучали срез и степень измельчения стеблей при подпорном и бесподпорном резании.

Далее транспортная лента приходит в первоначальное состояние со срезанными стеблями. Приводятся измерения высоты $h_{\text{ср}}$ и качества среза.

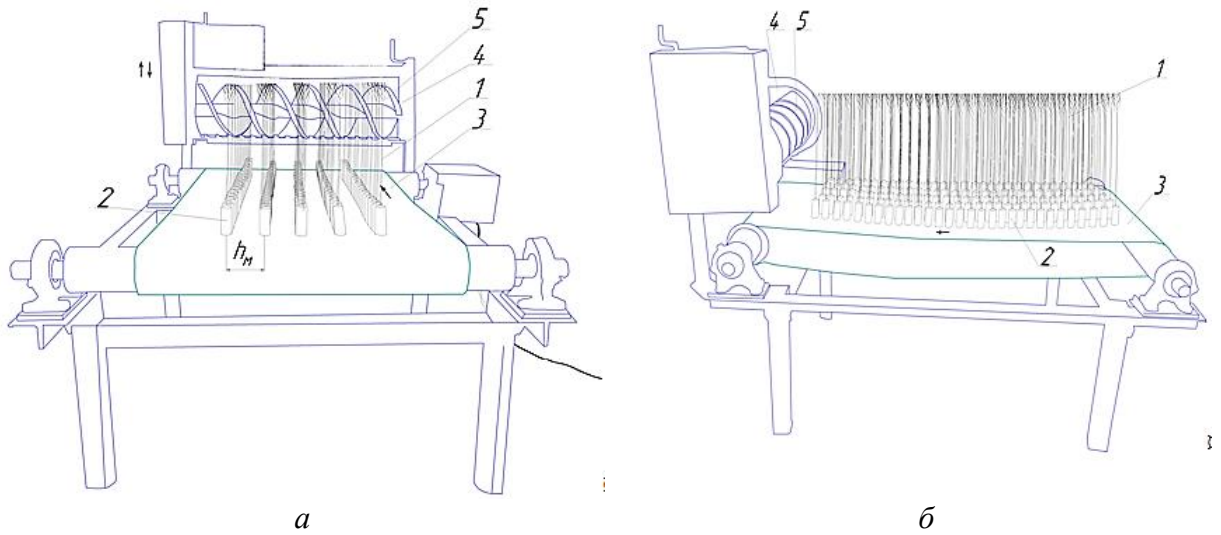


Рисунок 3.3 – Схема опытного лабораторного образца со стеблями:
a – спереди; *б* – сбоку

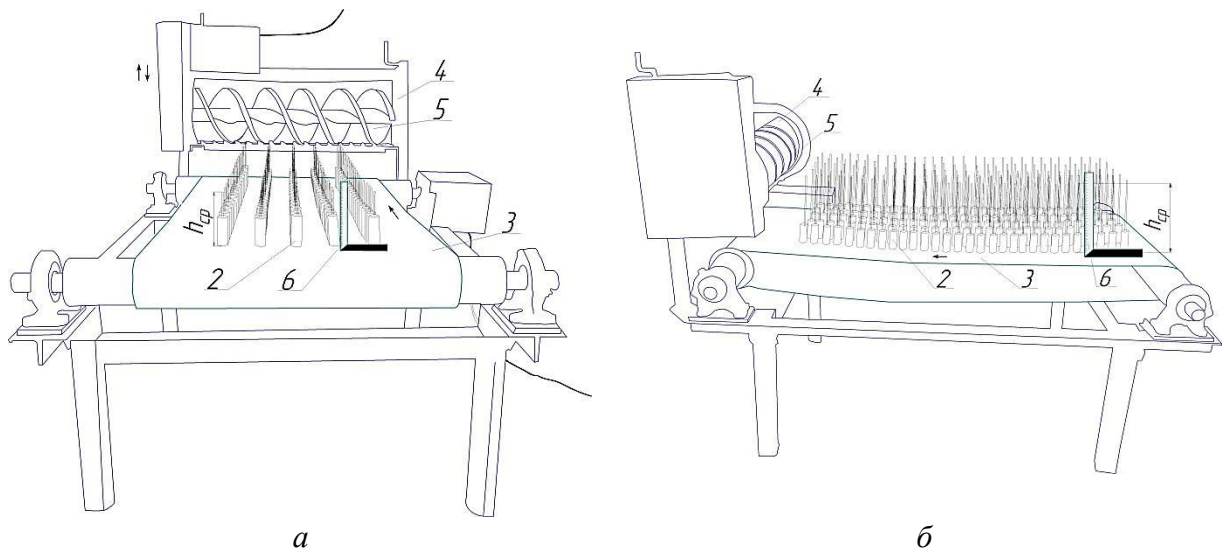


Рисунок 3.4 – Схема опытного лабораторного образца со срезанными стеблями:
a – спереди; *б* – сбоку

Регулируемые параметры для среза кукурузы принимались с учетом ранее выполненных исследований по работе [3, 6] (шаг ножей l_c – 60–480 мм, $n_{шн.}$ – 850 мин⁻¹), рисунок 3.5.

Наклон лезвий сегментов к винту (α_c) – 50° (рисунок 3.6).

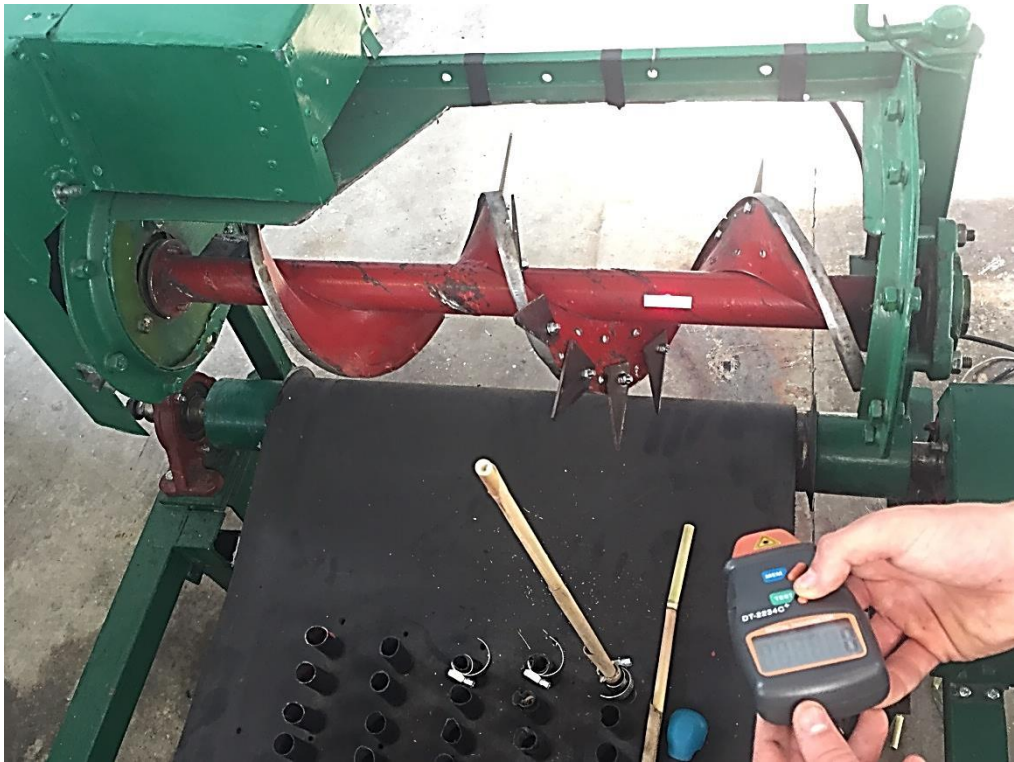


Рисунок 3.5 – Фото замера $n_{\text{шн.}}$ (тахометр DT-2234C)

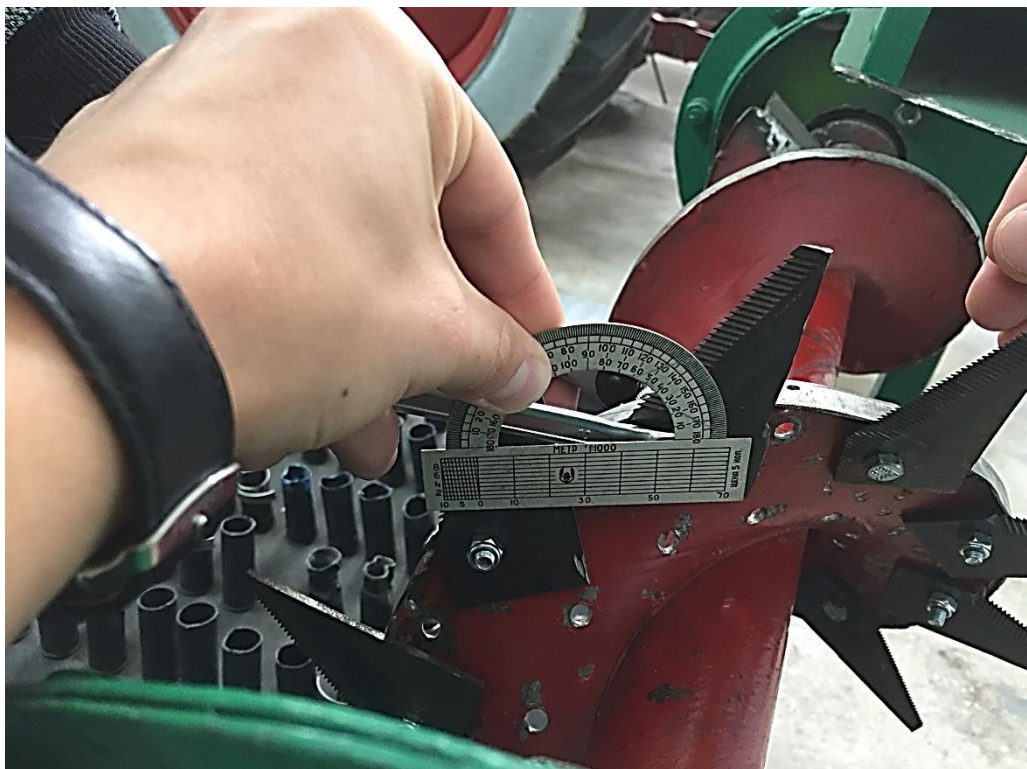


Рисунок 3.6 – Фото замера угла режущего элемента

Процесс среза фиксировался цифровой видеокамерой (рисунок 3.7).



Рисунок 3.7 – Видеофиксация среза стеблей

Таблица 3.2 – Условия эксперимента

Показатель	Значение
Культура	Кукуруза, камыш, ветки
α_c , град.	50
$n_{\text{шн.}}$, мин ⁻¹	850
l_c , мм	60–480
$l_{\text{стеб.}}$, мм	150
$h_{\text{ст.}}$, см	35
$N_{\text{ст. в ряд.}}$, ШТ.	7
$D_{\text{ст.}}$, мм	12 (кукуруза), 10 (камыш), 11 (ветки)

Вид срезанных стеблей показан на рисунке 3.8.

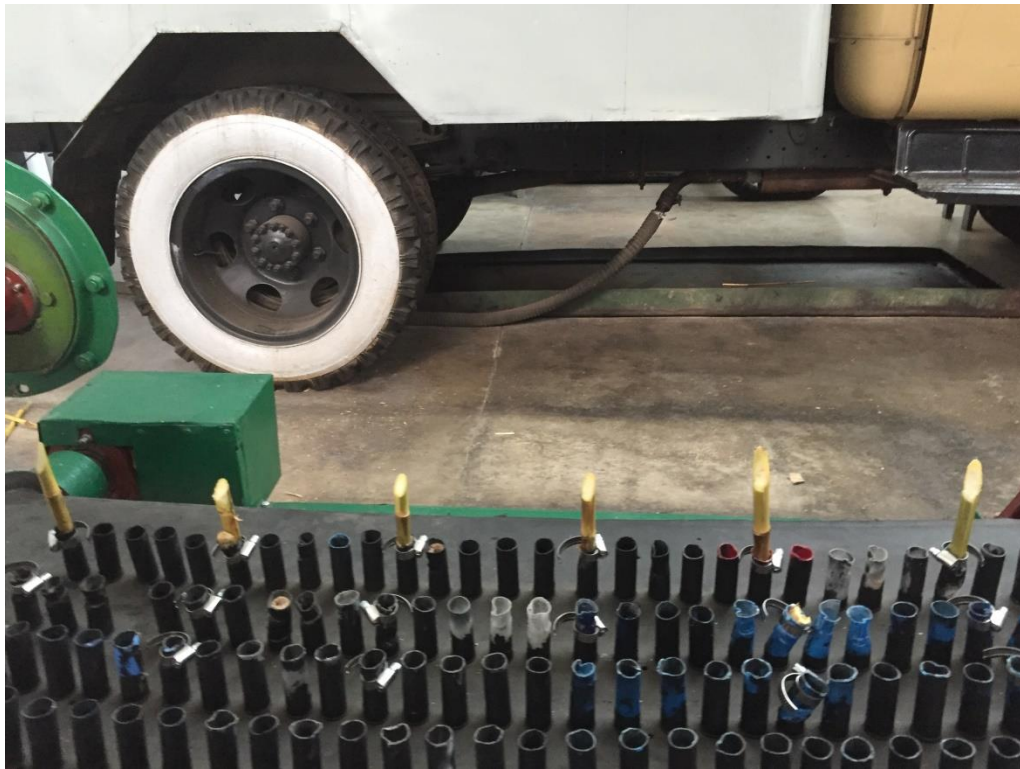


Рисунок 3.8 – Стебли после среза

После видеосъемки обрабатывали материал по кадрам при $h_{ст} = 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480$ мм. Использовалась программа Free Video to JPG Converter (рисунок 3.9).

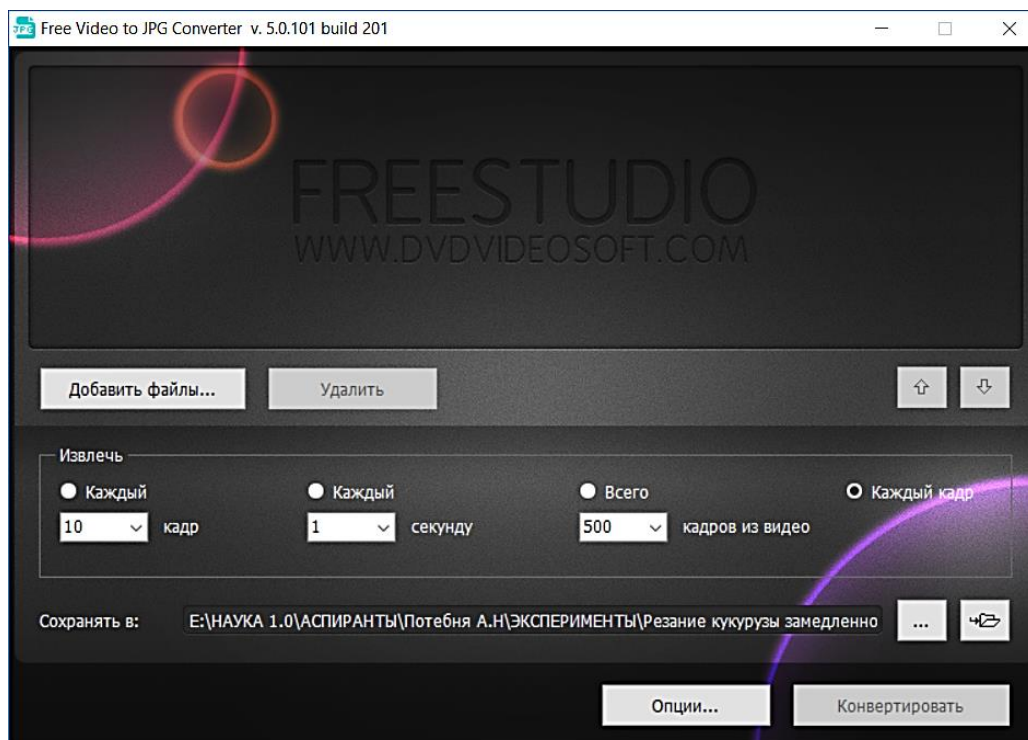


Рисунок 3.9 – Интерфейс программы

Затем с целью возможности дополнительного измельчения стеблей устанавливались половины спаренных сегментов, расположенные смежно с углом 90° (рисунки 3.10–3.13, таблица 3.3).



Рисунок 3.10 – Вариант 1 устройства для среза и измельчения

Таблица 3.3 – Условия эксперимента

Показатель	Значение
Культура	Камыш
$h_{ст.}$, см	35
α_c , град	60
$n_{шн.}$, мин ⁻¹	850
$l_{стеб.}$, мм	150
$N_{ст.}$ в ряд., шт.	7
Расстояние между противорезущими элементами, мм	6
Угол установки противорезущих элементов, град	90



Рисунок 3.11 – Фото варианта 1 со стеблями

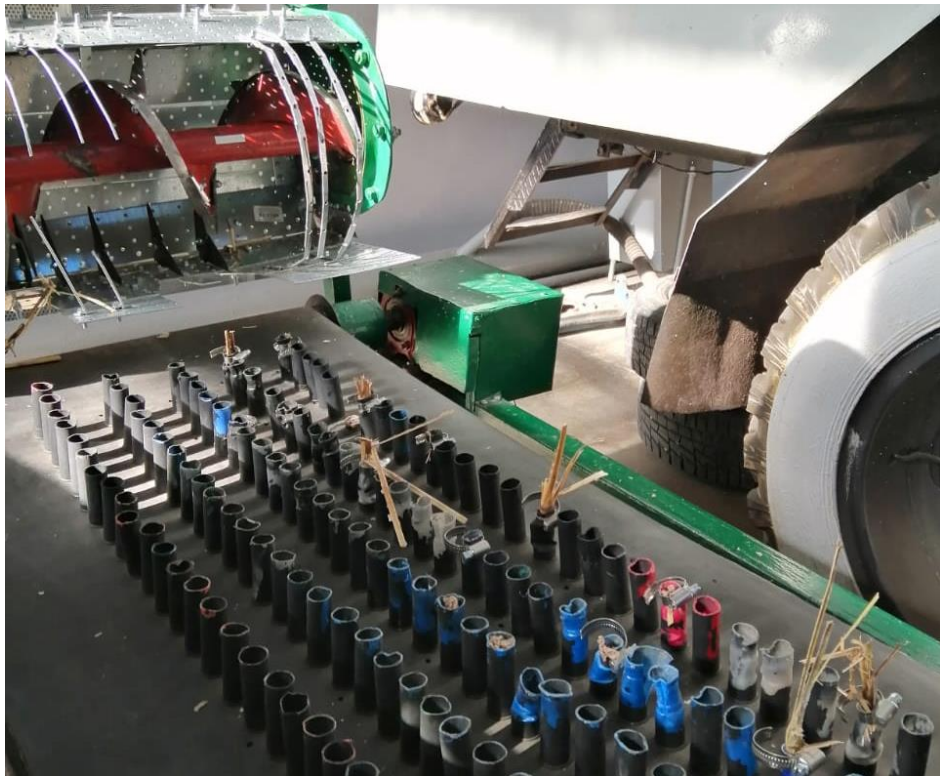


Рисунок 3.12 – Фото варианта 1 после среза

После среза стеблей можно заметить их частичное измельчение вдоль и поперек волокон даже без перемещения в кожухе шнека (рисунок 3.13).

Это расщепление благоприятно сказывается при разбрасывании остатков по поверхности поля с использованием в качестве органического удобрения.



Рисунок 3.13 – Фото измельченных стеблей при срезе вариантом 1

В варианте 2 угол наклона противорезов в горизонтальной плоскости принимался 30° (рисунки 3.14–3.16).



Рисунок 3.14 – Вариант 2 устройства для среза и измельчения

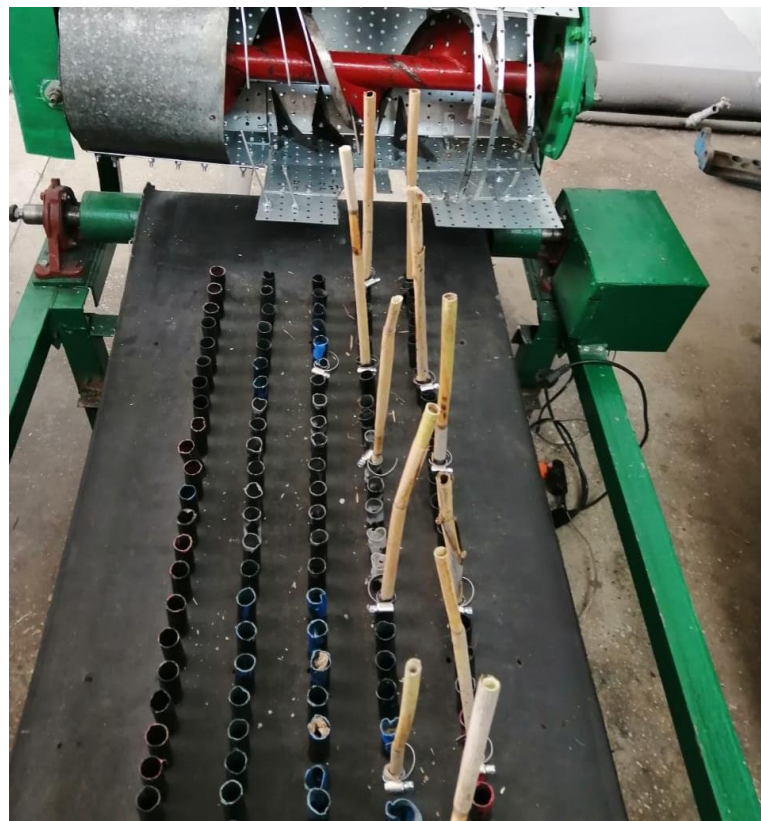


Рисунок 3.15 – Фото варианта 2 со стеблями

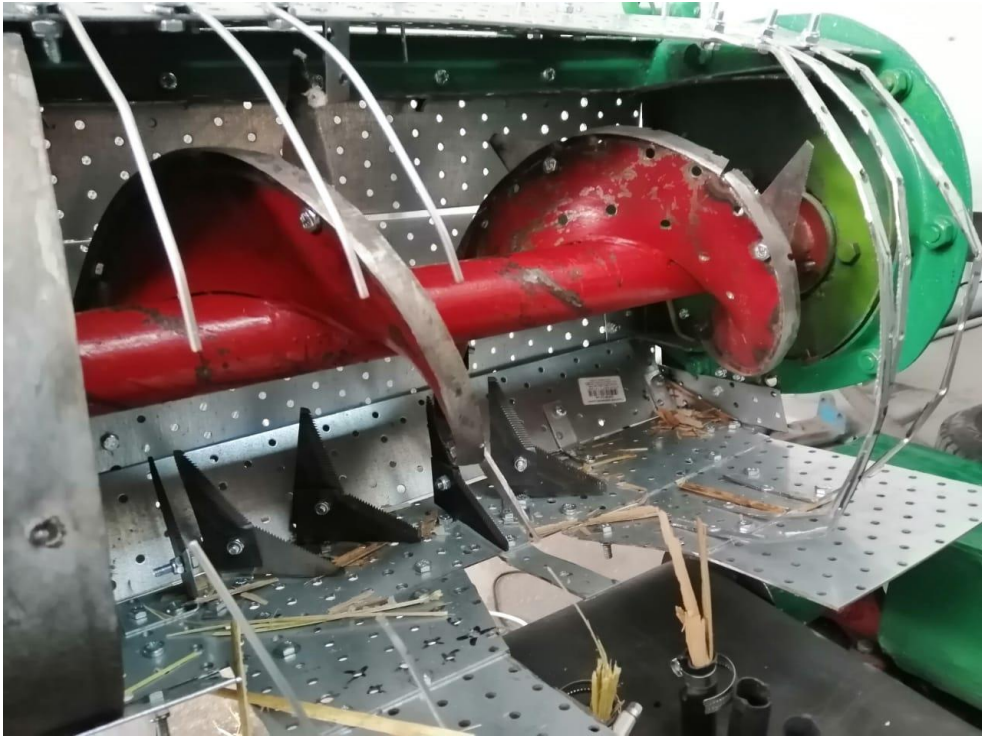


Рисунок 3.16 – Фото варианта 2 после среза

Вариант 3 имел расстояние между противорезами 5 мм (рисунки 3.17–3.20).

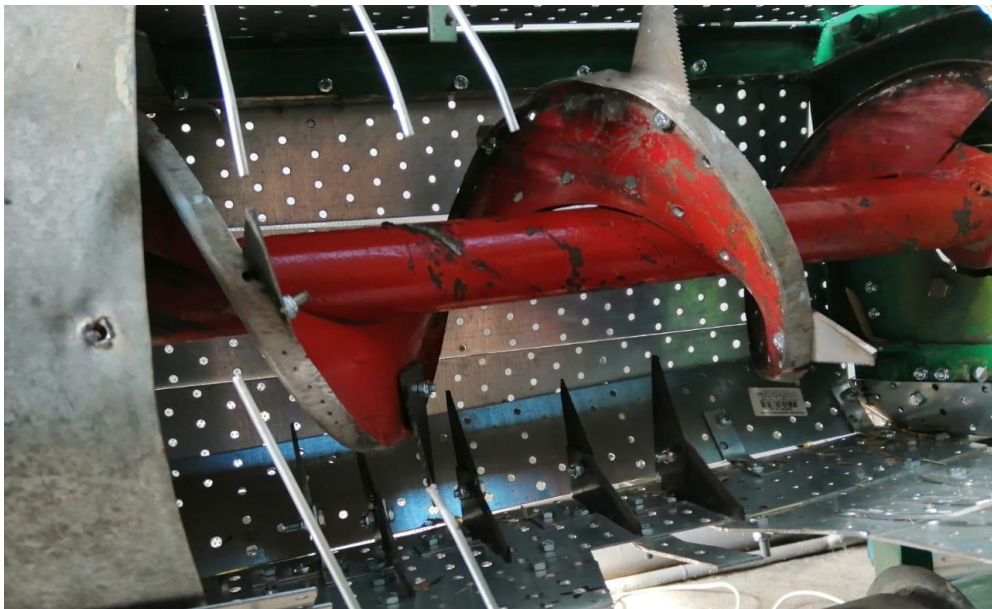


Рисунок 3.17 – Фото варианта 3 устройства для среза и измельчения

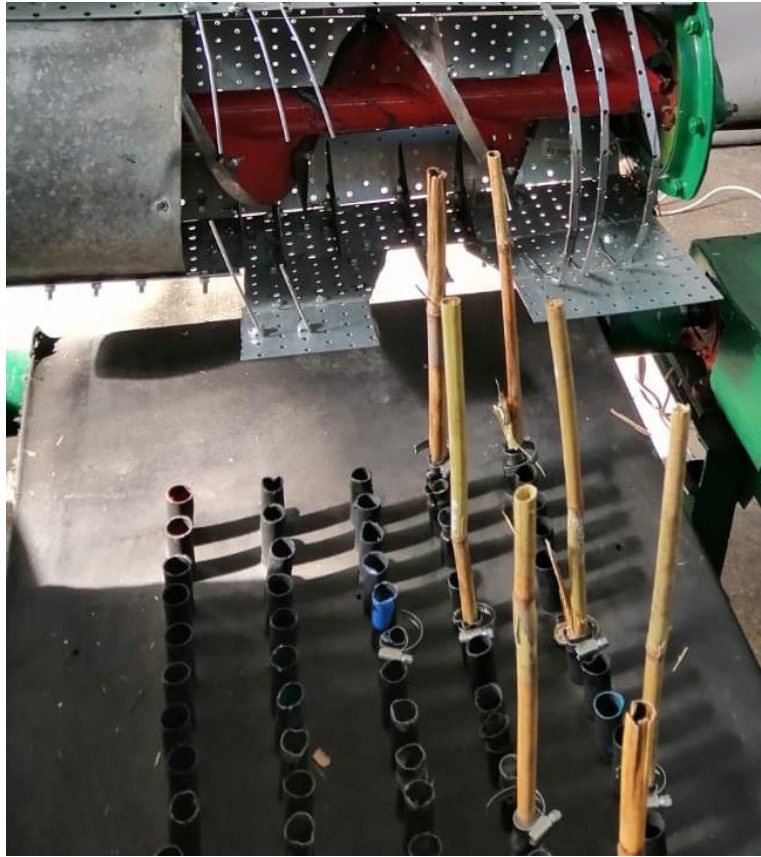


Рисунок 3.18 – Фото варианта 3 со стеблями



Рисунок 3.19 – Фото варианта 3 после среза



Рисунок 3.20 – Фото измельченных стеблей при срезе вариантом 3

3.2 Полевая экспериментальная установка и методика планирования эксперимента

Полевая экспериментальная установка представляет вращающийся шнек и односторонние сегменты, закрепленные на витке (рисунок 3.21).



Рисунок 3.21– Фото полевой установки:

a – спереди; *б* – сбоку

Ширина захвата составляла 2 м.

Регулировалась высота среза (рисунок 3.22).



Рисунок 3.22 – Регулировка высоты среза

Уточнялся угол наклона режущей части сегментов (рисунок 3.23).



а



б

Рисунок 3.23 – Фото регулировки угла наклона сегментов

Производилась регулировка шага размещения сегментов (рисунок 3.24).



Рисунок 3.24 – Регулировка шага сегментов

В результате анализа априорной информации, результатов лабораторных исследований, отсева несущественных факторов, выбраны существенные, которые представлены в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Значения параметров и уровни изменения значений

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

Средний уровень $n_{\text{шн.}} = 850 \text{ мин}^{-1}$ получен на основании лабораторных исследований.

Нижний уровень 530 мин^{-1} по результатам анализа работ [113, 114, 115, 116].

Верхний – с учетом шага 320 мин^{-1} .

По результатам лабораторных исследований наименьшее время среза стеблей кукурузы, камыша, веток составило соответственно 0,095 сек (шаг 180 мм), 0,095 сек (шаг 180 мм), 0,101 сек (шаг 180 мм). При этом наилучшие показатели получили на кукурузе, камыше, веток при шаге сегментов 240 мм

(60,58°); 60 мм (60,23°); 60 мм (62,33°). Наименьшее – 480 мм (37,75°); 300 мм (35,26°); 240 мм (39,16°) соответственно.

На основании этого принимаем основной уровень шага сегментов 180 мм, так как время среза стеблей кукурузы, камыша, веток при этом значении минимальное. Нижний уровень шага сегментов – 60 мм, так как при срезе камыша и веток получено наилучшее значение, верхний – 300 мм.

Угол наклона сегментов для основного уровня принимаем 60° по полученным результатам, по нижнему уровню усредняем $\frac{(38,75 + 35,26 + 39,16)}{3} = 38^\circ$, принимаем 40°. Соответственно верхний уровень 80°.

Для планирования эксперимента использован план Бокса В₃ (таблица 3.5).

Таблица 3.5 – План Бокса В₃

№ опыта	Матрица планирования		
	x_1	x_2	x_3
1	+	+	+
2	–	+	+
3	+	–	+
4	–	–	+
5	+	+	–
6	–	+	–
7	+	–	–
8	–	–	–
9	+	0	0
10	–	0	0
11	0	+	0
12	0	–	0
13	0	0	+
14	0	0	–
15	0	0	0

Режущий аппарат для всех экспериментов настраивали на одинаковую высоту среза от земли (рисунок 3.25), которая записывалась в протокол исследований.



Рисунок 3.25 – Регулировка высоты среза

Каждый опыт проводили в трехкратной повторности на участке длиной 10 м, без учета участка для разгона агрегата (рисунок 3.26).



Рисунок 3.26 – Замер длины участка

Скорость трактора должна быть одинаковая на всем протяжении эксперимента, которая замерялась предварительно на участке.

Было выбрано поле учебного парка Кубанского ГАУ после уборки подсолнечника (рисунок 3.27).



Рисунок 3.27 – Экспериментальное поле

Предварительно замерялась высота стеблей после уборки (рисунок 3.28).



Рисунок 3.28 – Замер высоты стеблей

Условия проведения эксперимента:

Место проведения – учебный парк Кубанского ГАУ

Культура – подсолнечник

Средняя высота стеблей, см – 46

Трактор марка – МТЗ 80.1

Косилка:

– ширина захвата, см – 200

– высота среза, см – 15

Рабочая скорость трактора, км/ч – 8.

Первый показатель замера – высота среза. Высота среза замерялась линейкой от земли до верхней точки срезанного стебля. По каждому опыту 3 проезда по 10 м, на каждых 10 м произвести 10 произвольных (без выбора) замеров по ширине среза на всей длине участка.

Второй показатель замера – длина срезанных стеблей. В задачу входило выяснить, происходило ли частичное измельчение или только срез. Для этого замеряли длину 10 срезанных стеблей произвольно по длине и ширине участка (рисунки 3.29–3.30).



Рисунок 3.29 – Замер высоты среза

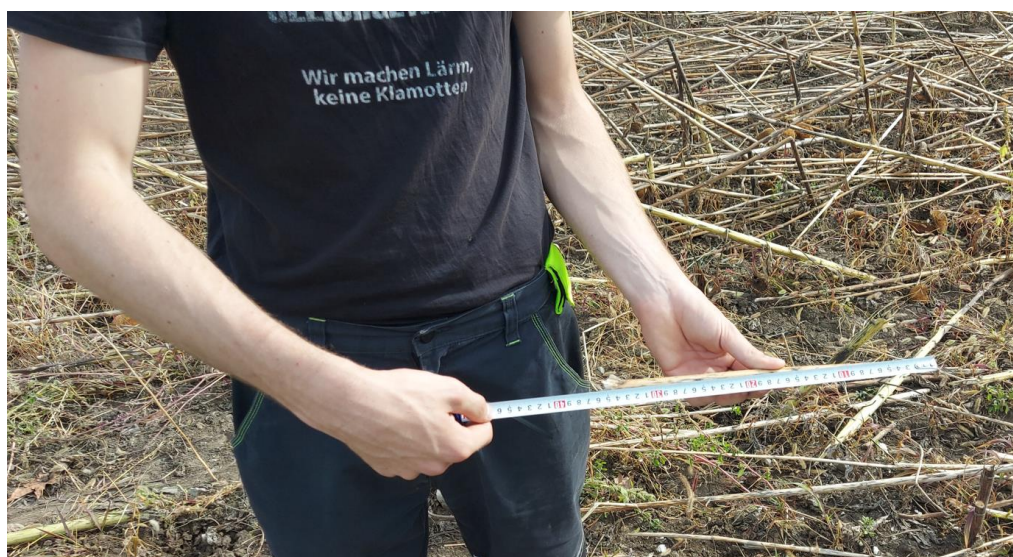


Рисунок 3.30 – Замер длины измельченных стеблей

Фото работы установки показано на рисунке 3.31.



Рисунок 3.31 – Фото работы установки

Для проведения лабораторных и полевых исследований использовали следующие приборы и измерительные инструменты.

Тахометр DT-2234C использовался для бесконтактного определения частоты вращения шнека режущего аппарата лабораторной установки (рисунок 3.32).

Для взвешивания измельченных стеблей использовали электронные весы ВК-1500.1 с ценой деления 0,05 г (рисунок 3.33).



Рисунок 3.32 – Тахометр DT-2234C



Рисунок 3.33 – Лабораторные весы ВК-1500.1

Для измерения угла наклона режущих элементов использовали классический и цифровой транспортир (рисунок 3.34).

Измерение расстояния уборочных участков при проведении эксперимента в полевых условиях проводили дальномером лазерным микро R-80 (рисунок 3.35).



Рисунок 3.34 – Цифровой транспортир



Рисунок 3.35 – Дальномер микро R-80

3.3 Выводы по главе

1. На основании нормативов обоснована программа проведения экспериментальных исследований для подтверждения теоретических положений, которая включала лабораторные на стационарной установке и полевые на мобильной.

2. Рассмотрена лабораторная установка, приведены ее основные технические характеристики, представлена методика лабораторных исследований.

3. Представлена экспериментальная установка срезающе-измельчающего аппарата полевого уборочного агрегата и методика планирования эксперимента, приборы и измерительные инструменты.

4. Для определения достоверности теоретических положений и проведенных лабораторных исследований выполнен анализ сходимости данных.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОБОСНОВАНИЮ КОНСТРУКТИВНО-РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РЕЖУЩЕГО АППАРАТА СРЕЗАЮЩЕ-ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО ТИПА

4.1 Результаты изучения резания стеблей в лабораторных условиях

После видеосъемки процесса среза и измельчения стеблей видео обрабатывали по кадрам при шаге сегментов 60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 мм. Использовалась программа Free Video to JPG Converter (рисунок 4.1).

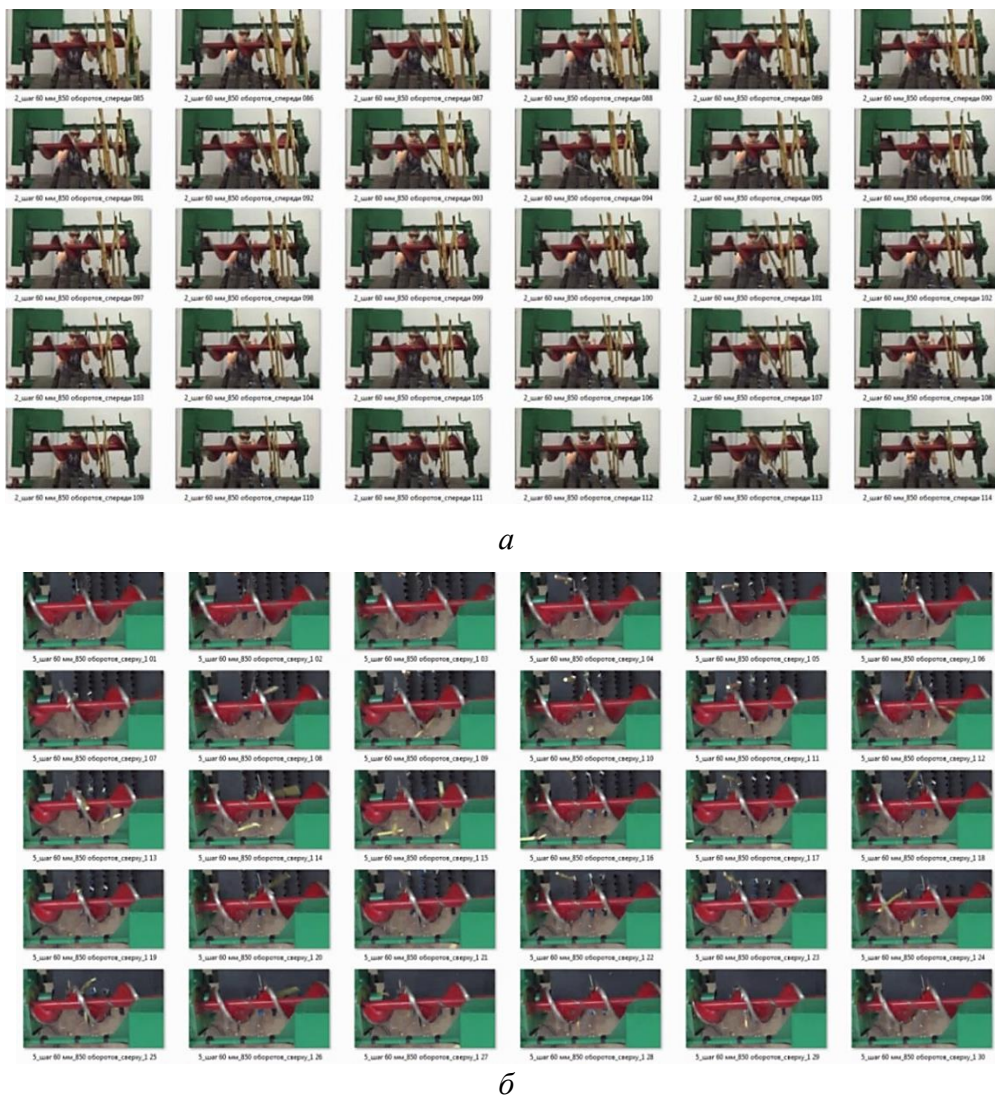


Рисунок 4.1 – Пример кадров при шаге сегментов 60 мм:

а – фото спереди; *б* – фото сверху

Результаты обработки данных представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты определения времени среза кукурузы

Шаг, мм	Время среза стебля, сек.							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , с	S, с	v, %	$S_{\bar{x}}$, с	$S_{\bar{x}}$ %
60	0,083	0,125	0,125	0,125	0,083	0,167	0,083	0,113	0,032	28,096	0,012	10,602
120	0,167	0,167	0,125	0,083	0,125	0,125	0,167	0,137	0,032	23,174	0,012	8,745
180	0,083	0,125	0,083	0,083	0,125	0,083	0,083	0,095	0,020	21,573	0,008	8,141
240	0,125	0,083	0,083	0,167	0,25	0,208	0,125	0,149	0,063	42,412	0,024	16,005
300	0,125	0,125	0,125	0,167	0,125	0,083	0,125	0,125	0,024	19,399	0,009	7,320
360	0,167	0,083	0,125	0,125	0,083	0,083	0,083	0,107	0,033	30,884	0,012	11,654
420	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,167	0,131	0,016	12,118	0,006	4,573
480	0,125	0,167	0,125	0,125	0,167	0,208	0,125	0,149	0,033	21,997	0,012	8,301

Наименьшее время среза 0,095 сек одного стебля получено при шаге сегментов 180 мм (рисунок 4.2). Анализируя линейную линию тренда, можно заметить тенденцию увеличения времени среза при увеличении шага сегментов.

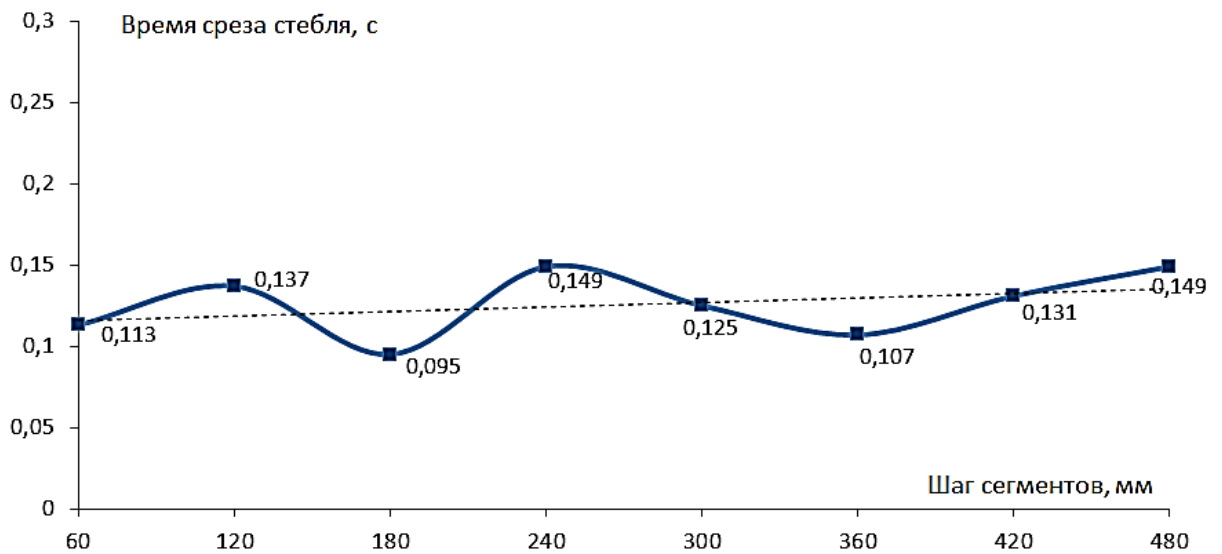


Рисунок 4.2 – Зависимость «время среза – шаг сегментов»

Аналогично проводилась фиксация угла наклона стебля при срезе (рисунок 4.3, таблица 4.2).

Рисунок 4.3 – Пример раскадровки измерения $\alpha_{ст}$ кукурузы при срезе

Таблица 4.2 – Результаты среза кукурузы

Шаг, мм	Угол наклона стебля при срезе, град							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , град	S, град	v, %	$S_{\bar{x}}$, град	$S_{\bar{x}}$ %
60	56,18	58,98	63,97	57,27	54,02	47,43	76,77	59,23	9,22	15,56	3,48	5,87
120	47,90	50,63	56,02	58,20	39,45	59,03	53,33	52,08	6,85	13,16	2,59	4,97
180	50,17	37,65	57,57	39,12	34,42	66,58	78,73	52,03	16,54	31,80	6,24	12
240	70,05	77,38	75,53	65,02	48,32	33,22	54,53	60,58	16,08	26,54	6,07	10,01
300	48,43	58,78	37,08	22,87	45,50	50,20	68,28	47,31	14,64	30,95	5,52	11,68
360	26,98	66,08	66,63	63,93	65,02	61,05	70,77	60,07	14,88	24,78	5,62	9,35
420	63	53,95	51,82	52,32	54,90	59	68,68	57,67	6,27	10,87	2,37	4,10
480	41,97	52,37	44,78	32,72	41,97	20,78	29,68	37,75	10,62	28,14	4,01	10,62

Максимальное значение $\alpha_{ст}$ при $l_c = 240$ мм ($60,58^\circ$), минимальное $l_c = 480$ мм ($37,75^\circ$).

Раскадровку видео по каждому значению шага сегментов (60, 120, 180, 240, 300, 360, 420, 480 мм) проводили в программе Free Video to JPG Converter (рисунок 4.4).

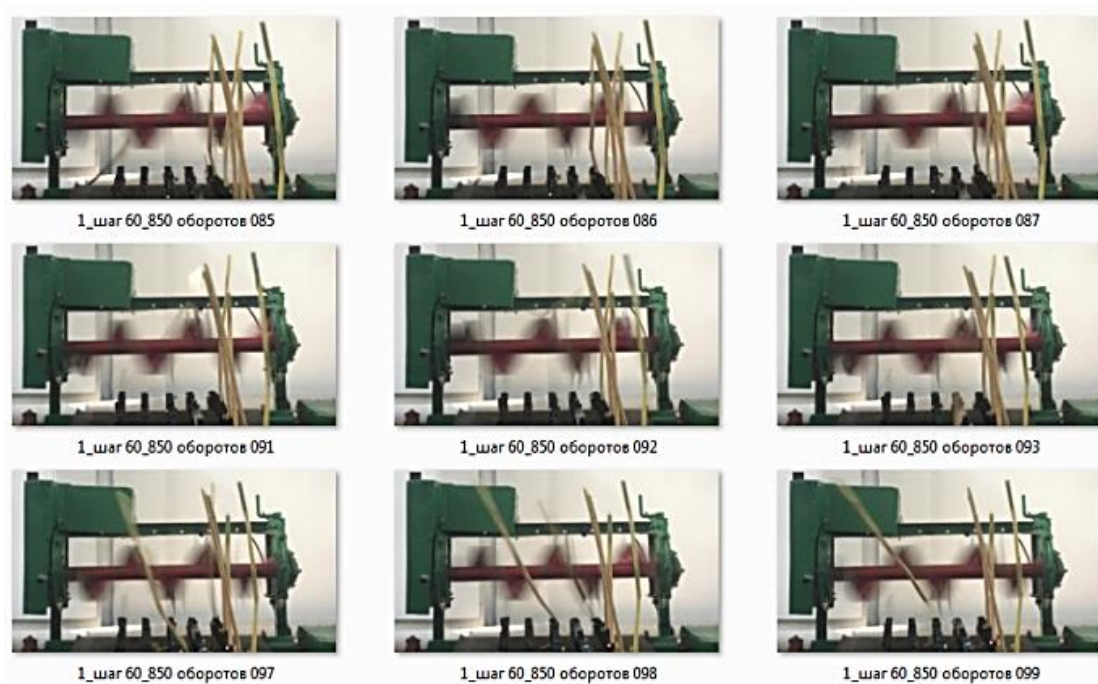


Рисунок 4.4 – Пример раскадровки видео при съемке спереди (шаг сегментов 60 мм)

Результаты обработки данных представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Результаты среза камыша

Шаг, мм	Время среза стебля, сек.							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , с	S, с	v , %	$S_{\bar{X}}$, с	$S_{\bar{X}}$ %
60	0,208	0,125	0,125	0,167	0,167	0,167	0,125	0,155	0,031	20,320	0,011	7,668
120	0,125	0,167	0,125	0,125	0,125	0,125	0,167	0,137	0,020	14,960	0,008	5,645
180	0,083	0,083	0,083	0,125	0,083	0,125	0,083	0,095	0,020	21,573	0,008	8,141
240	0,125	0,125	0,167	0,125	0,125	0,125	0,125	0,131	0,016	12,119	0,006	4,573
300	0,208	0,208	0,188	0,188	0,188	0,188	0,188	0,194	0,010	5,038	0,004	1,901
360	0,167	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,131	0,016	12,118	0,006	4,573
420	0,167	0,125	0,125	0,083	0,125	0,125	0,125	0,125	0,024	19,399	0,009	7,320
480	0,125	0,125	0,167	0,125	0,208	0,125	0,167	0,149	0,033	21,997	0,012	8,301

Максимальное $t_{cp} = 0,095$ сек при $l_c = 180$ мм.

Углы наклона стебля при срезе представлены на рисунке 4.5 и таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Результаты среза камыша

Шаг, мм	Угол наклона стебля при срезе, град							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , град	S, град	v , %	$S_{\bar{x}}$, град	$S_{\bar{x}}$, %
60	66,92	53,42	62,72	66,17	57,97	50,33	64,05	60,23	6,46	10,72	2,44	4,05
120	32,03	63,28	64,82	67,73	69,28	40,95	53,33	55,92	14,45	25,84	5,45	9,75
180	52,70	52,25	51,25	53,48	65,58	63,25	66,52	57,86	6,89	11,90	2,60	4,49
240	70,05	57,12	20,53	34,63	51,35	51,42	62,87	49,71	16,97	34,12	6,40	12,88
300	38,18	47,82	27,67	28,48	22,45	28,17	54,03	35,26	11,81	33,493	4,46	12,64
360	66,48	61,75	65,52	61,70	60,83	44,95	39,33	57,22	10,64	18,59	4,01	7,01
420	62,97	62,53	45,77	57,45	59,78	54,82	51,82	56,45	6,188	10,96	2,33	4,14
480	60,70	44,88	31,47	33,77	26,93	37,50	39,88	39,30	11,09	28,21	4,18	10,64

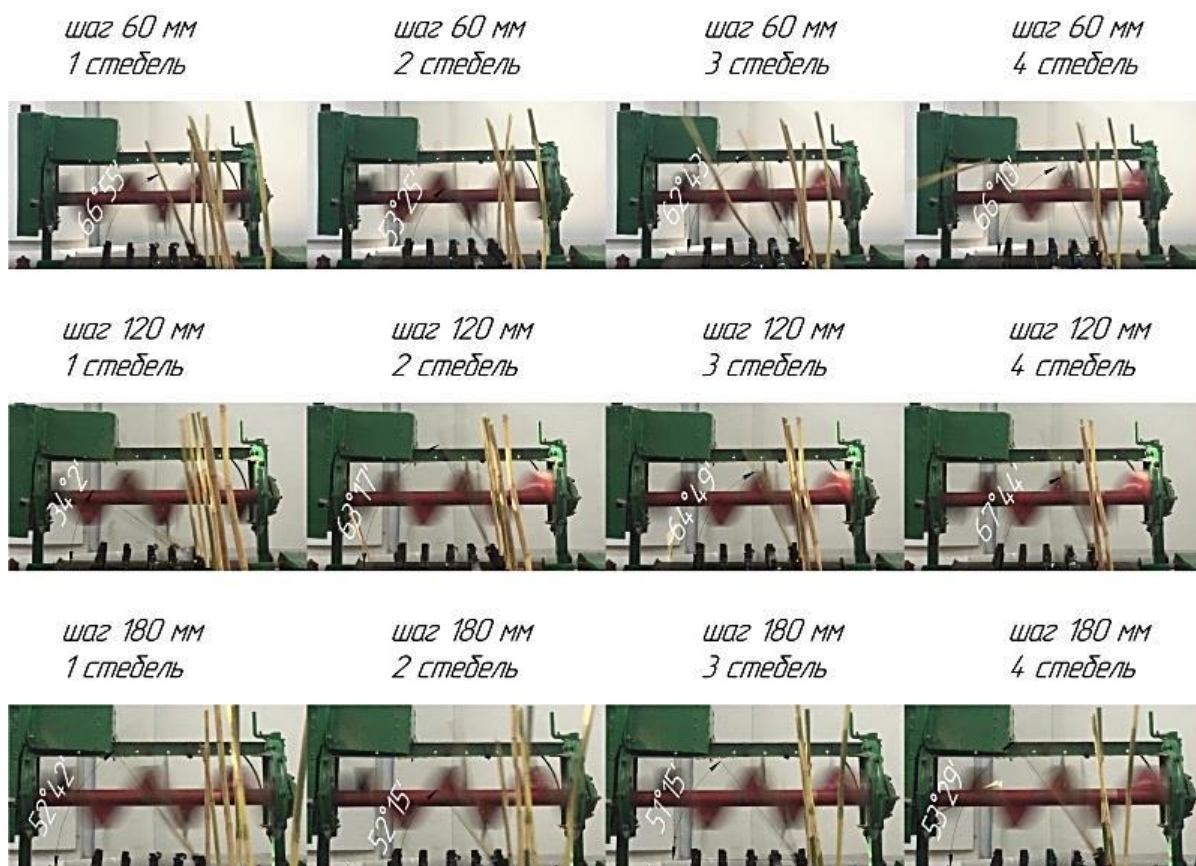
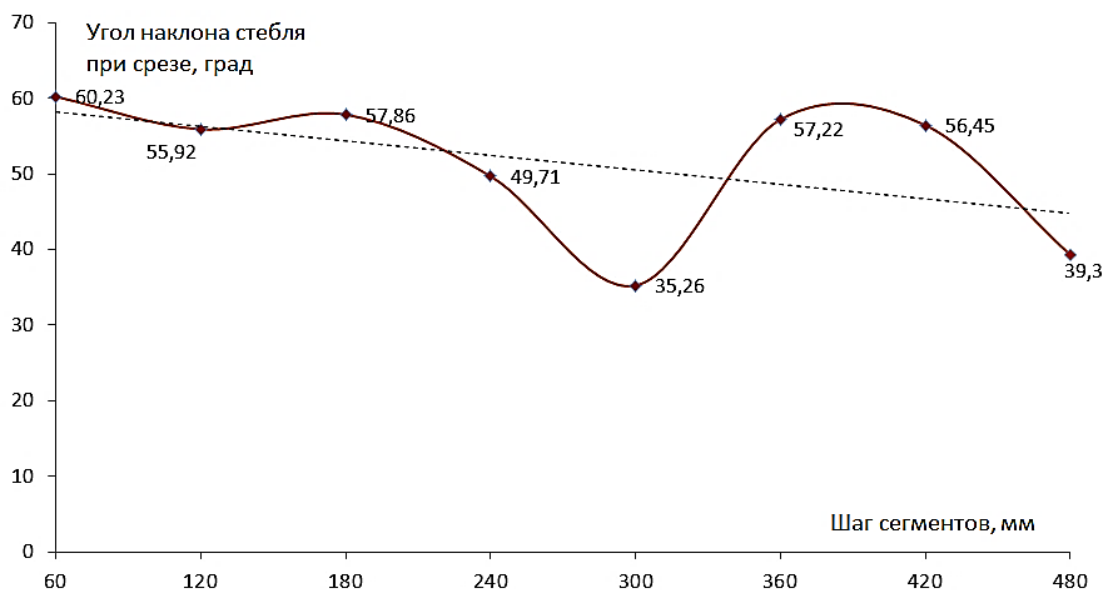


Рисунок 4.5 – Пример измерения угла наклона стеблей камыша при срезе

Максимальный $\alpha_{ст}$ при $l_c = 60$ мм ($60,23^\circ$), минимальное при $l_c = 300$ мм ($35,26^\circ$) – рисунок 4.6.

Рисунок 4.6 – Зависимость « $\alpha_{ст} - l_c$ »

Результаты обработки данных по времени среза представлены в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Результаты среза веток

Шаг, мм	Время среза стебля, сек.							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , с	S, с	v, %	$S_{\bar{X}}$, с	$S_{\bar{X}}$ %
60	–	–	–	–	0,083	0,125	0,167	0,125	0,042	33,6	0,016	12,679
120	0,125	–	0,125	0,125	0,125	0,167	0,167	0,139	0,022	15,603	0,008	5,888
180	0,083	0,125	0,125	0,083	0,125	0,083	0,083	0,101	0,022	22,228	0,008	8,388
240	–	–	–	0,167	0,167	–	0,167	0,167	–	–	–	–
300	0,167	0,125	–	0,208	–	–	–	0,167	0,042	24,901	0,016	9,397
360	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
420	0,125	0,167	0,167	0,125	0,167	–	–	0,150	0,023	15,316	0,009	5,780
480	0,083	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,125	0,119	0,0159	13,3399	0,006	5,034

Минимальное $\alpha_{ст} = 0,101$ при $l_c = 180$ мм (рисунок 4.7).

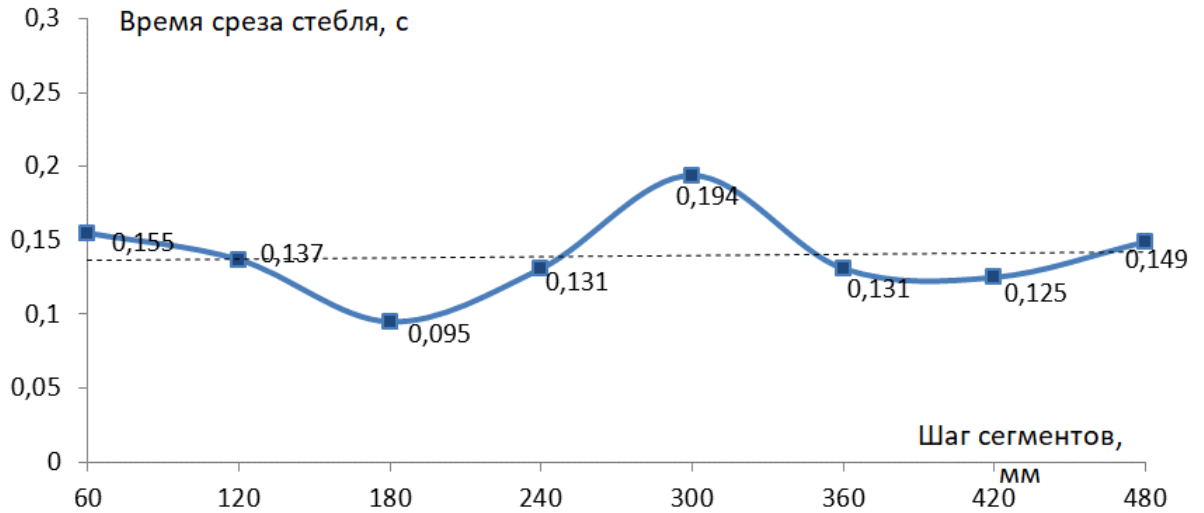


Рисунок 4.7 – Зависимость времени среза от шага сегментов

Углы наклона стебля при срезе показаны на рисунке 4.8 и в таблице 4.6.

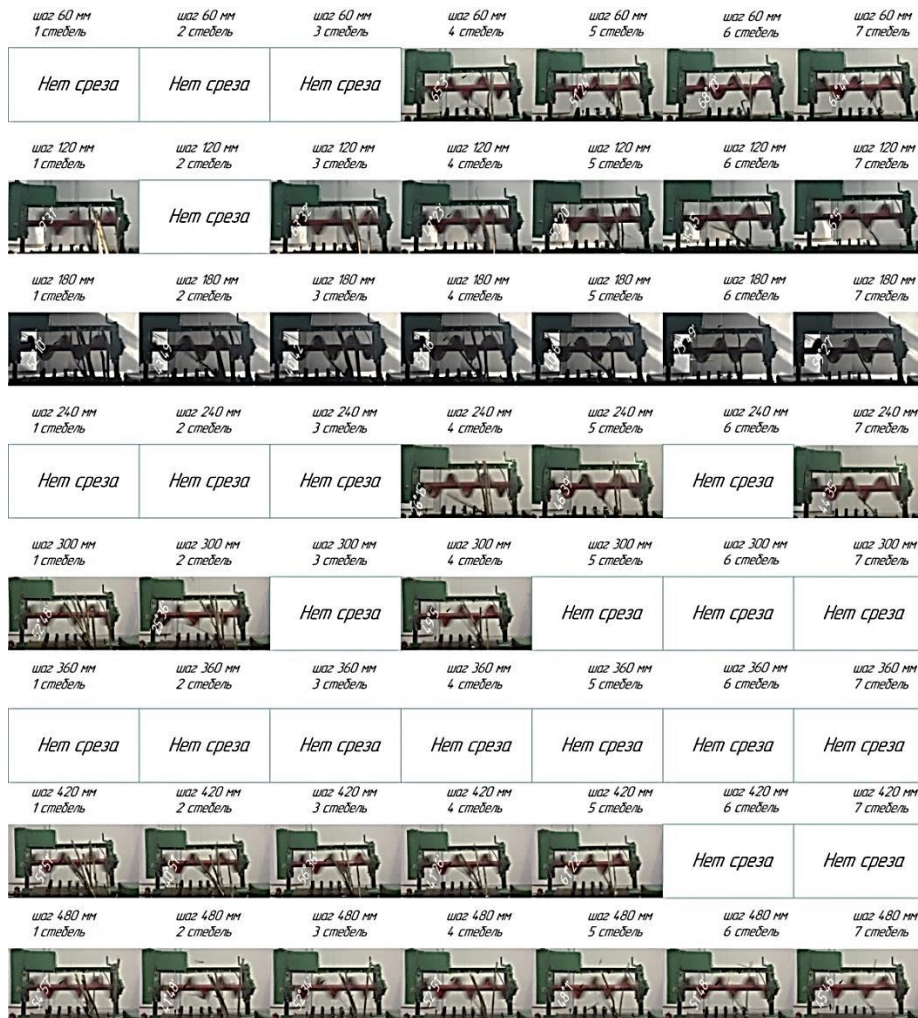


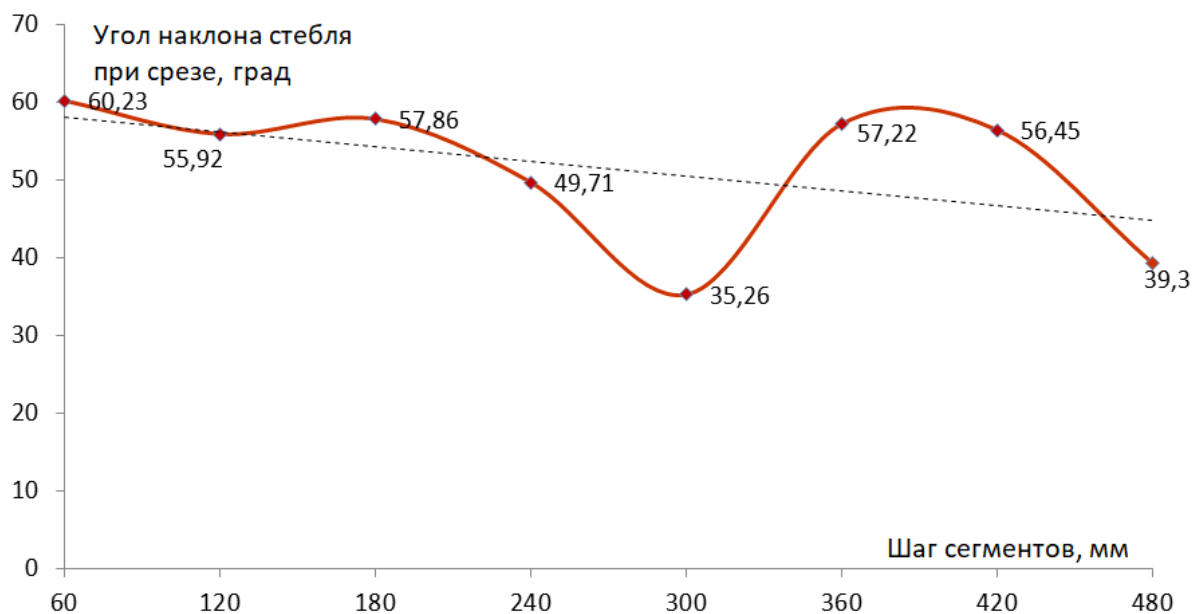
Рисунок 4.8 – Измерение угла наклона веток при срезе

Таблица 4.6 – Результаты измерения углов наклона веток при срезе

Шаг, мм	Угол наклона стебля при срезе, град							Статистические показатели				
	1 стебель	2 стебель	3 стебель	4 стебель	5 стебель	6 стебель	7 стебель	\bar{X} , град	S, град	v, %	$S_{\bar{x}}$, град	$S_{\bar{x}}$ %
60	–	–	–	65,05	51,40	68,17	64,68	62,33	7,45	11,95	2,81	4,51
120	69,52	–	63,53	47,38	52,33	35,75	56,08	54,10	11,96	22,11	4,51	8,35
180	52,17	43,82	40,70	51,27	40,10	73,82	59,45	51,62	12,02	23,29	4,54	8,79
240	–	–	–	26,25	46,65	–	44,58	39,16	11,23	28,67	4,24	10,82
300	52,80	25,60	–	49,08	–	–	–	42,49	14,75	34,71	5,57	13,10
360	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
420	51,85	40,85	56,60	41,43	61,37	–	–	50,42	9,12	18,08	3,44	6,82
480	54,95	41,80	52,57	52,85	48,02	51,80	45,77	49,68	4,67	9,40	1,76	3,55

Максимальный $\alpha_{ст}$ при $l_c = 60$ мм ($62,33^\circ$), минимальный – $l_c = 240$ мм ($39,16^\circ$) – рисунок 4.9.

Наблюдается тенденция уменьшения угла наклона стебля при увеличении шага сегментов, что отрицательно влияет на качество среза.

Рисунок 4.9 – Зависимость « $\alpha_{ст} - l_c$ »

Обобщенные данные по трем культурам представлены на рисунках 4.10–4.11.

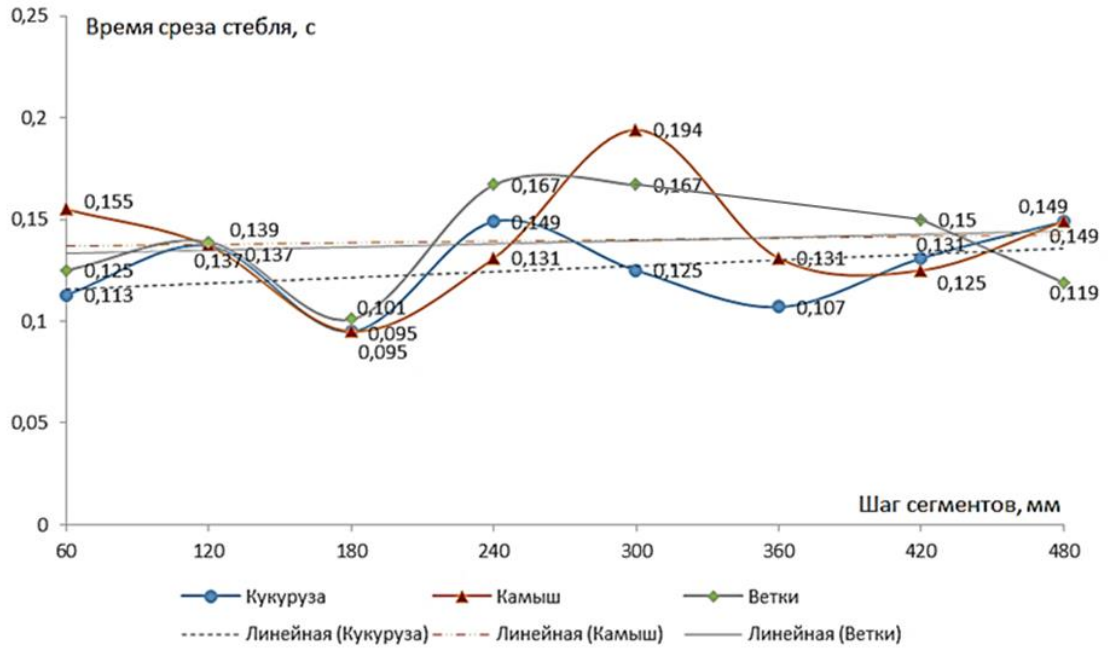
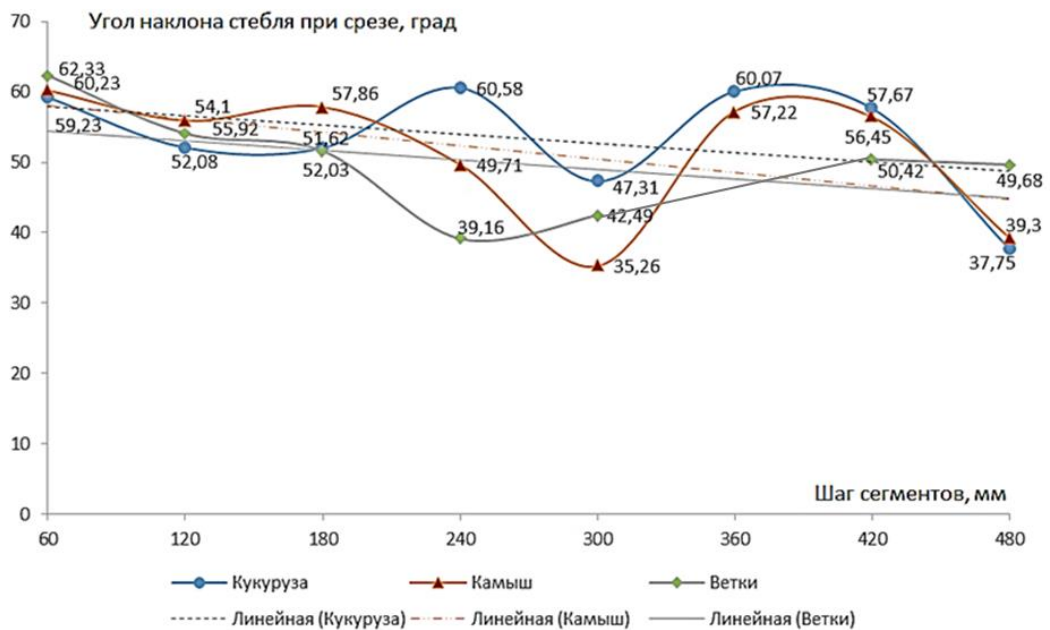
Рисунок 4.10 – Зависимость « $t_{cp} - l_c$ »

Рисунок 4.11 – Зависимости угла наклона стеблей кукурузы, камыша, веток при срезе от шага сегментов

Минимальное значение t_{cp} при $l_c = 180$ мм (кукуруза – 0,095 сек; камыш – 0,095 сек; ветки – 0,101 сек). При этом $t_{cp} = 0,095–0,194$ с.

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

Результаты изучения среза и измельчения стеблей представлены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Длина стеблей после среза и измельчения стеблей, мм

Варианты	Статистические показатели				
	\bar{X} , мм	S , мм	ν , %	$S_{\bar{X}}$, мм	$S_{\bar{X}}\%$
1	106	59	55	4	4
	90	59	65	5	5
	83	54	65	5	6
2	126	57	45	6	4
3	152	54	36	6	4

Согласно исходным требованиям на базовую машинную технологическую операцию [1] измельченная солома должна иметь частицы длиной менее 12 см в объеме не менее 85 %. Вариант режущего аппарата 1 и 2 удовлетворяют условиям.

4.2 Результаты полевых исследований

Экспериментальные исследования проводились в соответствии с разработанной программой и поставленными задачами проведения опытов в четыре этапа.

На первом этапе изучался процесс работы агрегата с режущим аппаратом срезающе-измельчающего типа (РАСИТ) и оценивали его по критерию удельных затрат энергии (энергоемкости).

В общем виде искомая зависимость представлена как

$$N_{\text{э}} = f(n_{\text{ш}}; l_{\text{с}}; t_{\text{пр}}) \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

где $N_{\text{э}}$ – энергоемкость процесса, кВт·с/кг;

$n_{\text{ш}}$ – частота вращения шнекового рабочего органа
с режуще-измельчающими сегментами, мин⁻¹;

$l_{\text{с}}$ – шаг установки сегментов по винтовой кромке шнека, мм;

$t_{\text{пр}}$ – шаг установки противорежущих сдвоенных сегментов, мм.

Эксперимент проводился при производительности агрегата с РАСИТ в интервале его значения $Q_a = 0,5-1,22$ кг/с.

Проведением поисковых опытов определены уровни изменения значений в диапазоне с учетом указанных факторов.

В таблице 4.8 представлены установленные значения параметров процесса и изменения их изменений.

Таблица 4.8 – Значения параметров и уровни их изменения по определению удельных затрат энергии (энергоемкости)

Изменение	Значение		
	$n_{ш}$	l_c	$t_{пр}$
По +	1170,000	300,000	80,000
По 0	850,000	180,000	60,000
По –	530,000	60,000	40,000
Диапазон	320,000	120,000	20,000

В таблице 4.9 представлены планы трехфакторного эксперимента и его результаты его проведения по 15 опытам.

Таблица 4.9 – План эксперимента и результаты опытов по определению удельных затрат энергии при работе РАСИТ

№ опыта	Значения параметров в безразмерной системе координат			Значения параметров в натуральном масштабе			Выходной параметр (критерий) $Nэ$, кВт·с/кг
	β_1	β_2	β_3	$n_{ш}$	l_c	$t_{пр}$	
1	-1	-1	1	530,00	60,00	80,00	9,98
2	1	-1	-1	1170,00	60,00	40,00	9,10
3	-1	1	-1	530,00	300,00	40,00	10,11
4	1	1	1	1170,00	300,00	80,00	9,19
5	-1	-1	-1	530,00	60,00	40,00	11,43
6	1	-1	1	1170,00	60,00	80,00	8,50
7	-1	1	1	530,00	300,00	80,00	10,64
8	1	1	-1	1170,00	300,00	40,00	9,90
9	-	0	0	461,20	180,00	60,00	10,87
10	1,215	0	0	1250,32	180,00	60,00	9,65
11	0	-1,215	0	850,00	34,20	60,00	8,40
12	0	1,251	0	850,00	330,12	60,00	8,44
13	0	0	-1,251	850,00	180,00	34,98	8,30
14	0	0	1,251	850,00	180,00	85,02	8,21

15	0	0	0	850,00	180,00	60,00	8,01
----	---	---	---	--------	--------	-------	------

После реализации эксперимента по стандартному плану и получения данных проведена их математико-статистическая обработка (4.10–4.12).

Таблица 4.10 – Регрессионный анализ (РА) зависимости $y_1 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow \min$, характеризующей удельные затраты энергии

Критерий (K)	Стандартное отклонение (S)	R-корреляции (R_K)	Коэффициент детерминации (R^2)	F-критерий (F_R)	Значимость F-критерия (p)
$y_1 \rightarrow \min$	0,38500	0,97700	0,95500	11,70800	0,00700

Таблица 4.11 – Результаты РА зависимости $y_1 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow \min$

K	ϵ_0	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_{12}	ϵ_{13}	ϵ_{23}	ϵ_{11}	ϵ_{22}	ϵ_{33}	Адекватность	
											F_R	F_T
y_1	8,050	-0,650	0,080	-0,210	0,270	–	0,230	1,460	0,230	0,120	11,710	3,590

Посредством математической и статистической обработки экспериментальных данных получены следующие математические модели, характеризующие значения затрат энергии:

– в кодированном виде:

$$y_1 = 8,0550 - 0,650 \cdot \beta_1 + 0,080 \cdot \beta_2 - 0,210 \cdot \beta_3 + 0,270 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 + 0,230 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + 1,460 \cdot \beta_1^2 + 0,230 \cdot \beta_2^2 + 0,120 \cdot \beta_3^2 \rightarrow \min; \quad (4.2)$$

– в раскодированном виде:

$$N_{\text{э}} = 23,930 - 0,030 \cdot n_{\text{ш}} - 0,020 \cdot l_c - 0,060 \cdot t_{\text{пр}} + 0,000006 \cdot n_{\text{ш}} \cdot l_c - 0,0001 \cdot l_c \cdot t_{\text{пр}} + 0,00001 \cdot n_{\text{ш}}^2 + 0,000001 \cdot l_c^2 + 0,0003 \cdot t_{\text{пр}}^2 \rightarrow \min. \quad (4.3)$$

По результатам проведенной математической и статистической обработки, с принятой вероятностью, равной 0,950 и коэффициентов $R = 0,97700$ (таблица 4.10), установлено, что выполняется условие $F_R > F_T$ (таблица 4.11) при уровне значимости F-критерия равном $0,00700 < 0,05$. Данным фактором подтверждаются адекватность полученной модели и ее значимость.

Анализом также установлено, что коэффициент R^2 (таблица 4.10) имеет значения в интервале 0,80–0,95. Этим фактом подтверждается высокая точность аппроксимации.

Результатами таблицы 4.12 характеризуются области экстремальных значений параметров β_1 , β_2 и β_3 , при которых γ_1 стремится к min .

Таблица 4.12 – Области экстремальных значений (ЭЗ) параметров по определению удельных затрат энергии при работе РАСИТ

K	$\beta_1 / n_{ш}$	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{пр}$	$\gamma_1 / Nэ$
$\gamma_1 \rightarrow opt$	0,13/849,00	0,29/180,00	0,88/60,90	8,01/8,01

На рисунках 4.12–4.14 представлены зависимости в виде поверхностей и их сечений.

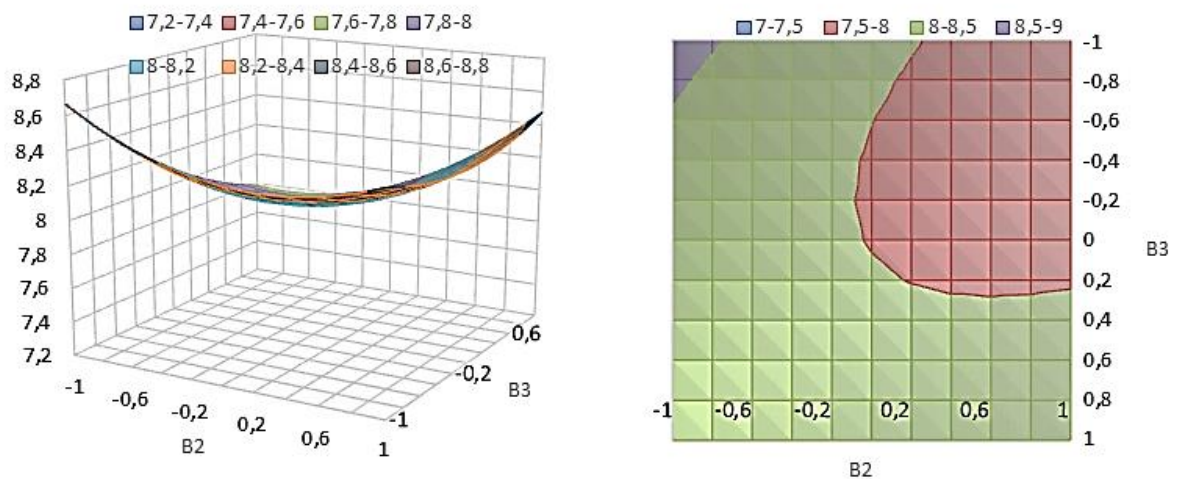


Рисунок 4.12 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_1 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow min$

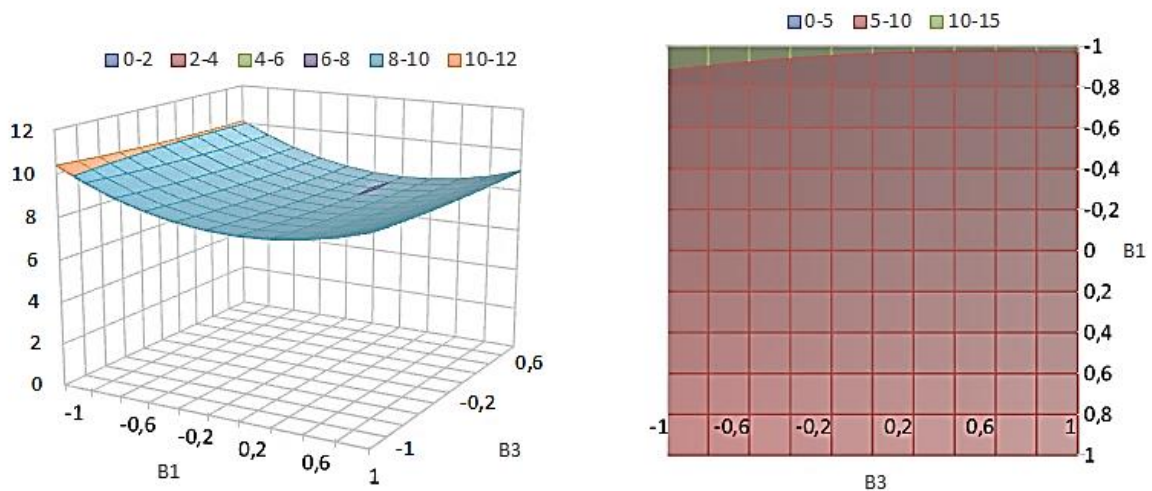


Рисунок 4.13 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_1 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow min$

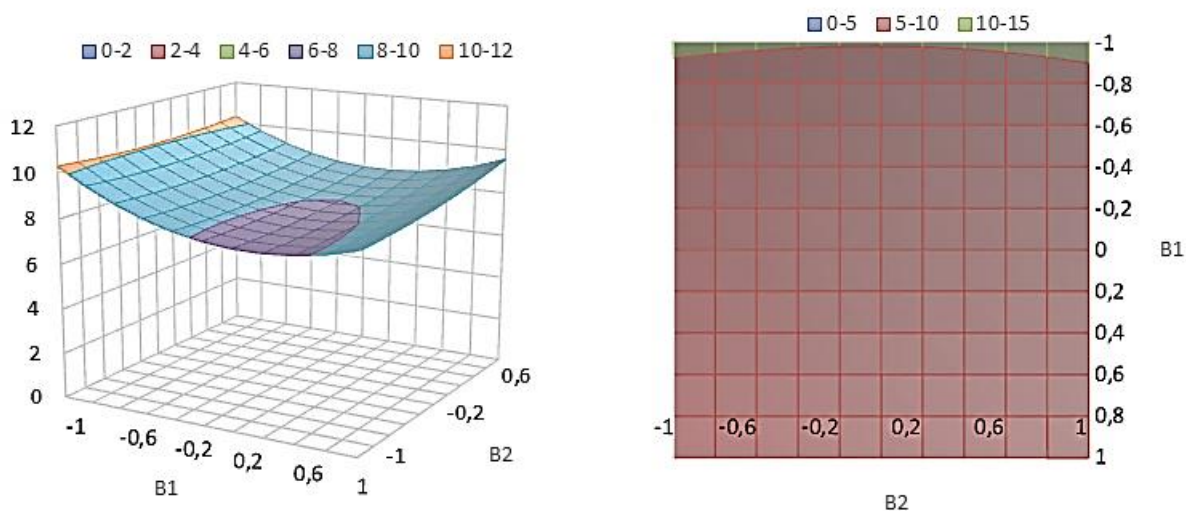


Рисунок 4.14 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_1 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3=0) \rightarrow \min$

Согласно данным таблицы 4.12 оптимальными значениями параметрами являются:

- частота вращения шнекового рабочего органа – $n_{ш} = 849\text{--}850 \text{ мин}^{-1}$;
- шаг установки сегментов – $l_c = 180 \text{ мм}$;
- шаг установки противорежущих сегментов – $t_{пр} = 61,00$.

При $N_3 \rightarrow \min$, равном 8,01 кВт·с/кг.

На втором этапе исследований искомая зависимость, общий вид которой представлен следующим выражением:

$$v_{п} / \gamma_2 = f(n_{ш}; l_c; \alpha_c) \rightarrow \min, \quad (4.4)$$

где $v_{п} / \gamma_2$ – неравномерность распределения частиц стеблестоя по полю, %;

$\beta_1 / n_{ш}$ – частота вращения шнекового рабочего органа с
режуще-измельчающими сегментами, мин^{-1} ;

β_2 / l_c – шаг установки сегментов по винтовой кромке шнека, мм;

β_3 / α_c – угол наклона режущей части сегментного ножа, градус.

Проведением поисковых опытов также определены уровни изменения значений в диапазоне указанными параметрами на данном этапе исследований.

В таблице 4.13 представлены значения параметров процесса и уровней их изменений.

Таблица 4.13 – Значения параметров и уровни их изменений по определению неравномерности распределения частиц по поверхности поля

Изменение	Значение		
	$\beta_1 / n_{ш}$	β_2 / l_c	β_3 / α_c
По +	1170,000	300,000	80,000
По 0	850,000	180,000	60,000
По –	530,000	60,000	40,000
Диапазон	320,000	120,000	20,000

В таблице 4.14 представлен план 3-факторного эксперимента и его результаты его проведения по 15 опытам.

Таблица 4.14 – Стандартный план эксперимента и результаты опытов определения неравномерности распределения частиц по поверхности поля

№ опыта	Значения параметров						Выходной параметр
	в безразмерной системе координат			в натуральном масштабе			
	β_1	β_2	β_3	$\beta_1 / n_{ш}$	β_2 / l_c	β_3 / α_c	$\gamma_2 / v_{п}, \%$
1	-1	-1	1	530,00	60,00	80,00	36,40
2	1	-1	-1	1170,00	60,00	40,00	29,40
3	-1	1	-1	530,00	300,00	40,00	32,80
4	1	1	1	1170,00	300,00	80,00	28,00
5	-1	-1	-1	530,00	60,00	40,00	30,90
6	1	-1	1	1170,00	60,00	80,00	29,90
7	-1	1	1	530,00	300,00	80,00	35,70
8	1	1	-1	1170,00	300,00	40,00	31,30
9	-1,215	0	0	461,20	180,00	60,00	25,00
10	1,251	0	0	1250,32	180,00	60,00	24,50
11	0	-1,215	0	850,00	34,20	60,00	22,80
12	0	1,251	0	850,00	330,12	60,00	22,00
13	0	0	-1,251	850,00	180,00	34,98	20,80
14	0	0	1,251	850,00	180,00	85,02	21,40
15	0	0	0	850,00	180,00	60,00	18,20

По результатам реализации эксперимента по стандартному плану проведена математико-статистическая обработка полученных данных (4.8–4.10).

Таблица 4.15 – Регрессионный анализ зависимости $y_2 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow \min$

K	S	R	R^2	F_R	p
$y_2 \rightarrow opt$	2,04900	0,97600	0,95300	11,23400	0,00800

Таблица 4.16 – Результаты регрессионного анализа зависимости $y_2 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow \min$

K	ε_0	ε_1	ε_2	ε_3	ε_{12}	ε_{13}	ε_{23}	ε_{11}	ε_{22}	ε_{33}	Адекватность	
											F_R	F_T
y_2	15,53	-1,680	-	0,570	-	-1,400	-0,800	6,710	5,100	4,120	11,230	3,590

Получили следующие матмодели:

– в кодированном виде:

$$y_2 = 15,530 - 1,680 \cdot \beta_1 + 0,570 \cdot \beta_3 - 1,400 \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 - 0,800 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + \\ + 6,710 \cdot \beta_1^2 + 5,100 \cdot \beta_2^2 + 4,120 \cdot \beta_3^2 \rightarrow \min; \quad (4.5)$$

– в раскодированном виде:

$$v_n = 98,870 - 0,100 \cdot n_{ш} - 0,100 \cdot l_c - 0,970 \cdot \alpha_c - 0,0002 \cdot n_{ш} \cdot \alpha_c - \\ - 0,0003 \cdot l_c \cdot \alpha_c + 0,00006 \cdot n_{ш}^2 + 0,0004 \cdot l_c^2 + 0,010 \cdot \alpha_c^2 \rightarrow \min. \quad (4.6)$$

По результатам проведенной математической и статистической обработки, с принятой вероятностью, равной 0,950 и коэффициенте $R = 0,97600$ (таблица 4.15) установлено, что выполняется условие $F_R > F_T$ (таблица 4.16) при уровне значимости F -критерия, равном $0,00800 < 0,05$. Этим фактором подтверждается адекватность полученной модели и ее значимость.

Анализом также установлено, что коэффициент R^2 (таблица 4.15) имеет значения в интервале 0,80–0,95. Данным фактом подтверждается высокая точность аппроксимации.

В таблице 4.17 приведены области экстремальных значений параметров β_1, β_2 и β_3 , при которых y_2 стремится к своему минимальному значению.

Таблица 4.17 – Области экстремальных значений параметров по определению неравномерности распределения частиц по полю

K	$\beta_1 / n_{\text{ш}}$	β_2 / l_c	β_3 / α_c	$\gamma_2 / v_{\text{п}}$
$\gamma_2 \rightarrow \min$	0,95/850,00	1,00/180,00	0,98/60,20	18,20/18,19

Поверхности с сечениями представлены на рисунках 4.15–4.17.

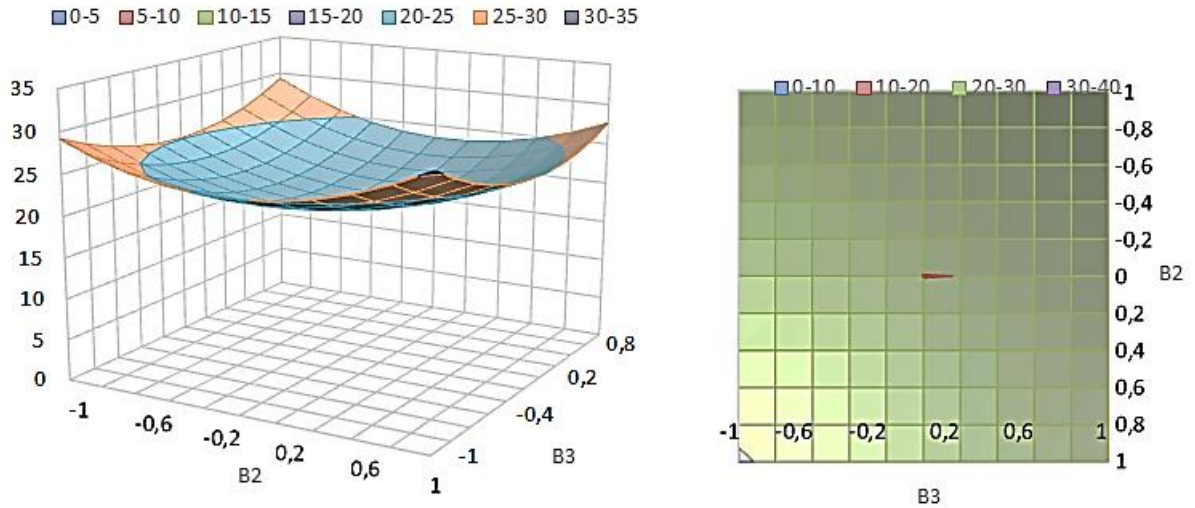


Рисунок 4.15 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_2 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow \min$

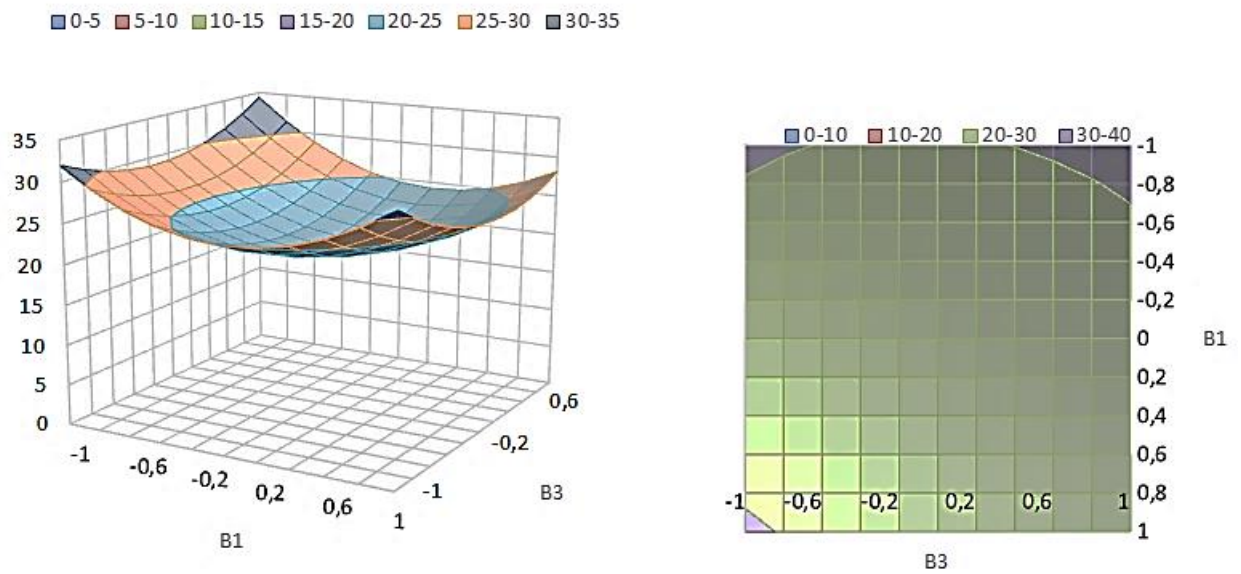


Рисунок 4.16 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_2 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow \min$

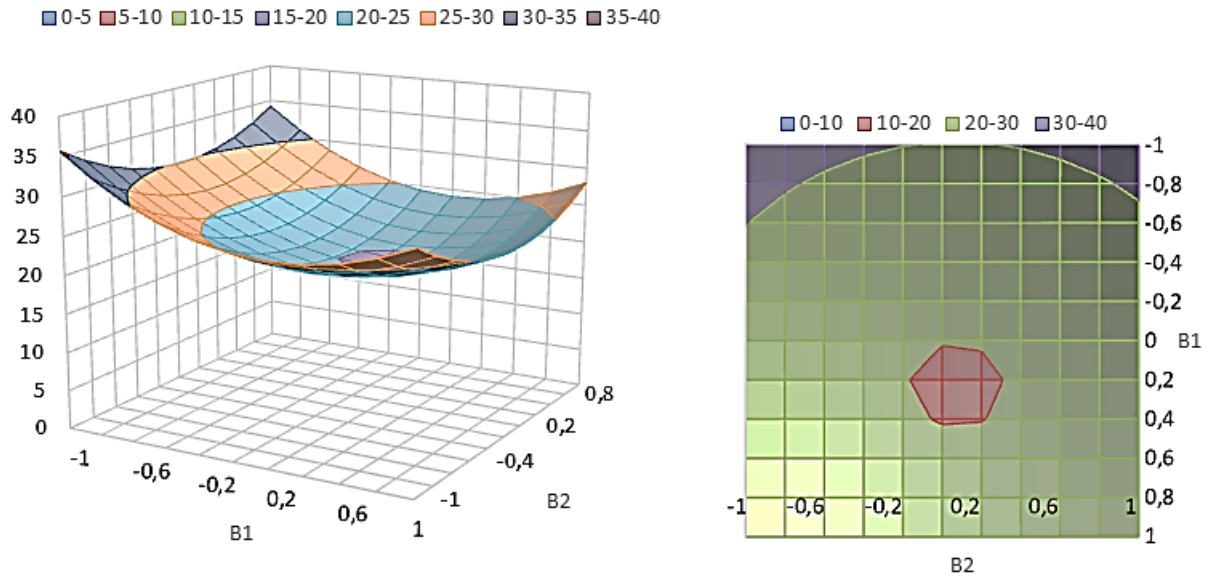


Рисунок 4.17 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_2 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow \min$

По результатам опытов установлено, что оптимальными значениями параметров являются:

$$- n_{ш} = 850 \text{ мин}^{-1};$$

$$- l_c = 180 \text{ мм};$$

$$- \alpha_c = 60,2^\circ,$$

при которых $v_{ш} \rightarrow \min$, равна 18,2 %.

На третьем этапе исследований проведена оценка работы РАСИТ по трем критериям оптимизации с соответствующей совокупностью параметров:

$$v_d / \gamma_3 = f(\lambda_k; l_c; t_{пр}) \rightarrow \text{opt}, \quad (4.7)$$

$$\Pi / \gamma_4 = f(\lambda_k; l_c; t_{пр}) \rightarrow \text{opt}, \quad (4.8)$$

$$\lambda_{и} / \gamma_5 = f(\lambda_k; l_c; t_{пр}) \rightarrow \text{opt}, \quad (4.9)$$

где v_d – неоднородность частиц по длине, %;

Π – показатель потерь в виде несрезанного стеблестоя, %;

$\lambda_{и}$ – степень измельчения стеблестоя, ед.

λ_k – показатель кинематического режима работы агрегата с использованием РАСИТ, ед.

В результате поисковых опытов определены уровни варьирования указанными параметрами.

В таблице 4.18 представлены значения параметров процесса и уровни изменений их значений в диапазоне.

Таблица 4.18 – Значения параметров и уровни изменений значений по определению качественных показателей работы агрегата с использованием РАСИТ

Изменение значений	Значения параметров		
	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{пр}$
По +	7,5400	300,0000	80,0000
По 0	5,3400	180,0000	60,0000
По –	3,3400	60,0000	40,0000
Диапазон	2,0000	120,0000	20,0000

В таблице 4.19 представлен стандартный план трехфакторного эксперимента и его результаты его проведения по 15 опытам.

Таблица 4.19 – Стандартный план эксперимента и результаты опытов по изучению процессов среза, измельчения и распределения

№ опыта	Значения параметров						Выходные параметры		
	в безразмерной системе координат			в натуральном масштабе			$\gamma_3 / v_d, \%$	$\gamma_4 / \Pi, \%$	$\gamma_5 / \lambda_{ш}, \text{ед.}$
	β_1	β_2	β_3	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{пр}$			
1	-1	-1	1	3,34	60,00	80,00	34,00	14,00	1,50
2	1	-1	-1	7,34	60,00	40,00	29,00	8,00	2,00
3	-1	1	-1	3,34	300,00	40,00	38,00	14,80	1,60
4	1	1	1	7,34	300,00	80,00	22,00	10,50	2,10
5	-1	-1	-1	3,34	60,00	40,00	32,00	16,10	1,80
6	1	-1	1	7,34	60,00	80,00	29,00	9,90	2,20
7	-1	1	1	3,34	300,00	80,00	34,00	15,00	1,50
8	1	1	-1	7,34	300,00	40,00	28,00	9,40	2,60
9	-1,215	0	0	2,91	180,00	60,00	30,00	10,20	2,50
10	1,251	0	0	7,84	180,00	60,00	26,50	8,50	2,90
11	0	-1,215	0	5,34	34,20	60,00	16,00	3,00	3,00
12	0	1,251	0	5,34	330,12	60,00	18,00	2,80	3,18
13	0	0	-1,251	5,34	180,00	34,98	15,90	2,40	3,35
14	0	0	1,251	5,34	180,00	85,02	15,70	2,20	3,20
15	0	0	0	5,34	180,00	60,00	14,50	1,85	3,50

После реализации эксперимента по плану и получения данных проведена их обработка (4.13–4.15).

Таблица 4.20 – РА зависимости $\gamma_3 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$, $\gamma_4 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow min$,
 $\gamma_5 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$

K	S	R	R^2	F_R	p
$\gamma_3 \rightarrow opt$	2,238	0,985	0,971	18,591	0,002
$\gamma_4 \rightarrow min$	2,031	0,971	0,943	9,240	0,012
$\gamma_5 \rightarrow opt$	0,279	0,971	0,943	9,245	0,012

Таблица 4.21 – Результаты РА

K	ϵ_0	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_{12}	ϵ_{13}	ϵ_{23}	ϵ_{11}	ϵ_{22}	ϵ_{33}	Адекватность	
											F_R	F_T
γ_3	11,780	-3,220	-	-0,740	-1,750	-0,500	-1,500	11,480	4,030	3,120	18,590	3,590
γ_4	-0,690	-2,270	0,100	-	0,290	0,610	-	7,220	2,920	2,440	9,240	3,590
γ_5	3,87	0,280	0,050	-0,080	0,090	-	0,060	-0,860	-0,590	0,460	9,240	3,590

Получены матмодели, характеризующие процесса изучения процессов среза, измельчения и распределения, которые после отсеивания незначимых коэффициентов имеют вид:

– в кодированном виде:

$$\gamma_3 = 11,780 - 3,220 \cdot \beta_1 - 0,740 \cdot \beta_3 - 1,750 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 - 0,500 \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 - 1,500 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + 11,480 \cdot \beta_1^2 + 4,030 \cdot \beta_2^2 + 3,120 \cdot \beta_3^2 \rightarrow opt; \quad (4.10)$$

$$\gamma_4 = -0,690 - 2,270 \cdot \beta_1 + 0,100 \cdot \beta_2 + 0,290 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 + 0,610 \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 + 7,220 \cdot \beta_1^2 + 2,920 \cdot \beta_2^2 + 2,440 \cdot \beta_3^2 \rightarrow min; \quad (4.11)$$

$$\gamma_5 = 3,870 + 0,280 \cdot \beta_1 + 0,050 \cdot \beta_2 - 0,080 \cdot \beta_3 + 0,090 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 - 0,060 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 - 0,860 \cdot \beta_1^2 - 0,590 \cdot \beta_2^2 - 0,460 \cdot \beta_3^2 \rightarrow opt; \quad (4.12)$$

– в раскодированном виде:

$$v_d = 123,850 - 30,210 \cdot \lambda_k - 0,020 \cdot l_c - 0,790 \cdot t_{np} - 0,007 \cdot \lambda_k \cdot l_c - 0,010 \cdot \lambda_k \cdot t_{np} - 0,0006 \cdot l_c \cdot t_{np} + 2,870 \cdot \lambda_k^2 + 0,0003 \cdot l_c^2 + 0,008 \cdot t_{np}^2 \rightarrow opt; \quad (4.13)$$

$$\Pi = 91,930 - 21,560 \cdot \lambda_k - 0,800 \cdot l_c - 0,820 \cdot t_{np} + 0,010 \cdot \lambda_k \cdot t_{np} +$$

$$+ 1,800 \cdot \lambda_k^2 + 0,0002 \cdot l_c^2 + 0,006 \cdot t_{\text{пр}}^2 \rightarrow \min; \quad (4.14)$$

$$\lambda_{\text{и}} = -8,11 + 2,34 \cdot \lambda_k + 0,01 \cdot l_c + 0,14 \cdot t_{\text{пр}} + 0,0003 \cdot \lambda_k \cdot l_c - \\ - 0,00002 \cdot l_c \cdot t_{\text{пр}} - 0,21 \cdot \lambda_k^2 - 0,00004 \cdot l_c^2 - 0,001 \cdot t_{\text{пр}}^2 \rightarrow \text{opt}. \quad (4.15)$$

По результатам проведенной математической и статистической обработки, с принятой вероятностью, равной 0,950 и с учетом коэффициента $R = 0,98500$, $R = 0,97100$ и $R = 0,97100$ (таблица 4.20) установлено, что выполняется условие $F_R > F_T$ (таблица 4.21) при уровнях значимости F-критерия равных 0,00200, 0,01200 и $0,01200 < 0,05$. Этим фактором подтверждается адекватность полученной модели и ее значимость.

Анализом также установлено, что коэффициент R^2 (таблица 4.15) имеет значения в интервале 0,80–0,95. А также подтверждается высокая точность аппроксимации.

В таблице 4.22 приведены области экстремальных значений параметров β_1 , β_2 и β_3 , при которых γ_3 , γ_4 , γ_5 стремятся к своим оптимальным значениям.

Таблица 4.22 – Области ЭЗ параметров по изучению процессов среза, измельчения и распределения

K	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{\text{пр}}$	γ_{3-5}
$\gamma_3 \rightarrow \text{opt}$	0,41/5,36	0,74/180,00	0,82/60,00	14,50/14,50
$\gamma_4 \rightarrow \text{min}$	0,41/5,34	0,58/179,80	0,63/60,00	1,85/1,84
$\gamma_5 \rightarrow \text{opt}$	0,48/5,34	0,53/180,00	0,53/60,00	3,50/3,51

По полученным данным проведена графическая интерпретация искомым зависимостей в виде их поверхностей и сечений (рисунки 4.18–4.26).

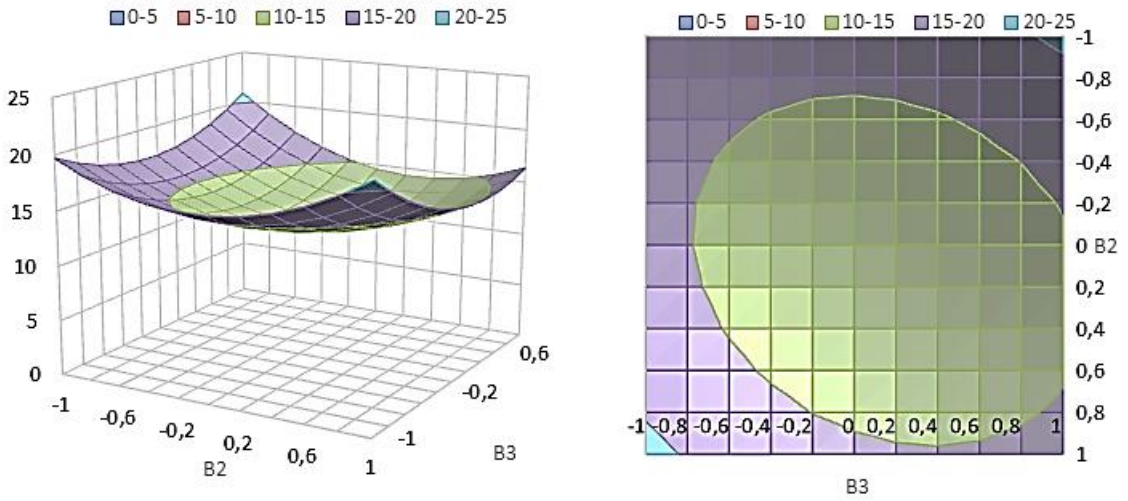


Рисунок 4.18 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_3 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow opt$

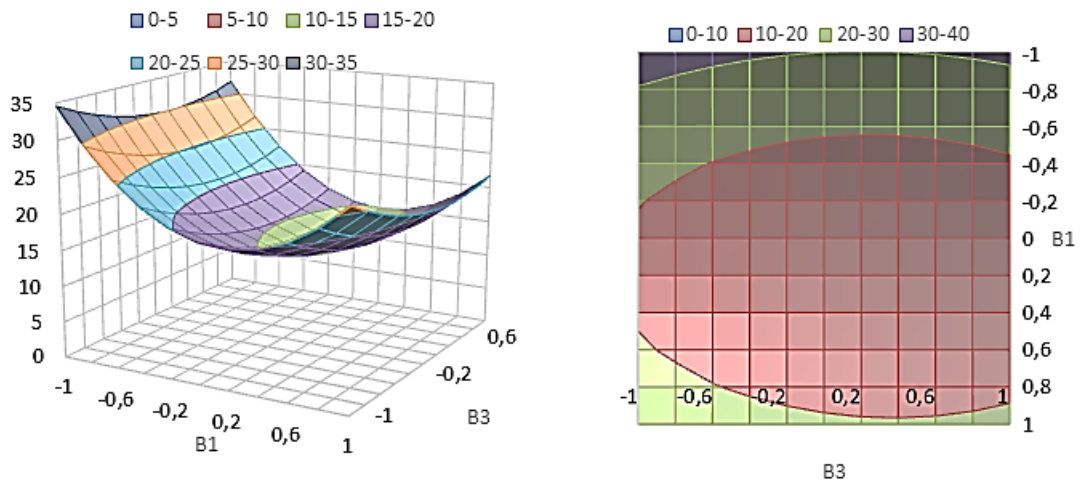


Рисунок 4.19 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_3 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow opt$

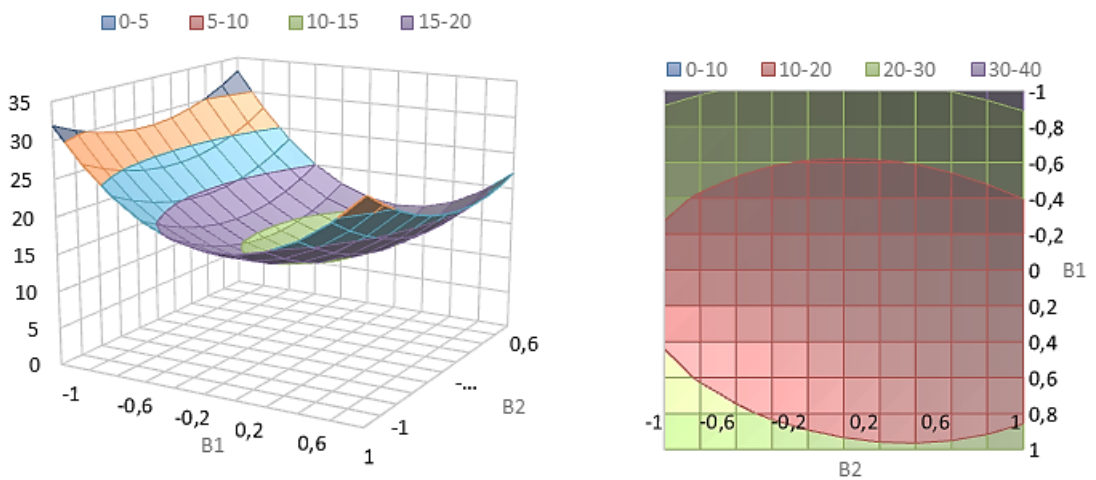


Рисунок 4.20 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_3 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow opt$

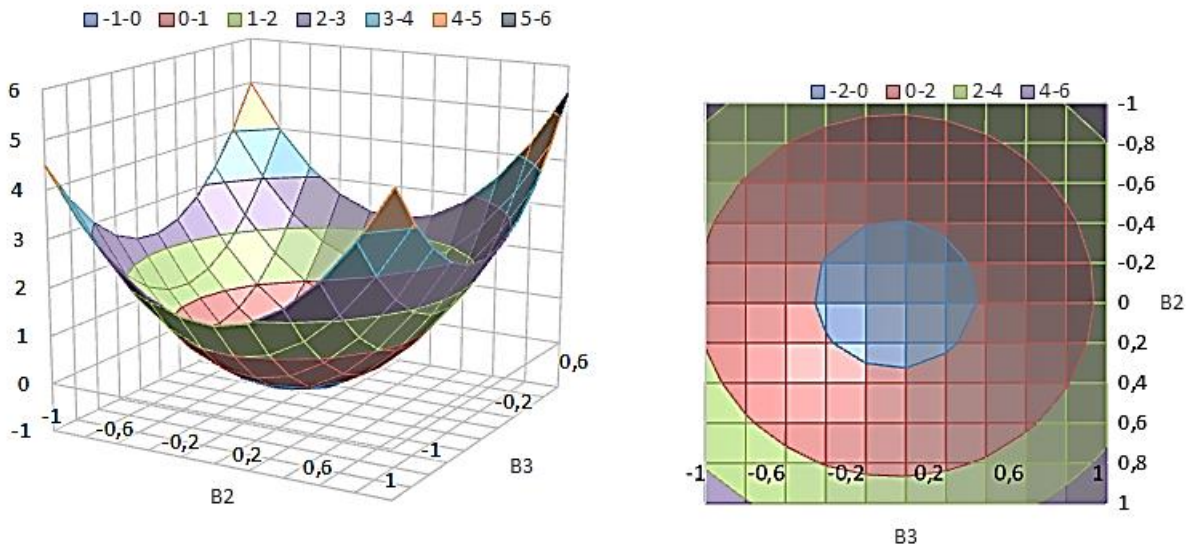


Рисунок 4.21 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_4 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow \min$

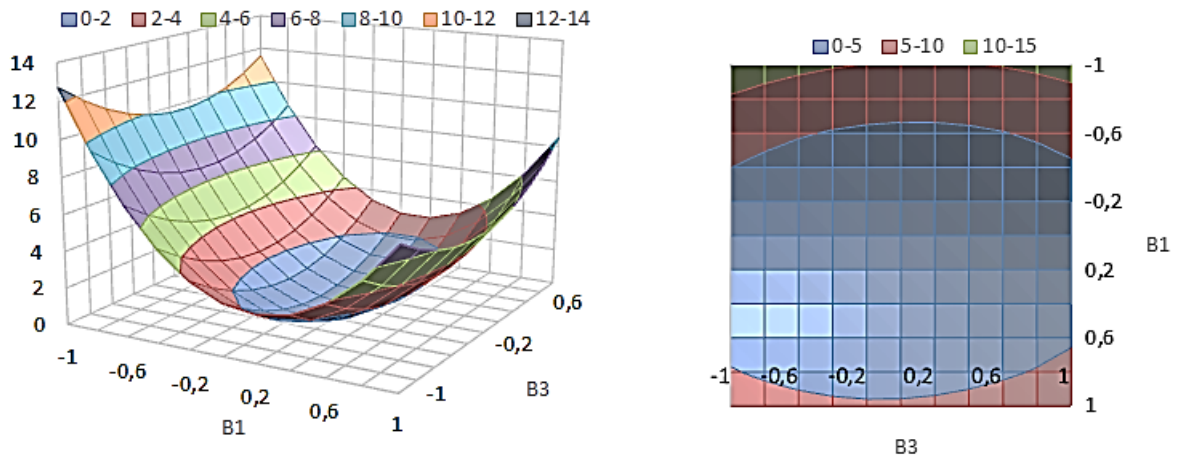


Рисунок 4.22 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_4 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow \min$

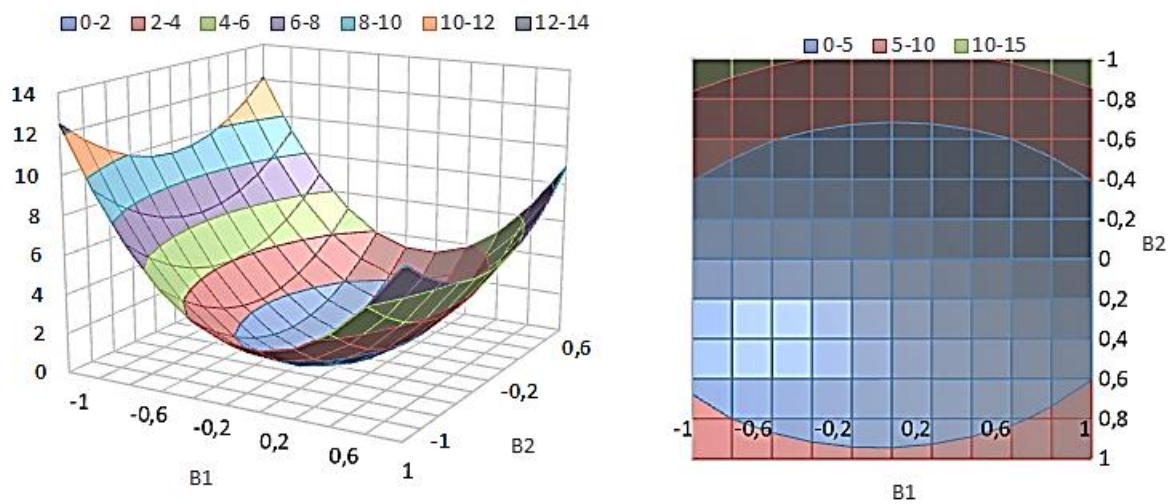


Рисунок 4.23 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_4 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow \min$

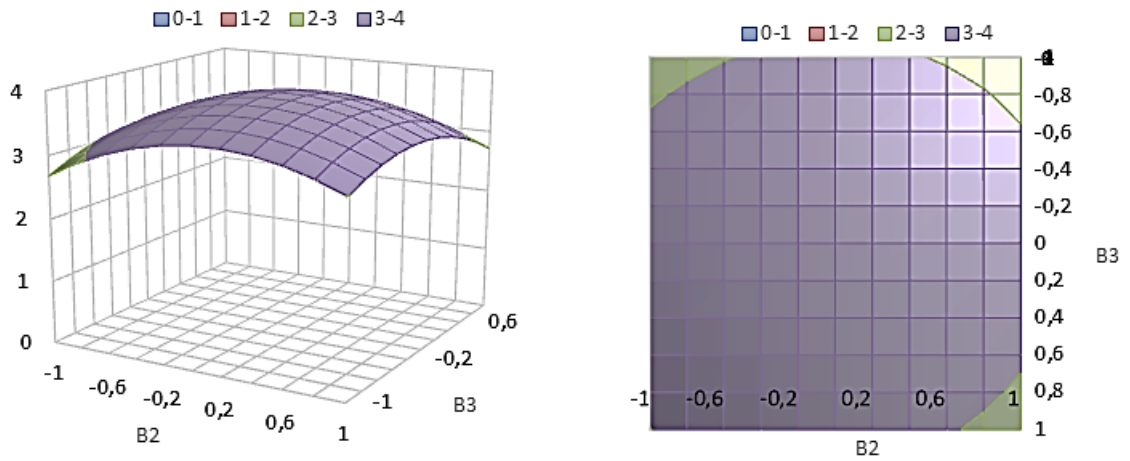


Рисунок 4.24 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_5 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow opt$

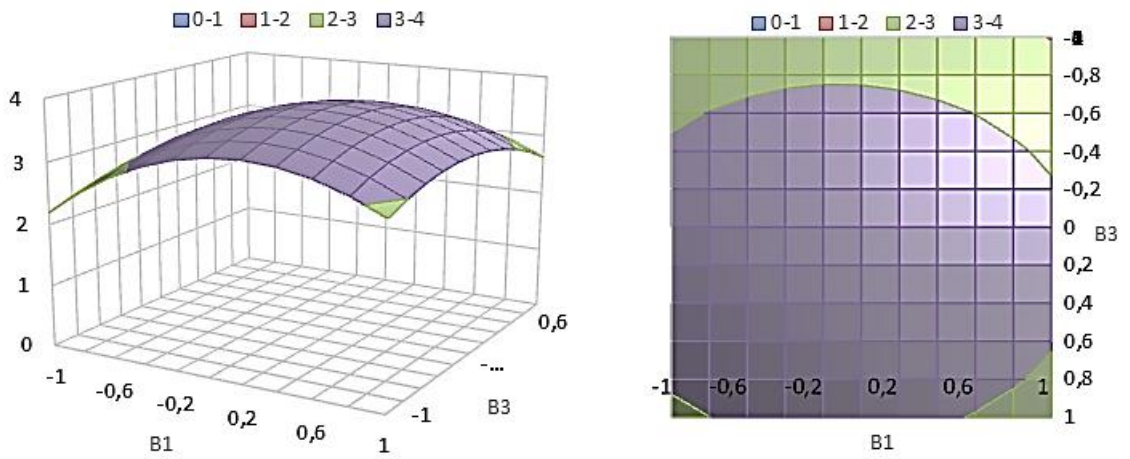


Рисунок 4.25 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_5 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow opt$

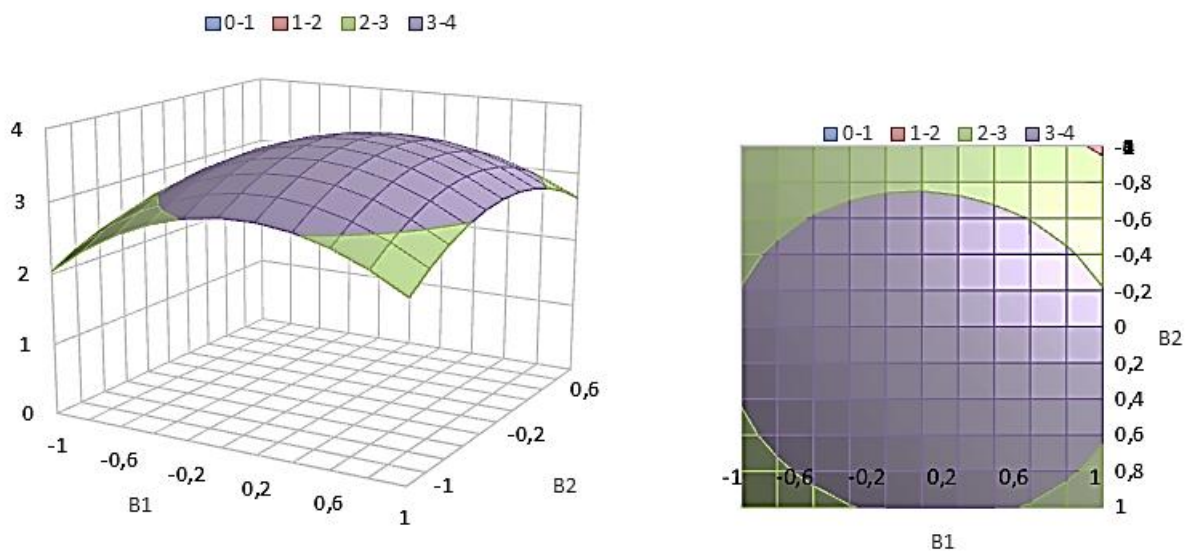


Рисунок 4.26 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_5 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow opt$

На основании полученных данных установлено, что оптимальными значениями параметров, характеризующих эти процессы, являются:

- показатель кинематического режима – $\lambda_k = 5,34\text{--}5,36$ ед;
- шаг установки сегментов – $l_c = 179\text{--}180$ мм;
- шаг установки противорежущих сегментов $t_{пр} = 60,0$ мм,

при которых показатели v_d , Π и λ_k соответственно равны 14,5 %, 1,8 % и 3,51 ед., что соответствует агротехническим требованиям.

На четвертом этапе проведены исследования по установлению следующих зависимостей:

$$H_{ср} / \gamma_6 = f(\lambda_k; l_c; t_{пр}) \rightarrow opt, \quad (4.16)$$

$$\zeta / \gamma_7 = f(\lambda_k; l_c; t_{пр}) \rightarrow opt, \quad (4.17)$$

где $H_{ср} / \gamma_6$ – показатель высоты среза стеблестоя, мм;

ζ / γ_7 – показатель степени расщепления стеблей вдоль волокон, %.

Обозначенные параметры те же, что и для условий третьего этапа: $\beta_1 / \lambda_k; \beta_2 / l_c; \beta_3 / t_{пр}$.

В результате поисковых опытов определены уровни изменений значений указанными параметрами.

В таблице 4.23 представлены значения параметров процесса и изменения их значений в диапазоне.

Таблица 4.23 – Значения параметров и уровни изменений значений по определению качества среза и измельчения

Изменение значений	Значения параметров		
	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{пр}$
По +	7,3400	300,0000	80,0000
По 0	5,3400	180,0000	60,0000
По –	3,3400	60,0000	40,0000
Диапазон	2,0000	120,0000	20,0000

В таблице 4.24 представлен план трехфакторного эксперимента.

Таблица 4.24 – Стандартный план эксперимента и результаты опытов по определению высоты среза и качества измельчения

№ опыта	Значения параметров						Выходные параметры	
	в безразмерной системе координат			в натуральном масштабе				
	β_1	β_2	β_3	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	β_3 / t_{np}	γ_6 / H_{cp} , мм	γ_7 / ζ , %
1	-1	-1	1	3,34	60,00	80,00	74,00	14,20
2	1	-1	-1	7,34	60,00	40,00	69,10	19,20
3	-1	1	-1	3,34	300,00	40,00	7800	10,40
4	1	1	1	7,34	300,00	80,00	68,30	18,70
5	-1	-1	-1	3,34	60,00	40,00	72,30	10,80
6	1	-1	1	7,34	60,00	80,00	67,40	17,00
7	-1	1	1	3,34	300,00	80,00	78,70	17,20
8	1	1	-1	7,34	300,00	40,00	65,50	18,90
9	-1,215	0	0	2,91	180,00	60,00	72,00	20,10
10	1,251	0	0	7,84	180,00	60,00	70,10	20,90
11	0	-1,215	0	5,34	34,20	60,00	54,80	28,00
12	0	1,251	0	5,34	330,12	60,00	61,20	27,10
13	0	0	-1,251	5,34	180,00	34,98	59,40	29,00
14	0	0	1,251	5,34	180,00	85,02	62,30	29,40
15	0	0	0	5,34	180,00	60,00	51,80	31,20

После реализации эксперимента по стандартному плану и получения данных проведена их обработка (4.18–4.20), таблицы 4.25–4.26.

Таблица 4.25 – РА зависимостей $\gamma_6 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$, $\gamma_7 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$

K	S	R	R^2	F_R	p
$\gamma_6 \rightarrow opt$	2,57100	0,98100	0,96200	14,08800	0,00500
$\gamma_7 \rightarrow opt$	2,21100	0,98000	0,96100	13,78000	0,00500

Таблица 4.26 – Результаты РА зависимостей $\gamma_6 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$, $\gamma_7 = f(\beta_1, \beta_2, \beta_3) \rightarrow opt$

K	ϵ_0	ϵ_1	ϵ_2	ϵ_3	ϵ_{12}	ϵ_{13}	ϵ_{23}	ϵ_{11}	ϵ_{22}	ϵ_{33}	Адекватность	
											F_R	F_T
γ_6	53,270	-3,280	1,390	0,640	-1,640	-	0,440	11,40	2,740	4,480	14,090	3,590
γ_7	33,890	2,110	0,310	0,740	-	-1,570	0,670	-9,450	-4,770	-3,550	13,780	3,590

Получены матмодели, характеризующие процесс определения высоты среза и качества измельчения, которые после отсеивания незначимых коэффициентов имеют следующий вид:

– в кодированном виде:

$$\gamma_6 = 53,270 - 3,280 \cdot \beta_1 + 1,390 \cdot \beta_2 + 0,640 \cdot \beta_3 - 1,640 \cdot \beta_1 \cdot \beta_2 + 0,440 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 + 11,400 \cdot \beta_1^2 + 2,740 \cdot \beta_2^2 + 4,480 \cdot \beta_3^2 \rightarrow opt; \quad (4.18)$$

$$\gamma_7 = 33,890 + 2,110 \cdot \beta_1 + 0,310 \cdot \beta_2 + 0,740 \cdot \beta_3 - 1,570 \cdot \beta_1 \cdot \beta_3 + 0,670 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 - 9,450 \cdot \beta_1^2 - 4,770 \cdot \beta_2^2 - 3,550 \cdot \beta_3^2 \rightarrow opt; \quad (4.19)$$

– в раскодированном виде:

$$H_{cp} = 179,900 - 30,600 \cdot \lambda_k - 0,030 \cdot l_c - 1,320 \cdot t_{np} - 0,007 \cdot \lambda_k \cdot l_c + 0,0002 \cdot l_c \cdot t_{np} + 2,850 \cdot \lambda_k^2 + 0,0002 \cdot l_c^2 + 0,011 \cdot t_{np}^2 \rightarrow opt; \quad (4.20)$$

$$\zeta = -94,600 + 28,750 \cdot \lambda_k + 0,110 \cdot l_c + 1,260 \cdot t_{np} - 0,040 \cdot \lambda_k \cdot t_{np} + 0,0003 \cdot l_c \cdot t_{np} - 2,360 \cdot \lambda_k^2 + 0,0003 \cdot l_c^2 + 0,009 \cdot t_{np}^2 \rightarrow opt. \quad (4.21)$$

По результатам проведенной математической и статистической обработки, с принятой вероятностью, равной 0,950 и коэффициенте $R = 0,98100$ и $R = 0,98000$ (таблица 4.25) установлено, что выполняется условие $F_R > F_T$ (таблица 4.26) при уровнях значимости F-критерия равных 0,00500, и $0,00500 \leq 0,05$. Данным фактором подтверждается адекватность полученной модели и ее значимость.

В ходе проведения анализа также установлено, что коэффициент R^2 (таблица 4.15) имеет значения в интервале 0,80–0,95, что подтверждается высокой точностью аппроксимации.

В таблице 4.27 приведены области экстремальных значений параметров β_1 , β_2 и β_3 , при которых γ_6 , γ_7 стремятся к своему оптимальному значению.

Таблица 4.27 – Области ЭЗ параметров по определению высоты среза и качества измельчения

K	β_1 / λ_k	β_2 / l_c	$\beta_3 / t_{пр}$	γ_{6-7}
$\gamma_6 \rightarrow opt$	0,14/5,34	0,00/181,00	0,00/59,00	51,80/51,81
$\gamma_7 \rightarrow opt$	0,20/5,35	0,62/180,00	0,68/60,00	31,20/31,19

Графическая интерпретация показана (рисунки 4.27–4.32).

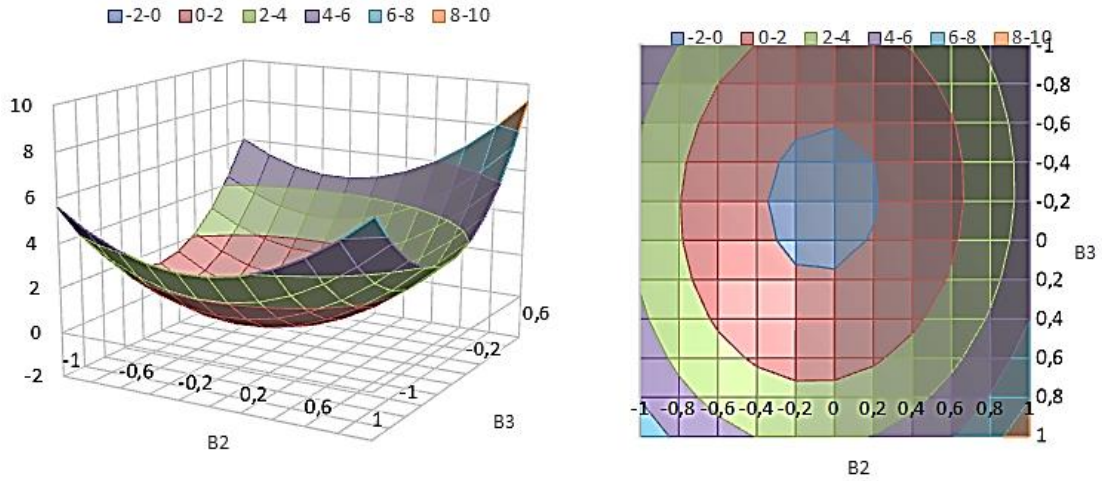


Рисунок 4.27 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_6 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow opt$

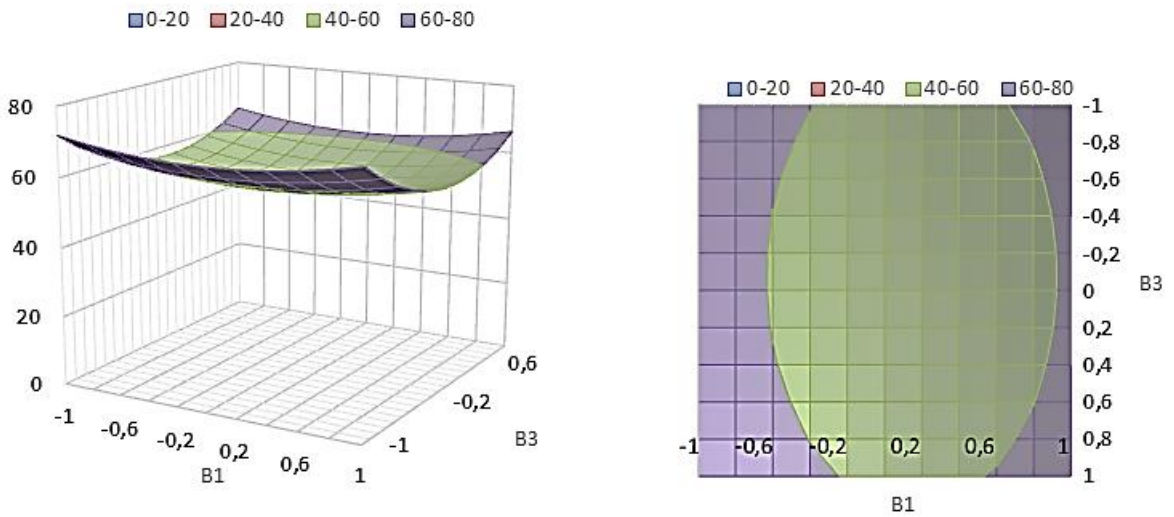


Рисунок 4.28 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_6 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow opt$

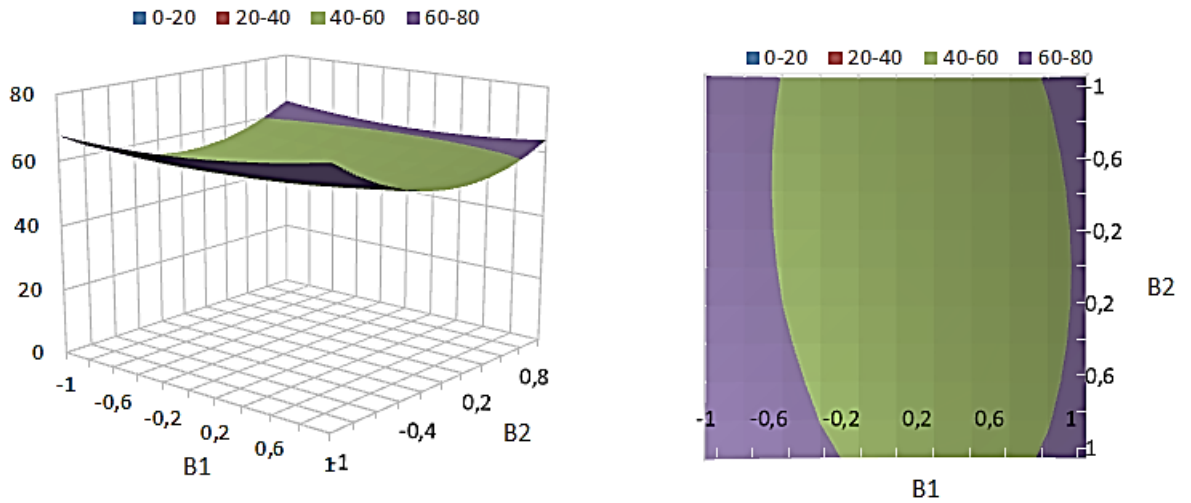


Рисунок 4.29 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_6 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow opt$

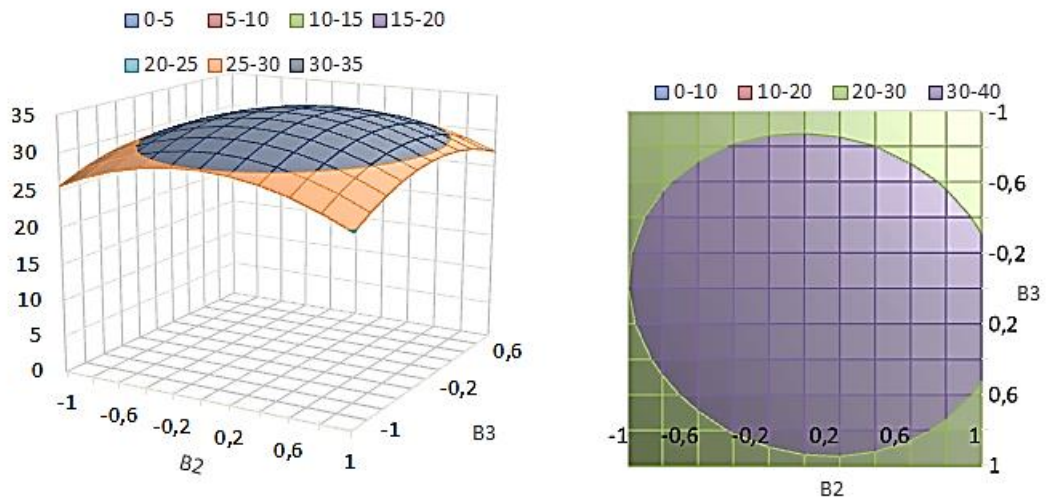


Рисунок 4.30 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_7 = f(\beta_1 = 0; \beta_2; \beta_3) \rightarrow opt$

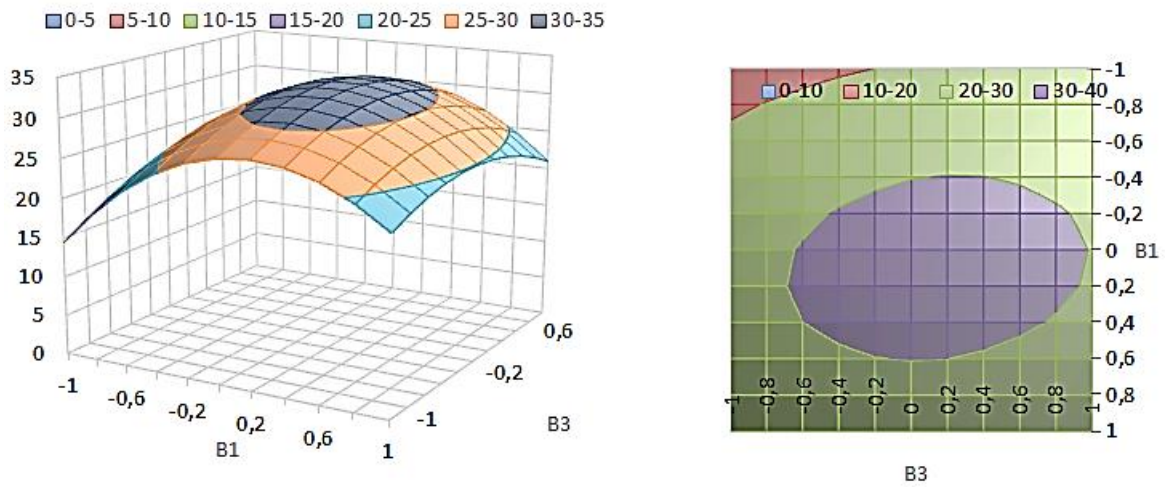


Рисунок 4.31 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_7 = f(\beta_1; \beta_2 = 0; \beta_3) \rightarrow opt$

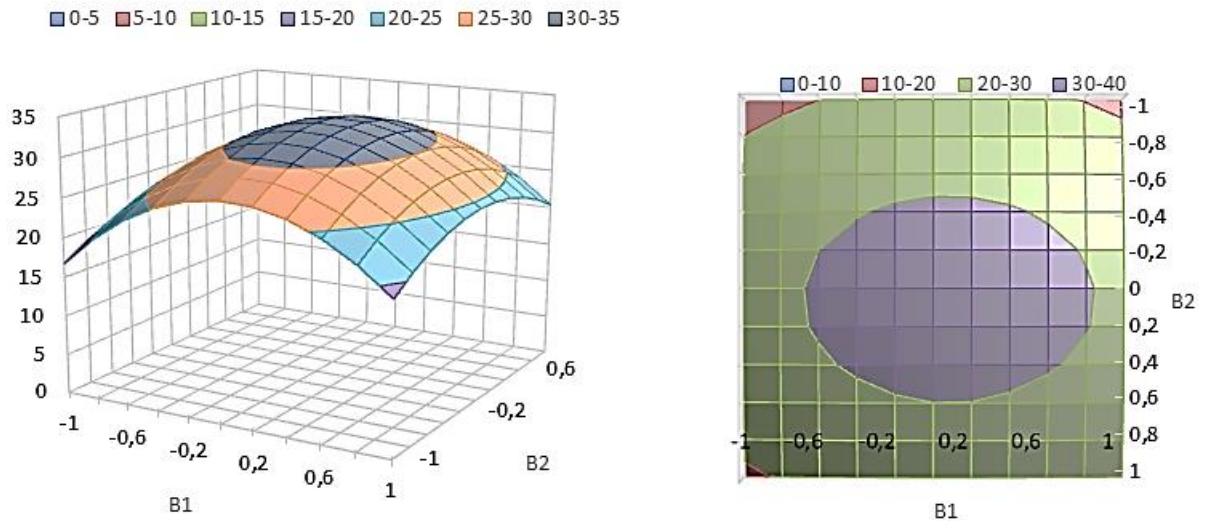


Рисунок 4.32 – Графическое место точек для зависимости $\gamma_7 = f(\beta_1; \beta_2; \beta_3 = 0) \rightarrow opt$

Оптимальными значениями параметров являются:

- $\lambda_k = 5,34\text{--}5,35$ ед.;
- $l_c = 180\text{--}181$ мм;
- $t_{пр} = 59,0\text{--}60,0$ мм,

при которых $H_{ср} = 51,8$ мм и $\zeta = 31,19$ %.

На заключительном этапе установлены однофакторные зависимости следующего вида:

- $N = f(n_{ш}),$ кВт;
- $Q_a = f(n_{ш}),$ кг/с;
- $N_3 = f(Q_a),$ кВт·с/кг.

Результаты приведены на рисунке 4.33.

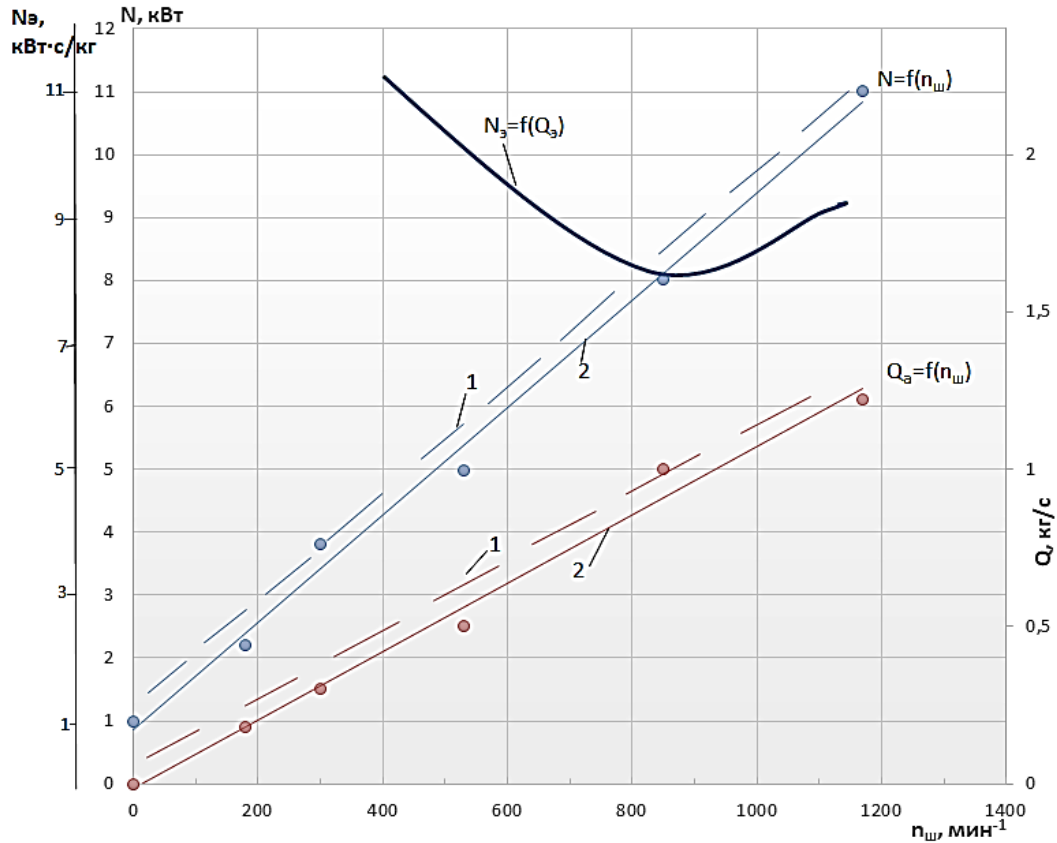


Рисунок 4.33 – Зависимости затрат энергии N , N_3 и производительности Q от частоты вращения шнека – $n_{ш}$:

1 – теоретические по формулам:
 для $Q_a = f(n_{ш}) - (2.64)$, для $N = f(n_{ш}) - (2.87)$;
 2 – экспериментальные

При этом значения коэффициентов C_1 и C_2 , определяющих значения энергоемкости $N_3 = f(n_{ш})$ (рисунок 4.33), установлены исходя из условия, при котором $\lambda_k = 5,34$ ед., а $\lambda_n = 3,5$ ед.

Для значения $\lambda_k = 5,34$ ед. принято, что $v_a = 2,5$ м/с, а $v_n = 850 \text{ мин}^{-1} = 13,35$ м/с.

$$\lambda_k = \frac{13,35}{2,5} = 5,34 \text{ ед.};$$

$$N = 600 \text{ н} \cdot 13,35 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 8,01 \text{ кВт};$$

$$N_{min} = 600 \text{ н} \cdot 8,32 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 4,99 \text{ кВт};$$

$$N_{max} = 600 \text{ н} \cdot 18,37 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 11,022 \text{ кВт}.$$

Значения коэффициентов C_1 и C_2 определены из условия, что $Q_a = 1,0$ кг/с. Тогда A_1 и $A_2 = 8010$ Дж/кг. При известном соотношении $A_1 / A_2 = 9,4-12,0$ (по данным профессора Мельникова С. В.), $A_2 = 0,667 \cdot 10^3$ Дж/кг, а $A_1 = (8,010 \cdot 10^3) - (0,667 \cdot 10^3) = 7,343 \cdot 10^3$ Дж/кг.

При $\lambda_{и} = 3,5$ ед. значения коэффициентов равны:

$$C_1 = \frac{7,343 \cdot 10^3}{1g3,5^3} = 1,58596 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг};$$

$$C_2 = \frac{0,667 \cdot 10^3}{(3,5-1)} = 0,2668 \cdot 10^3 \text{ Дж/кг}.$$

Установленные величины данных коэффициентов позволяют, при их использовании в зависимостях (2.81) – (2.84) определять значения любого из параметров, входящих в эти зависимости.

Степень сходимости по теоретическим и экспериментальным данным (рисунок 4.35) равна:

– для $Q_a = f(n_{ш})$:

$$\delta_Q = \left(1 - \frac{0,95 \text{ кг/с}}{1,0 \text{ кг/с}}\right) \cdot 100 \% = \pm 5,0 \%;$$

– для $N = f(n_{ш})$:

$$\delta_N = \left(1 - \frac{7,50 \text{ кВт}}{8,01 \text{ кВт}}\right) \cdot 100 \% = \pm 6,4 \%.$$

Для сравнительной ТЭ оценки предложенного устройства с аналогом, можно использовать формулу (2.1) при значениях $\Theta = 100 - 14,5 = 85,5 \%$, $Q_a = 1,0$ кг/с и $\lambda_{и} = 3,5$ ед. Тогда имеем, что

$$\mathcal{E}_{\text{предложенного}} = \frac{N}{Q_a \cdot (100 - 14,5) \cdot \lambda_{и}} = \frac{8010}{1,0 \cdot 85,5 \cdot 3,5} = 26,77 \frac{\text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \% \cdot \text{ед}}.$$

При этом $\mathcal{E}_{п} < \mathcal{E}_{\text{базового}}$.

4.3 Выводы по главе

1. В результате изучения резания стеблей на срезающе-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 град при шаге установки сегментов 240 мм, минимальное значение угла наклона стебля 37,75 град при шаге установки сегментов 480 мм;

– по камышу: максимальное время среза – 0,095 с шаге установки сегментов – 180 мм; максимальное значение угла наклона стебля 60,26 град при шаге установки сегментов 60 мм, минимальное значение угла наклона стебля 35,26 град при шаге установки сегментов 300 мм;

– степень измельчения 83–120 мм составила более 85 % стеблей с учетом исходных требований на базовые машинные технологические операции в растениеводстве.

2. Проведенными исследованиями по методике многофакторного эксперимента, после соответствующей математической обработки установлено, что значениями параметров являются:

– частота вращения шнекового рабочего органа с режуще-измельчающими сегментами – 850,0 мин⁻¹;

– шаг установки сегментов по винтовой кромке шнека – 180,0 мм;

– угол наклона режущей части сегментного ножа – 60,0°;

– шаг установки противорежущих сегментов – 60,0 мм;

– показатель кинематического режима работы агрегата – 5,34 ед.

При которых:

– энергоемкость процесса – 8,01 кВт·с/кг;

– неоднородность частиц – 18,2 %;

– неоднородность частиц по длине 14,5 %;

– показатель потерь в виде несрезанного стеблестоя – 1,8 %;

- степень измельчения стеблестоя – 3,51 ед.;
- показатель высоты среза стеблестоя – 51,8 мм;
- показатель степени расщепления стеблей вдоль волокон – 31,19 %.

Полученные данные необходимы для проектирования и конструирования машин предложенного типа.

3. 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, а производительность от 0,5 кг/с до 1,22 кг/с, энергоёмкость от 11,022 до 4,99 кВт·с/кг.

4. Расхождение теоретических результатов и экспериментальных данных $Q_a = 1,0$ кг/с, $v_n = 13,35$ м/с, $v_a = 2,5$ м/с и $\lambda_k = 5,34$ ед., составляет для направления разрушения в стебле составляет « $Q - \delta_Q$ » – 5 % и « $N - \delta_N$ » – 6,4 %.

5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Нами разработана и экспериментально проверена конструкция универсальной тракторной косилки для уборки толстостебельных культур.

В таблице 5.1 приведена сравнительная характеристика близких по назначению решений и разработанной нами косилки [48].

Таблица 5.1 – Средства механизации

Показатель	Значение			
	ИМС-2,4	КИР 1,5	КИП-1,4	Разработанная косилка
Агрегируется с энергомашинами	Трактора класса 1,4 т. с.	Трактора класса 1,4 т. с.	Трактора класса 1,4 т. с.	Трактора класса 1,4 т. с.
Часовая производительность га/ч	2	1,2	4,2	3,8
Расход топлива кг/га	13,9	14,3	15	12
Масса, кг	1200	850	1000	300
Годовая наработка, ч	150	150	150	200
Цена, руб.	420000	450000	403000	238000
Возможность применения на культурах	Кукуруза, подсолнечник	Кукуруза, подсолнечник	Кукуруза, подсолнечник	Кукуруза, подсолнечник, камыш, сорняки

Расчет выполнялся по ГОСТ 34393-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. Методика в приложении Е.

Расчет затрат на материалы и покупные изделия представлены в таблице 5.2, а в таблице 5.3 вид работ с трудоемкостью и стоимостью.

Таблица 5.2 – Материальные затраты

Материал, деталь	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
Балка приводная, шт.	1	62000	62000
Рама, шт.	1	16000	16000
Корпус редуктора с приводом, шт.	1	2400	2400
Труба редуктора левая, шт.	1	14400	14400

Продолжение таблицы 5.2

Материал, деталь	Количество	Цена за ед., руб.	Стоимость, руб.
Труба редуктора правая, шт.	1	5700	5700
Правая опора в сборе, шт.	1	23000	23000
Вал, шт.	1	3300	3300
Корпус редуктора, шт.	1	7540	7540
Крышка, шт.	4	1800	7200
Гидромотор шестеренный ГМШ 50А-3Л, шт.	1	11000	11000
Сегмент режущего аппарата комбайна Нива Эффект, шт.	50	100	5000
Шнек колосовой от РСМ10Б, шт.	1	8000	8000
Шланг, м	2	200	400
Вал привода, шт.	1	3600	3600
Натяжник, шт.	1	3200	3200
Звездочка, шт.	1	5000	5000
Подшипники, заглушки, масленки и др.	x	7500	7500
Метизы, кг	4	550	2200
Электроды, кг	3	350	1050
Итого			188490
Транспортно-заготовительные расходы			37698
Всего			226188

Рыночная стоимость составляет 226,2 тыс. руб. (таблица 5.5).

Таблица 5.3 – Виды и стоимость работ

Вид работ	Разряд	Продолжительность, ч	Тарифная ставка, руб./ч	Стоимость, руб.
Слесарно-сборочные	4	35	180	6300
Станочные	4	9	250	2250
Сварочные	4	4	250	1000
Итого:				9550
Отчисления в фонд социального страхования (30 %), руб.				2865,0
Общепроизводственные и общехозяйственные расходы, руб.				496,6
Всего				12415,0

Стоимость работ по созданию разработанной косилки составляет 12,4 тыс. руб.

Стоимость предлагаемого решения:

$$K_{\pi} = 226188 + 12415 = 238603 \text{ руб.}$$

Результаты расчета технико-экономических показателей на основании нашей работы [48] отражены в таблице 5.4.

Таблица 5.4 – Результаты расчета

Показатель	Значение			
	ИМС-2,4	КИР 1,5	КИП-1,4	Разработанная косилка
Затраты труда, чел.-ч/га	0,5	0,8	0,2	0,3
Производительность труда, га/чел.-ч	2,0	1,2	4,2	3,8
Эксплуатационные затраты, руб./га	1379	1890	1070,1	871,1
в том числе: оплата труда	150	251	71,6	79,1
– амортизация	277	480	129	99,2
– ремонты и ТО	251	435	116,7	89,6
– топливно-смазочные материалы	695	715	750	600
– прочие прямые затраты	6	10	2,9	3,2
Металлоемкость, кг/га	5,6	7,5	2,4	1,3
Энергоемкость, кВт·ч/га	30	50	14,3	15,8

Проведенные исследования показали, что разработанная машина по большинству технико-экономических показателей использования превосходит имеющиеся на рынке аналоги. Эксплуатационные затраты составляют 871 руб./га, что 20–50 % меньше всех рассматриваемых вариантов.

Для расчета эффекта от внедрения разработанной машины в реальное производство нами будет использовано модельное хозяйство региона. Это организация с площадью пашни 5600 га, численностью работников – 110 человек, поголовьем КРС – 450 ед. В составе машинно-тракторного парка 6 тракторных косилок различных модификаций. При выполнении сравнительной оценки, нами будет использовано среднее значение по показателям их производительности, расходу топлива и др.

Экономическая эффективность внедрения в производственный процесс модельного хозяйства разработанной косилке представлена в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Эффективность внедрения разработки на примере модельного сельскохозяйственного предприятия региона

Показатель	Значение		Эффект	
	серийных моделей (среднее значение)	разработанной машины	абсолютный	относит., %
Стоимость машины, тыс. руб.	424,3	238	-186,3	-43,9
Часовая производительность га/ч	2,5	3,8	1,3	54,1
Расход топлива кг/га	14,4	12	-2,4	-16,7
Затраты труда, чел.-ч/га	0,4	0,3	-0,14	-34,2
Производительность труда, га/чел.-ч.	2,5	3,8	1,3	52,0
Эксплуатационные затраты, руб./га	1269,6	871,1	-398,5	-31,4
в том числе: оплата труда	120,3	79,1	-41,1	-34,2
– амортизация	222,8	99,2	-123,6	-55,5
– ремонты и ТО	201,7	89,6	-112,1	-55,6
– топливно-смазочные материалы	720	600	-120	-16,7
– прочие прямые затраты	4,8	3,2	-1,6	-34,2
Металлоемкость, кг/га	4,0	1,3	-2,8	-68,7
Энергоемкость, кВт. · ч/га	24,0	15,8	-8,2	-34,2
Дополнительные капиталовложения, руб.	1428		x	
Ожидаемый годовой экономический эффект, руб.	425			
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет	3,4			
Коэффициент фактической эффективности капиталовложений	0,3			

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

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. Посредством разработанной формализованной модели взаимодействия элементов системы «поле – почва – стебельная масса на корнях – измельчающий агрегат» обоснована структурно-функциональная схема срезающе-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 срезающе-измельчающего аппарата получать прогнозируемые значения степени измельчения стеблей, а также показателя кинематического режима в зависимости от исходных требований и предполагаемых значений параметров срезающе-измельчающего аппарата при различных вариациях.

3. В результате изучения резания стеблей на срезающе-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 $35,26^\circ$ 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.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абаев В. В. Оптимизация машинно-технологического обеспечения системы ресурсосберегающих технологий уборки зерновых культур в регионах с широким диапазоном распределения урожайности (на примере Краснодарского края) : дисс. ... д-ра техн. наук / Абаев Василий Васильевич. – Ростов-н/Д, 2011. – 348 с.

2. Абаев В. В. Машинно-технологическое обеспечение ресурсосберегающих процессов уборочно-транспортного комплекса с применением почвообрабатывающего агрегата : монография / В. В. Абаев. – Краснодар : КубГАУ, 2010. – 113 с.

3. Алдошин Н. В. Пути повышения качества работы косилок и жаток / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, Н. А. Лылин // Вестник ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В. П. Горячкина. – 2017. – № 4(80). – С. 7–13.

4. Алдошин Н. В. Совершенствование конструкции сегментнопальцевых режущих аппаратов / Н. В. Алдошин, А. А. Золотов, Н. А. Лылин // Вестник НГИЭИ. – 2017. – № 6(73). – С. 46–53.

5. Алешкин В. Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов : дисс. ... д-ра техн. наук : 05.20.01 / Алешкин Владимир Романович. – Киров, 1995. – 412 с.

6. Анискин В. И. Исходные требования на базовые машинные технологические операции в растениеводстве / В. И. Анискин, А. А. Артюшин. – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 270 с.

7. Бахарев Д. Н. Повышение эффективности технологического процесса обмолота и разработка конструкции молотилки початков кукурузы : дисс. ... канд. техн. наук: 05.05.11 / Бахарев Дмитрий Николаевич. – Луганск, 2007. – 188 с.

8. Белянчиков Н. Н. Механизация животноводства / Н. Н. Белянчиков, А. И. Смирнов. – М. : Агропромиздат, 1989.

9. Босой Е. С. Режущие аппараты уборочных машин / Е. С. Босой. – М. : Машиностроение, 1967. – 167 с.

10. Брагинец Н. В. Изучение конструктивно-технологических параметров рабочего органа для измельчения грубых и стебельчатых кормов / Н. В. Брагинец, А. А. Вертий // Вестник Харьковского национального технического университет сельского хозяйства им. Петра Василенко. – Харьков : ХНТУСГ, 2013. Вып. 132. – С. 223–227.

11. Брагинец Н. В. К методике исследований некоторых механико-технологических свойств початков и зерна основных подвидов кукурузы / Н. В. Брагинец, Д. Н. Бахарев, В. Н. Демченко // Научный вестник Луганского национального аграрного университета. Серия : Технические науки. – Луганск : ЛНАУ, 2011. – № 29. – С. 220–232.

12. Брагинец Н. В. Повышение эффективности технологического процесса измельчения грубых и стебельчатых кормов / Н. В. Брагинец, А. А. Вертий // Научный вестник ПФ НУБИП Украины «КАТУ». Серия : Технические науки. Выпуск 153. – Симферополь : ВД «АРИАЛ», 2013. – С. 96–99.

13. Бремер Г. И. Основы теории резания лезвием и расчет режущих машин животноводческих ферм / Г. И. Бремер. – М. : ВСХИЗО, 1963. – 75 с.

14. Будашов И. А. Обоснование параметров ротационно-дискового режущего аппарата для резания толстостебельных культур : автореф. дисс. ... канд. техн. наук: спец. 05.20.01. – «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» / И. А. Будашов. – Барнаул, 2013. – 22 с.

15. Бурмистрова М. В. Физико-механические свойства сельскохозяйственных растений / Бурмистрова М. В. – М. : Сельхозгиз, 1956. – 145 с.

16. Буянов А. И. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. (Методы исследования, приборы, характеристики) / А. И. Буянов, Б. А. Воронюк. – М. : Колос, 1970. – 423 с.

17. Василенко И. Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин / И. Ф. Василенко. – ОНТИ, 1937. – 159 с.

18. Василенко И. Ф. Экспериментальная теория режущих аппаратов. Теория, конструкция и производство машин / И. Ф. Василенко. – М.-Л. : Сельхозиздат, т. IV, 1936. – С. 111–178.

19. Василенко И. Ф. Теория режущих аппаратов жатвенных машин / И. Ф. Василенко // Труды ВИСХМО. – М. : 1937. № 5. – С. 7–14.

20. Варданян Г. С. Сопротивление материалов с основами упругости и пластичности : учебник / под ред. Г. С. Варданян, В. И. Андреев, Н. М. Атаров, А. А. Горшков. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2011. – 638 с. – С. 12.

21. Веденяпин Г. В. Общая методика экспериментальных исследований и обработки опытных данных / Г. В. Веденяпин. – М. : Колос, 1973. – 100 с.

22. Вертий А. А. Результаты экспериментально-теоретических исследований производительности измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно-подвешенными комбинированными ножами / А. А. Вертий // Актуальные проблемы агроинженерии в XXI веке : матер. Междунар. науч.-практ. конф. посвященной 30-летию кафедры технической механики конструирования машин. – п. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 34–39.

23. Вольвак С. Ф. Анализ математической модели технологического процесса измельчения стебельчатых кормов // С. Ф. Вольвак, В. И. Шаповалов / Известия Международной академии аграрного образования. – Вып. 25 (2015). – Том 1. – С.-П. : СПб РО МААО, 2015. – С. 90–93.

24. 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. – Белгород : ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА», 2015. – № 3 (7). – С. 9–16.

25. Вольвак С. Ф. Теоретические исследования измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно подвешенными комбинированными ножами / С. Ф. Вольвак, Д. Н. Бахарев, А. А. Вертий // Инновации в АПК : проблемы и перспективы. – Белгород : ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА», 2016. – № 3 (11). – С. 24–34.

26. Вольвак С. Ф. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами / С. Ф. Вольвак, Д. Н. Бахарев, А. А. Вертий, Е. Е. Корчагина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгород : ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА», 2017. – № 3(13). – С. 23–32.

27. Геррман Х. Шнековые машины в технологии / Х. Геррман. – Л. : Химия, 1975. – 232 с.

28. ГОСТ Р 54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2012.

29. ГОСТ 24055-2016 Техника сельскохозяйственная. Методы эксплуатационно-технической оценки [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://docs.cntd.ru/document/1200144754>.

30. Горячкин В. П. Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / В. П. Горячкин // Собр. соч. – Т. 2. – М. : Сельхозгиз, 1936. – 530 с.

31. Горячкин В. П. Собрание сочинений в семи томах. Том 5. / под ред. д-ров с.-х. наук И. Ф. Василенко, В. А. Желиговского, Н. Д. Лучинского, С. В. Полетаева и канд. с.-х. наук К. А. Полевицкого. – М. : Сельхозгиз, 1940.

32. Гулевский В. А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов / В. А. Гулевский, А. А. Вертий // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2018. – № 3 (58). – С. 120–128.

33. Гулевский В. А. Результаты экспериментальных исследований производительности измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно подвешенными комбинированными ножами и энергетики процесса измельчения / В. А. Гулевский, А. А. Вертий, Д. Н. Бахарев, С. Ф. Вольвак // Роль аграрной науки в развитии АПК РФ. Матер. междунар. научн.-практ. конф., посв. 105-летию ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ. Ч. 1. – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 220–226.

34. Гмурмин В. Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистики / В. Е. Гмурмин. – М. : ООО Высшее образование, 2006. – 404 с.
35. Гутьяр Е. М. К теории резания стеблей / Е. М. Гутьяр // Сельхозмашина. – 1931. – № 7. – С. 12–13.
36. Гячева В. Н. Применение насеченных сегментов на косилках / В. Н. Гячева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1953. – № 7. – С. 15–21.
37. Долгов И. А. Машины для уборки сельскохозяйственных культур. Т. 4. Кн. 1 / И. А. Долгов. – Зеленоград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2011. – 582 с.
38. Долгов И. А. Уборочные сельскохозяйственные машины (Конструкция, теория, расчет) : учебник / И. А. Долгов. – Ростов-н/Д : ДГТУ, 2003. – 707 с.
39. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) : учебник для высш. с.-х. учеб. заведений / Б. А. Доспехов. – Изд. 5-е., доп. и перераб., стер. изд. – М. : Альянс, 2014. – 351 с.
40. Дроздов Н. И. Исследование процесса резания трав и зерновых культур режущими аппаратами уборочных сельскохозяйственных машин / Н. И. Дроздов // Труды ВИСХОМа. – М. : ЦБТИ, 1961. – 143 с.
41. Ежевский А. А. Многократное энерго- и ресурсосбережение при высокой урожайности / А. А. Ежевский, Н. К. Мазитов, Ю. Б. Четыркин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2010. – № 3. – С. 44–47.
42. Ежевский А. А. Современное состояние и тенденции развития сельскохозяйственной техники. Научно-аналитический обзор по материалам международной выставки «SiMa-2005» / А. А. Ежевский, В. И. Черноиванов, В. Ф. Федоренко. – М. : ФГНУ Росинформагротех, 2005.

43. Есепчук Н. И. Экспериментальное исследование процесса измельчения листостебельной массы кукурузы измельчителем с осевым питанием / Н. И. Есепчук // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Вып. 46 – К. : Урожай, 1979. – С. 30–33.

44. Жалнин Э. В. Альтернативные технологии уборки зерновых / Э. В. Жалнин // Сельский механизатор. – 2010. – № 9. – С. 12–17.

45. Желиговский В. И. Экспериментальная теория резания лезвием / В. И. Желиговский // Труды МИМЭСХ, вып. IX, 1941. – 27 с.

46. Иванов Ю. А. Современные механизированные технологии заготовки стебельчатых кормов / Ю. А. Иванов, В. К. Скоркин // Кормопроизводство. – 2013. – № 5. – С. 46–48.

47. Иванцов В. И. Валковые жатки / В. И. Иванцов, О. И. Солошенко. – М. : Машиностроение, 1984. – 200 с.

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

49. Карп Н. А. Процесс резания толстостебельных культур / Н. А. Карп // Доклады ТСХА, вып. 55. – М. : 1960. – С. 277–285.

50. Карпенко М. И. Обоснование оптимальных технологических параметров ротационного режущего аппарата косилок с пониженной скоростью ножей : автореф. дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Карпенко Михаил Иванович. – Глеваха, 1984. – 17 с.

51. Кленин Н. И. Расчет уборочно-транспортного комплекса / Н. И. Кленин, А. А. Золотов. – М. : МГАУ, 2003.

52. Коба В. Г. Механизация и технология производства продукции животноводства / В. Г. Коба, Н. В. Брагинец, Д. Н. Мурусидзе [и др.] ; под. ред. Н. В. Брагинца – М. : Колос, 1999.

53. Константинов В. А. Определение критической скорости резания свободного стебля / В. А. Константинов // Тракторы и сельхозмашины. – 1962. – № 12. – С. 20–22.

54. Кравченко В. С. Основы научных исследований [Электронный ресурс] : сб. заданий / В. С. Кравченко, Е. И. Трубилин, В. С. Курасов, В. В. Куцеев, Е. В. Труфляк. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 232 с.– Режим доступа : <http://kubsau.ru/upload/iblock/c66/c663d5408b8e47875c5fla3d811ce-61d.zip>.

55. Красовский В. В. Обоснование параметров и режимов работы ко-силки для скашивания сидерантов в междурядьях садов и виноградников : дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Красовский Виталий Викторович. – Симферополь, 2017. – 163 с.

56. Курасов В.С. Конструкции транспортно-технологических средств АПК [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. С. Курасов, Е. И. Трубилин, А. И. Тлишев, В. В. Драгуленко, М. А. Погорелова, И. Е. Припоров. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 232 с. – Режим доступа : <http://edu.kubsau.ru/mod/resource/view.php?id=3451>.

57. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. – М. : ВО Агропромиздат, 1987. – 303 с.

58. Листопад Г. Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г. Е. Листопад [и др.]. – М. : Агропромиздат, 1986. – 685 с.

59. Лоленко А. К. Определение усилий, действующих на элементы режущих аппаратов при срезе крупностебельных культур / А. К. Лоленко // Сельхозмашина. – 1956. – № 9. – С. 19–21.

60. Лоченков А. П. Организация уборочно-транспортных комплексов с иерархическим технологиям контроля / А. П. Ловчиков // Достижения науки и техники АПК. – 2005. – № 5. – С. 31–33.

61. Магомедов Ф. М. Совершенствование технологии и технических средств для скашивания растительности на мелиоративных каналах : автореф.

дисс. ... д-ра техн. наук / Магомедов Фахретдин Магомедович. – Нальчик, 2011. – 38 с.

62. Макаренко Д. И. Повышение надежности сегментно-пальцевого режущего аппарата уборочных машин : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Макаренко Дмитрий Иванович. – Зерноград, 2013. – 20 с.

63. Маслов Г. Г. Инновационная система механизации полеводства : монография / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ, 2019. – 172 с.

64. Маслов Г. Г. Перспективные варианты уборки зерновых колосовых культур / Г. Г. Маслов, Е. И. Трубилин, В. В. Абаев // Тракторы и сельхозмашины. – 2009. – № 12. – С. 42–44.

65. Маслов Г. Г. Машинная технология возделывания и уборки озимой пшеницы : учеб. пособие / Г. Г. Маслов. – Краснодар : КубГАУ, 2011. – 84 с.

66. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм / С. В. Мельников. – Л. : Колос, 1978. – 560 с.

67. Мельников С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С. В. Мельников, В. Р. Алешин, П. М. Рощин. – Л. : Колос, 1980. – 168 с.

68. Методические рекомендации по топливно-энергетической оценке с.-х. техники, технологических процессов и технологий в растениеводстве . – М. : ВИМ, 1989.

69. Московский М. Н. Кормоуборочная техника : учебник / М. Н. Московский, В. Г. Хамуев, А. Н. Головков, И. А. Головкова, А. В. Лавров, С. В. Белоусов. – Краснодар : КубГАУ, 2022. – 494 с.

70. Николюхин Б. Е. Повышение работоспособности привода ротационных косилок : дисс. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Николюхин Борис Евгеньевич. – Ростов-н/Д, 1993. – 163 с.

71. Новик Ф. С. Математические методы планирования экспериментов в металловедении / Ф. С. Новик. – М. : Машиностроение, 1970. – 79 с.

72. Новик Ф. С. Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов / Ф. С. Новик, Я. Б. Арсов. – М. : Машиностроение : София : Техника, 1980. – 304 с.

73. Новиков Ю. Ф. Теория и расчет режущего аппарата для уборки грубых стебельных лубяных культур / Ю. Ф. Новиков // Сб. научн.-исслед. работ ВИСХОМ, Вып. 2. – Изд-во ЦБТИ, 1957. – С. 3–34.

74. Носов В. А. Исследование процесса работы ножевого режущего аппарата на толстостебельных культурах / В. А. Носов // Тракторы и сельхозмашины. – № 9. – С. 16–19.

75. Нормативно-справочные материалы по планированию работ в сельскохозяйственном производстве : Сборник. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2008. – 316 с.

76. Нормативно-справочные материалы по планированию механизированных полевых работ в сельскохозяйственном производстве : Сборник. – М. : ФГНУ «Росинфорагротех», 2008. – 316 с.

77. ОСТ 70.8.2-82. Испытания сельскохозяйственной техники. Косилки, косилки-плющилки и косилки с порционным сбором. Программа и методы испытаний. – Введ. 1983–06–01. – М. : Стандартиформ, 1983. – 54 с.

78. Пат. 110899 РФ, МПК А 01 D 34/63. Механическая ручная газонокосилка / Н. К. Бейбутов, Р. Н. Бейбутов, Р. Н. Бейбутов ; заявитель и патентообладатель Н. К. Бейбутов, Р. Н. Бейбутов, Р. Н. Бейбутов. – № 2011132379/13 ; заявл. 01.08.2011 ; опубл. 10.12.2011, Бюл. № 34.

79. Пат. 117254 РФ, МПК А 01 D 34/08. Косилка ручная для однорядных делянок / А. А. Дорофеев, В. П. Елизаров, Э. В. Жалнин, А. Ю. Измайлов, А. П. Орехов, Н. П. Педай, А. А. Савенков, С. Е. Скатов. – № 2011153323/13 ; заявл. 26.12.2011 ; опубл. 27.06.2012, Бюл. № 18.

80. Пат. 162559 РФ, МПК А 01 D 34/00. Жатка зерноуборочного комбайна / Е. В. Труфляк, Г. Г. Маслов, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2015151276/13 ; заявл. 30.11.2015 ; опубл. 20.06.2016, Бюл. № 17.

81. Пат. 163064 РФ, МПК А 01 D 34/46. Газонокосилка механическая / Е. В. Труфляк, И. С. Труфляк, Г. Г. Маслов ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 20161003809/13 ; заявл. 11.01.2016 ; опубл. 10.07.2016, Бюл. № 19.

82. Пат. 163826 РФ, МПК А 01 D 34/412. Шнековый режущий аппарат / Е. В. Труфляк, Г. Г. Маслов, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2015151285/13 ; заявл. 30.11.2015 ; опубл. 10.08.2016, Бюл. № 22.

83. Пат. 2147166 РФ, МПК А 01 D 34/13. Режущий аппарат косилки / В. П. Балкашов, В. И. Анискин, Г. В. Соболев, Н. С. Себежко. – № 99100730/13 ; заявл. 11.01.1999; опубл. 10.04.2000.

84. Пат. 2177219 РФ, МПК А 01 D, 34/412, А 01 D 34/42. Режущий аппарат / А. Ф. Винник, М. М. Винник ; заявитель и патентообладатель ЗАО «Сельмашпроект». – № 2000112089/13 ; заявл. 17.05.2000 ; опубл. 27.12.2001.

85. Пат. 2182416 РФ. МПК А 01 D 34/42, А 01 D 34/42. Режущий аппарат косилки / А. А. Анискин, В. П. Балашов, Ю. В. Балашов, Г. В. Соболев, Н. С. Себежко ; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства. – № 2001100251/13 ; заявл. 13.01.2001 ; опубл. 20.05.2002.

86. Пат. 2201061 РФ, МПК А 01 D 34/412, А 01 D 34/43. Косилка с ручным приводом / М. М. Мухамедов ; заявитель и патентообладатель М. М. Мухамедов. – № 2000127986/13 ; заявл. 09.11.2000 ; опубл. 27.03.2003.

87. Пат. 2241325 РФ, МПК А 01 D 34/42, А 01 D 34/52. Режущий модуль косилки / В. Л. Шустов ; заявитель и патентообладатель Сибирский научно-исследовательский институт строительного и дорожного машиностроения. – № 2003114835/12 ; заявл. 19.05.2003 ; опубл. 10.12.2004.

88. Пат. 2273123 РФ, МПК А 01 D 91/04, А 01 D 34/00, А 01 D 65/04. Способ уборки сельскохозяйственных растений, жатка и приспособление для

жатки / О. И. Семченко, Ю. И. Малеванный ; заявитель и патентообладатель О. И. Семченко, Ю. И. Малеванный. – № 2004126220/12 ; заявл. 31.08.2004 ; опубл. 10.04.2006, Бюл. № 10.

89. Пат. 2340153 РФ, МПК А 01 D 34/52, А 01 D 34/12. Режущий аппарат косилки / В. П. Балашов, Ю. В. Балашов, М. Г. Негримовский ; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства (ГНУ ВИМ Россельхозакадемии). – № 2007122837/12 ; заявл. 18.06.2007 ; опубл. 10.12.2008.

90. Пат. 2384041 РФ, МПК А 01 D 34/42, А 01 D 34/53. Режущий аппарат косилки травы / А. К. Журбин, А. В. Журбин ; заявитель и патентообладатель А. К. Журбин, А. В. Журбин. – № 2008132346/12 ; заявл. 05.08.2008 ; опубл. 20.03.2010.

91. Пат. 2435364 РФ, МПК А 01 G 23/00. Винтовой режущий аппарат для заготовки и измельчения древесной зелени / Е. И. Максимов, В. В. Лебедев, И. В. Голубев, И. С. Федорченко ; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Сибирский государственный технологический университет». – № 2010121426/12 ; заявл. 26.05.2010 ; опубл. 10.12.2011.

92. Пат. 2513421 РФ, МПК А 01 D 34/00, А 01 D 34/43. Шнековый режущий аппарат / И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2012148641/13 ; заявл. 15.11.2012 ; опубл. 20.04.2014, Бюл. № 11.

93. Пат. 2529157 РФ, МПК А 01 D 41/08. Жатка зерноуборочного комбайна / Е. В. Труфляк, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2013116646 ; заявл. 11.04.2013 ; опубл. 31.07. 2014.

94. Пат. 2529175 РФ, МПК А 01 D 34/63. Газонокосилка механическая / Е. В. Труфляк, И. С. Труфляк ; заявитель и патентообладатель КубГАУ. – № 2013116651 ; заявл. 11.04.2013 ; опубл. 31.07.2014.

95. Погоров Т. А. Скашивание и удаление растительности из каналов косилками шнекового типа : дисс. ... канд. техн. наук : 06.01.02 / Погоров Туган Ахметович. – Новочеркасск, 2005. – 171 с.

96. Погоров Т. А. Теоретическое обоснование бесподпорного резания стеблей растений шнековым режущим аппаратом с горизонтальной осью вращения / Т. А. Погоров // Научный журнал Российской НИИ проблем мелиорации. – 2016. – № 2(22). – С. 177–191.

97. Погоров Т. А. Геометрические характеристики шнекового режущего аппарата / Т. А. Погоров // Научный журнал Российской НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 3(11). – С. 125–133.

98. Погоров Т. А. Скашивание и удаление растительности из каналов ко-силкой шнекового типа : автореф. дисс. ... канд. техн. наук / Погоров Туган Ахметович. – Новочеркасск, 2005. – 24 с.

99. Пронин В. М. Теоретические практические основы организации сравнительных испытаний [Электронный ресурс] / под общ. ред. председателя ассоциации и испытателей сельскохозяйственной техники и технологий (АИСТ) В. М. Пронина – М. : Изд. Минсельхоза РФ, 2013. – 376 с. – Режим доступа : <http://www.povmis.ru/images/pdf/chez.pdf>.

100. Раев Б. Г. Исследование процесса резания стеблей без противорежущей части / Б. Г. Раев // Тракторы и сельхозмашины. – 1961. – № 11. – С. 18–21.

101. Резник Н. Е. Силосоуборочные комбайны: теория и расчет / Н. Е. Резник – М. : Машиностроение, 1964. – 446 с.

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

103. Роговой В. Д. Исследование физико-механических свойств соломы / В. Д. Роговой // Респ. межведомств. тематич. научн. техн. сборник. – К., 1969. – № 13. – С. 45–48.

104. Рустамов С. И. Физико-механические свойства растений и совершенствование режущих аппаратов уборочных машин / С.И. Рустамов. – Донецк : Высш. шк. – 1981. – 172 с.

105. Сабликов Н. В. Соппротивление резанию в соломо-силосорезках / Н. В. Сабликов // Сельхозмашина. – 1957. – № 3. – С. 1–3.

106. Сборник нормативных материалов на работы, выполняемые машинно-технологическими станциями (МТС). – М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2001. – 190 с.

107. Современные проблемы науки и производства в агроинженерии [Электронный ресурс] : учебник / под ред. А. И. Завражнов. – СПб. : Изд-во «Лань», 2013. – 496 с. : ил. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=5841/page26. ЭБС «Лань», по паролю.

108. Сулейманов И. С. К определению оптимальной скорости вращения рабочих органов стеблейзмельчительного аппарата / И. С. Сулейманов, А. М. Карланов // Тракторы и сельхозмашины. – 1968. – № 1. – С. 39–41.

109. Тарг С. М. Краткий курс теоретической механики [Текст] : учеб. для вузов. / С. М. Тарг. – 10-е изд., перераб. и доп. – М. : Высш. шк., 1986. – 416 с.

110. Технологии в растениеводстве [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. М. Юдина, Е. Ю. Авилова, С. А. Калитко, М. О. Юдин. – Краснодар : КубГАУ, 2015. – 119 с. Режим доступа : <http://edu.kubsau.ru/mod/resource/view.php?Id=3556>.

111. Трубилин Е. И. Альтернативный режущий аппарат механических косилок / Е. И. Трубилин, И. С. Труфляк, Е. В. Труфляк // Техника и оборудование для села. – М. – 2013. – № 2. – С. 10–12.

112. Трубилин Е. И. Компьютерные технологии в агроинженерной науке и производстве [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. И. Трубилин, Е. В. Труфляк, С. М. Сидоренко, В. С. Курасов.– Краснодар : КГАУ, 2010. – 223 с. – Режим доступа : <http://kubsau.ru/upload/iblock/aba/aba7dd9a3795-cc8e310fe1c9c40a5893.pdf>.

113. Турбин Б. И. К выбору привода ножа режущих аппаратов косилок / Б. И. Турбин // Доклады ТСХА, вып. 81. – М., 1963. – С. 175–185.

114. Турбин Б. И. О динамической устойчивости шатунов режущих аппаратов жатвенных машин / Б. И. Турбин // Сб. тр. по земледельческой механике, т. 3, 1956.

115. Труфляк Е. В. Интеллектуальные технические средства АПК [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Е. В. Труфляк, Е. И. Трубилин. – Краснодар : КубГАУ, 2016. – 266 с. – Режим доступа : <http://edu.kubsau.ru/mod/resource/view.php?id=3533>.

116. Труфляк Е. В. Ресурсосберегающие процессы уборки кукурузы на основе новых конструктивно-технологических решений : автореф. дисс. ... д-ра техн. наук / Труфляк Евгений Владимирович. – Краснодар, 2011. – 48 с.

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

118. Труфляк И. С. Теоретическое обоснование резания стеблей шнековым режущим аппаратом / И. С. Труфляк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 2282–2297.

119. Труфляк И. С. Жатка зерноуборочного комбайна нового типа / И. С. Труфляк // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 2298–2310.

120. Труфляк И. С. Новый режущий аппарат косилок / И. С. Труфляк, Е. В. Труфляк // Научное обеспечение агропромышленного комплекса. – Краснодар, 2012. – С. 370–371.

121. Труфляк И. С. Параметры и режимы работы универсального шнекового режущего аппарата : дисс. ... канд. техн. наук / Труфляк Ирина Сергеевна. – Ростов-н/Д, 2018. – 196 с.

122. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Алтайская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://altmis.ru>.

123. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Владимирская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://vladmis.ru>.

124. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный испытательный центр» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://sistemamis.ru>.

125. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кировская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://kirovmis.ru>.

126. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Кубанская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.kubmis.ru>.

127. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Поволжская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.povmis.ru>.

128. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Подольская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.podolskmis.ru>.

129. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северо-западная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.szmis.ru>.

130. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Северокавказская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://skmis.ru>.

131. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирская государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sibmis.ru>.

132. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центрально-Черноземная государственная зональная машиноиспытательная станция» [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.chmis.ru>.

133. Федеральный Институт Промышленной Собственности [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.fips.ru>.

134. Федосеев В. И. Сопротивление материалов / В. И. Федосеев. – М. : Изд-во «Наука», 1967. – 552 с.

135. Фомин В. И. Исследование процесса бесподпорного среза трав / В. И. Фомин // Травы ВИСХОМ, вып. 39. – М. : 1962. – С. 3–56.

136. Фомин В. И. Обоснование геометрических параметров режущего аппарата сегментно-дискового типа / В. И. Фомин // Травы ВИСХОМ, вып. 39. – М. : 1962. – С. 125–139.

137. Хатунцев В. В. Технология и косилка для мульчирования приствольных полос в интенсивных садах : дисс. ... канд. техн. наук. : 05.20.01 / Хатунцев Владимир Владимирович. – Мичуринск, 2009. – 161 с.

138. Чаплыгин М. Е. Повышение эффективности использования зерноуборочного комбайна путем обоснования оптимальной ширины захвата жатки для условий юга России : автореф. дисс. ... канд. техн. наук/ Чаплыгин Михаил Евгеньевич. – Москва, 2015. – 20 с.

139. Черноиванов В. И. Мировые тенденции машинно-технологического обеспечения интеллектуального сельского хозяйства / В. И. Черноиванов, А. А. Ежевский, В. В. Федоренко : научн.-изд. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2012. – 284 с.

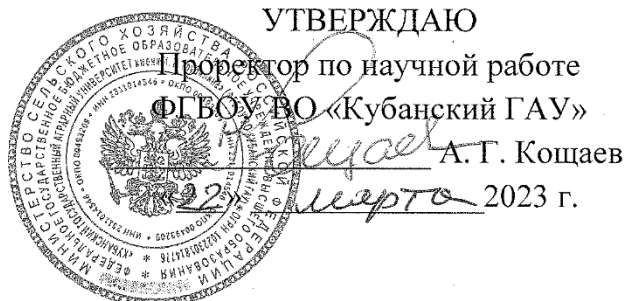
140. Шаповалов В. И. Исследование работоспособности измельчителя стебельчатых продуктов с шарнирным креплением ножей / В. И. Шаповалов, В. И. Павлюкович // Известия Луганского отделения Международной академии информатизации (научный журнал). – Луганск : Изд-во СНУ им. В. Даля, 2011. – №1(23). – С. 96–99.

141. Штомпель Б. Н. Исследование технологического процесса кошения трав ротационными косилками / Б. Н. Штомпель. – Минск : Изд-во Академии с.-х. наук БССР, 1961.

142. Chancellor W. J. Energy Requirements for cutting forage // Journal of Agricultural Engineering Research, № 10, 1958. – p. 633–639.

143. Elfes L. E. Design and Development of high-speed // Agricultural Engineering, 35(3), 1954.

144. Feller R. Effects of knife angles and velocities on cutting of stalks without counteredge // Journal of Agricultural Engineering Research, № 4, 1959. – p. 277–293.
145. Jonston R. C. Crop Behaviour during Mowing // Journal of Agricultural Engineering Research, vol. 4, № 3, 1959. – p. 193–203.
146. Mewes E. Massenkräfte in Landmaschinen und ihr Ausgleich // Grundlagen der Landtechnik, H. 6, 1955. – S. 126–130.
147. Prince R. P. Dissension on Energy Requirements for cutting forage // Agricultural, № 10, 1958.
148. Regge H. Versuche zur Verminderung der dynamischen Beanspruchung des Mähhäxselers EO65 durch freie Massenkräfte // Deutsche Agrartechnik, H. 1, 1961.
149. Schulze R. H. Über den Schneidvorgang an Grashalmen // Grundlagen der Landtechnik, 1953. – H. 5.
150. Stoppel Th. Analytische Betrachtung der Massenwirkungen in einem schleppermahwerk // Landtechnische Forschung, H. 5, 1958. – S. 177–197.
151. АгроБаза [Электронный ресурс] : Режим доступа : https://www.agro-base.ru/catalog/machinery/machinery_1fb07c04-79b4-441b93a1-ffc217988fae.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

АКТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПРОВЕРКИ
использования срезающе-измельчающего режущего аппарата
при уборке подсолнечника

На опытном поле учебного парка Кубанского ГАУ 29 августа 2022 г. проводился эксперимент изучения параметров и режимов работы срезающе-измельчающего режущего аппарата на качественные показатели среза подсолнечника, предложенного аспирантом Потебни А. Н. (руководитель Труфляк Е. В.).

Была изготовлена полевая экспериментальная установка, представляющая собой жатку, содержащую вращающийся шнек и односторонние сегменты, закрепленные на витке шнека. Ширина захвата режущего аппарата составляла 2 м.

Предварительно регулировались высота среза, угол наклона режущей части сегментов, шаг размещения сегментов.

В результате анализа априорной информации, результатов лабораторных исследований, отсева несущественных факторов, выбраны существенные для эксперимента факторы – частота вращения шнека, угол наклона и шаг сегментов.

Проведенными полевыми исследованиями по методике многофакторного эксперимента, после соответствующей математической обработки установлено, что значениями параметров и режимов работы срезающе-измельчающего режущего аппарата являются: частота вращения шнека 850 мин⁻¹; шаг сегментов 180 мм; угол наклона режущей части

шаг установки противорежущих сегментов 60 мм; показатель кинематического режима 5,34 ед.

При данных значениях энергоемкость процесса составляет 8 кВт·с/кг; неравномерность распределения частиц стеблестоя по полю 18,2 %; неоднородность частиц по длине 14,5 %; показатель потерь в виде несрезанного стеблестоя 1,8 %; показатель степени расщепления стеблей вдоль волокон 31 %.

Установлено, что в зависимости от частоты вращения шнека и соответственно показателя кинематического режима, мощность изменяется от 5 до 11 кВт, производительность от 0,5 кг/с до 1,2 кг/с, а энергоемкость от 11 до 5 кВт·с/кг.

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

Полученные данные необходимы для проектирования и конструирования машин предложенного типа.

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

Директор учебного парка
Кубанского ГАУ

П. П. Чижевский

Заведующий кафедрой эксплуатации
и технического сервиса Кубанского ГАУ
д.т.н., профессор

Е. В. Труфляк

Аспирант

А. Н. Потенбя

Механизатор учебного парка
Кубанского ГАУ

А.А. Страхов

Механизатор учебного парка
Кубанского ГАУ

А.В. Бибик

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Агро-Империя»

Семенцова Л.Е.

«15» марта 2023 г.



СПРАВКА

о внедрении результатов научных исследований Потебни А. Н.

В ООО «Агро-Империя» использованы результаты научных исследований Потебни А. Н. (научный руководитель Труфляк Е. В.), которым предложена жатка со срезающе-измельчающим режущим аппаратом для уборки тонко- и толстостебельных культур.

Проведенные исследования показали, что разработанная машина по большинству технико-экономических показателей использования превосходит имеющиеся на рынке аналоги. Эксплуатационные затраты составляют 871 руб./га, что на 20–50 % меньше рассматриваемых вариантов.

Для расчета эффекта от внедрения разработанной машины в реальное производство использовано хозяйство ООО «Агро-Империя». Это организация с площадью пашни 4200 га, численностью работников – 51 человек, поголовьем КРС – 390 ед. В составе машинно-тракторного парка 5 тракторных косилок различных модификаций.

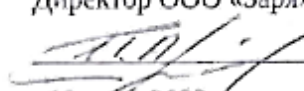
Расчеты доказали экономическую целесообразность внедрения проектируемой машины. Дополнительные капиталовложения в размере 1,43 млн руб. окупятся за 3,4 года.

Главный инженер

Семенцов Г.И.

УТВЕРЖДАЮ

Директор ООО «Заря»

 Лысенко И.А.
«10» мая 2023 г.

СПРАВКА

о внедрении результатов научных исследований Потепни А. Н.

В ООО «Заря» использованы результаты научных исследований Потепни А. Н. (научный руководитель Труфляк Е. В.) по повышению эффективности среза и измельчения растений путем обоснования структурно-функциональной схемы агрегата, рациональных параметров и режимов работы режущего аппарата.

Среди множества нерешенных вопросов в механизации отечественного аграрного производства отдельное место занимает проблема уборки толстостебельных культур. Существующие средства механизации имеют ряд существенных недостатков, среди которых высокая цена, быстрый износ, частые поломки, мононаправленность по культурам и, как следствие, низкая годовая нагрузка и др.

Для решения этих проблем Потепней А. Н. разработана и испытана на практике конструкция универсальной тракторной косилки для уборки толстостебельных культур. Данный агрегат внедрен в ООО «Заря» при уборке стеблей кукурузы и подсолнечника.

Для создания разработанной машины приобретено материалов и покупных изделий по рыночной стоимости на сумму 226,2 тыс. руб. Стоимость работ по созданию разработанной косилки в условиях ремонтной мастерской составила 12,4 тыс. руб.

Проведенные исследования показали, что разработанная машина по большинству технико-экономических показателей использования превосходит имеющиеся на рынке аналоги. Эксплуатационные затраты составляют 865 руб./га.

Расчеты доказали экономическую целесообразность внедрения машины. Дополнительные капиталовложения в размере 1,4 млн руб. окупятся за 3 года.

Главный инженер



Литвинов В.А.

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ГРАМОТЫ, ДИПЛОМЫ, ПАТЕНТ





ДИПЛОМ УЧАСТНИКА

**АГРОПРОМЫШЛЕННОЙ ВЫСТАВКИ
"КУБАНСКАЯ ЯРМАРКА"**

Потебня Андрея Николаевича

*Министр сельского хозяйства
и перерабатывающей
промышленности
Краснодарского края*

Ф.И. Дереха

**Краснодар
2019**

The background of the diploma features a detailed line drawing of a rural landscape. It shows rolling hills, fields with furrows, and a few buildings in the distance. The drawing is done in a light brown or gold color.





За участие в XXII Агропромышленной
выставке-ярмарке «Золотая Нива»

НАГРАЖДАЕТСЯ

Потебня Андрей Николаевич

Министр сельского хозяйства и
перерабатывающей промышленности
Краснодарского края

Дерека Ф. И.

Краснодарский край, г. Усть-Лабинск
2022 г.



За участие в XXIII Агропромышленной
выставке-ярмарке «Золотая Нива»

НАГРАЖДАЕТСЯ

Потебня Андрей Николаевич

Министр сельского хозяйства и
перерабатывающей промышленности
Краснодарского края

Дерека Ф. И.

Краснодарский край, г. Усть-Лабинск
2023 г.



ПРИЛОЖЕНИЕ В

Косилки-измельчители, плющилки и мульчировщици

Косилка-измельчитель КРС-1,4 (КРС-1,8) (таблица В1) предназначена для срезания, измельчения грубостебельной мелкокустарниковой растительности как на ровных площадях, так и отдельно стоящих деревьев, и кустарников толщиной до 30 мм (рисунок В1).

Таблица В1 – Технические характеристики косилки-измельчителя КРС-1,4

Показатель	Значение
Габаритные размеры:	
– L, не более, мм	1370
– S, не более, мм	1520
– H, не более, мм	1000
M, не более, кг	290
Вр, м	1,4
h _{ср} , см	5–10
Количество роторов, шт.	2
Количество ножей, шт.	8
η _р , не менее мин ⁻¹	1100



Рисунок В1 – Общий вид рабочих органов косилки-измельчителя КРС-1,4

Агрегат для измельчения пожнивных остатков «Ураган» (рисунок В2, таблица В2), (производитель – ООО «Южный ветер» (Россия, Ростовская область) [151]. Он заваливает, деформирует и измельчает послеуборочные пожнивные остатки высокостебельных сельскохозяйственных культур, таких как подсолнечник, кукуруза и др.

Таблица В2 – Технические характеристики измельчителя пожнивных остатков «Ураган»

Показатель	Значение
В, м	4,5
W, га/ч	4,2–5,4
V _р , км/ч	9–12
V _т , км/ч	15
Срок эксплуатации, лет	8
Габаритные размеры и масса:	
– L, мм	3420
– S, мм	5820
– H, мм	1120
L _{тр} , мм	6480
S _{тр} , мм	2580
H _{тр} , мм	1470
Дорожный просвет, мм	350
M, кг	1000



Рисунок В2 – Агрегат для измельчения пожнивных остатков «Ураган»

Измельчитель растительных остатков ИРО-3,0 (рисунок В3) предназначен для предуборочного удаления ботвы картофеля, измельчения растительных остатков кукурузы, подсолнечника, рапса, овощей и т. п. Уничтожает паразитов и улучшает перегнивание остатков, что влияет на плодородность почвы. Измельчение достигается путем срезания и перемалывания остатков ножами, изготовленными из углеродистой стали, прошедшей термообработку. Производитель – ПООО «Техмаш», (Беларусь, Гродненская область). Производство прекращено [151].



Рисунок В3 – Измельчитель растительных остатков ИРО-3,0

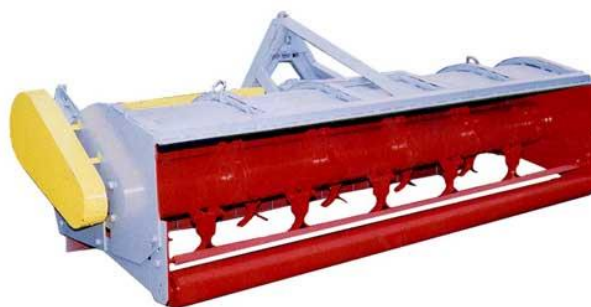


Рисунок В4 – Измельчитель растительных остатков (мульчирователь) П6-ППР

Измельчитель растительных остатков (мульчирователь) П6-ППР (рисунок В4) используется для измельчения валков соломы после зерноуборочных комбайнов, измельчения стеблей соломы после работы очесывающих зерновых жаток и измельчения растительных остатков кукурузы, подсолнечника и других культур. Производитель – Белопольский машиностроительный завод, ОАО (Украина, Сумская область). Производство прекращено [151].

Измельчитель роторный горизонтальный ИРГ-3 (рисунок В5) скашивает и интенсивно мульчирует всевозможные растительные остатки: стеблей кукурузы; зарослей бурьяна; стеблей подсолнечника; соломы в валке; ботвы картофеля; стерни, травы и др. Он обеспечивает тонкое измельчение и равномерное распределение растительных остатков для дальнейшего перемешивания их с почвой. В результате оптимизируется скорость разложения растительных остатков. При длине измельченных остатков 10–50 мм длительность перегнивания их 50 % составляет соответственно 25–50 дн, в среднем, при $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Это достигается благодаря высокой частоте вращения ротора большого диаметра молотковыми ножами, геликоидально размещенными по всей ширине захвата. Навесной измельчитель-мульчирователь агрегируется с трактором класса 1,4 т. с. Производитель – Пензаггореммаш, ООО (Россия, Пензенская область). Производство прекращено [151].

Измельчитель соломы из валков роторный РИС-2 (рисунок В6, таблица В3) измельчает солому из валков после любых отечественных и зарубежных комбайнов, при ширине валка не более 2 м. Агрегатируется тракторами МТЗ, ЮМЗ. Производитель – Сельмаш, ООО (Россия, Самарская область) [151].



Рисунок В5 – Измельчитель роторный горизонтальный ИРГ-3



Рисунок В6 – Измельчитель соломы из валков роторный РИС-2

Таблица В3 – Технические характеристики измельчителя соломы РИС-2

Показатель	Значение
В, м	2
W, га/ч	4
W при измельчении валков соломы, га/ч	4
Тип агрегатирования	Полунавесной
V _р , км/ч	15
Радиус разброса соломы, м	6–8
l _{изм} , мм	40–60
Агрегатируемость, т. с.	2
Габаритные размеры и масса:	
– L, мм	3320
– S, мм	3740
– H, мм	960

С целью обеспечения процессов скашивания, плющения и укладки (бобовые и бобово-злаковые травосмеси) применяется косилка-плющилка КПН-3.1 (рисунок В7, таблица В4) [151].



Рисунок В7 – Косилка-плющилка навесная КПН-3.1

Таблица В4 – Техническая характеристика косилки-плющилки навесной КПН-3.1

Показатель	Значение
Тип	Навесная
S, м	3,1
W, га/ч	1,8–4,5
M, т	1,7
Частота вращения ВОМ, мин ⁻¹	1000
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	2530
h _{ср} , мм	50–100
Трактор, кл. т. с.	2
Габаритные размеры, мм:	
– L	2200
– S	4500
– H	1500

Для измельчения зеленых сидеральных культур, молодых побегов ку-старников, толстостебельных культур на высоком срезе, а также пожнивных остатков (соломы) злаковых культур, с равномерным распределением по почве предназначен измельчитель сидераторов ИС-3 (рисунок В8). Он отличается от других измельчителей оптимальной шириной захвата 3 м при агрегатировании трактором МТЗ-1221, а также оригинальной конструкцией ротора,

с высокой плотностью расположения универсальных биломолотков (или ножей с двухсторонней заточкой), что обеспечивает качественное измельчение грубых растительных остатков. При комплектации измельчителя сидератов биломолотками 63-РМ-64-20 измельчитель ИС-3 применяется для измельчения кукурузы высокого среза, подсолнечника, грубых трав, молодого кустарника. За один проход он производит не только измельчение, но разбрасывание растительных остатков предшественника и сорной растительности по поверхности поля, создает выровненный слой измельченных растительных остатков длиной не должен превышать 100 мм. Измельчитель работает на очищенном от камней и твердых предметов поле. Уклон поверхности не более 8° , высота измельчаемых растений не более 1 м. Производитель – ОАО «Белагромаш-Сервис имени В. М. Рязанова», (Россия, Белгородская область). Производство прекращено в 2016 г. Измельчитель ИС-3 применяется для работы во всех регионах России [151].



Рисунок В8 – Измельчитель сидератов ИС-3

Для измельчения кустарников и веток также существуют косилки, как российского производителя, так и импортные.

Измельчитель роторный ИР-840 (рисунок В9, таблица В5) обеспечивает измельчение растительного сырья травы, веток, корней. Измельчитель содержит два конвейера, которые обеспечивают подачу и уплотнение материала, и измельчающий ротор. Изготовитель – компания «Тульские машины» [151].



Рисунок В8 – Универсальный роторный измельчитель ИР-840

Таблица В5 – Технические характеристики универсального роторного измельчителя ИР-840

Показатель	Значение
W_t , т/ч	До 5
\varnothing_p , мм	840
η_p , мин ⁻¹	800
M, кг	2600

Для подкашивания междурядий и частичного измельчения веток после обрезки в садоводстве и виноградниках используют косилку садовую «ВЕКТОР». Существует несколько видов: косилка садовая «ВЕКТОР 200»; «ВЕКТОР 250» (рисунок В9, таблица В6). Подходят для мульчирования травы, сельскохозяйственные остатки урожая, соломы, веток (\varnothing до 4 см), кустов. Материал в виде частиц остается на поверхности в качестве органических удобрений. Высоту среза косилкой «ВЕКТОР» можно регулировать от 5 см и выше, что очень важно для участков с высокой растительностью.

Таблица В6 – Технические характеристики косилки садовой «ВЕКТОР 200»

Показатель	Значение
Тип	Навесная
B, не более, мм	1800
Габаритные размеры, мм:	
– L	2000
– S	2400
– H	1100

Продолжение таблицы В6

Показатель	Значение
М, кг	450
h _{ср} , мм	5–15
Количество роторов, шт.	2
Количество ножей, шт.	4 подвижных + 2 неподвижных
Агрегатирование (класс трактора), не ниже:	0,6–1,4
– V _{тр} , км/ч, не более	25
– V _р , км/ч	3–8
Частота вращения приводного вала, не более, мин ⁻¹	540–1000
Привод	От ВОМ трактора
Срок службы, лет, не менее	8



Рисунок В9 – Косилка садовая «ВЕКТОР 200»

Косилка-измельчитель с цеповым аппаратом MU-LW (с низкой вибрацией) 130 (170; 200) [151], а также косилка-измельчитель серии MU Profi (рисунки В10 и рисунок В11) обеспечивает:

- измельчение (ветви, виноградная лоза, трава и др.);
- мульчирование (солома, картофельная ботва, подсолнечник и др.);
- расчистку (пастбищные угодья, откосы и т. д.).



Рисунок В10 – Косилка-измельчитель с цеповым аппаратом MU-LW
(с низкой вибрацией) 130



Рисунок В11 – Косилка-измельчитель серии MU Profi

Известна универсальным применением косилка-измельчитель серии MU Profi (таблица В7), так как положение косилки-измельчителя с молотками-хаммерами регулируется предохранительными подпорками и опорным роликом. Встроенная муфта свободного хода предотвращает повреждение машины и коробки передач. Дополнительные подбирающие ножи препятствуют возможному выбросу мульчирующего материала (ветвей, лозы и т. д.) [151].

Таблица В7 – Технические характеристики косилки-измельчителя серии MU Profi

Показатель	Значение
Рабочая ширина, см	130
Смещение гидравлическое, см	41
Количество ремней, шт.	3
Рабочая частота вращения ВОМ, мин ⁻¹	540/1000

Продолжение таблицы В7

Показатель	Значение
Количество молотков, шт.	12
\varnothing_p , мм	168
$N_{п.н.}$, шт.	9
N_T , кВт	25–37

Косилка КДН-210 (рисунок В12, таблица В8) скашивает естественные и сеянные травы.

Таблица В8 – Технические характеристики косилки КДН-210

Показатель	Значение
Агрегатирование с тракторами мощностью, л. с.	До 75
B_p , м	2,1
Количество дисков, шт.	4
Обороты ВОМ, мин^{-1}	540
Тип косилки по устройству	Дисковая роторная
Наличие плющения	Нет
W , га/ч	2,85
$h_{ср}$, см	8



Рисунок В12 – Косилка КДН-210

Применяется для удаления травянистой растительности и мелкого кустарника (\varnothing не более 20 мм), растущего на обочинах, откосах, бермах осушительных и оросительных каналов глубиной до 2 м. В кюветах и разделительных полосах автомобильных дорог применяется косилка роторная КОР-160 (рисунок В13, таблица В9) [151].

Таблица В9 – Технические характеристики косилки ротационной КОР-160

Показатель	Значение
Тип	Монтируемая
Базовая машина	МТЗ-80; 82,1; 82.1-23/12 и другие модификации
V_{cp} , не менее км/ч	0,5–5,0
W, га/ч	0,3
B, м	1,6
Число оборотов ВОМ трактора, не менее, мин ⁻¹	540–560
Максимальный диаметр стебля срезаемой растительности, мм	20
Габаритные размеры косилки с трактором в транспортном положении:	
– L, м	По трактору
– S, м	2,5
– H, м	2,7
M, кг	820



Рисунок В13 – Косилка откосов ротационная КОР-160

Для скашивания высокоурожайных, полеглых трав (урожайность свыше 150 ц/га) на повышенных поступательных скоростях (9–15 км/ч) с укладкой скошенной массы в прокос используется роторная косилка КРН-2.1 (рисунок В14 а). Режущий аппарат ее состоит из четырех дисковых роторов с двумя скашивающими ножами каждый. Существуют также модели универсальных косилок этой группы, например, косилка ротационная навесная КРН-2,1Б (таблица В10), которая предназначена для кошения бобовых и толстостебельных культур на равнинных участках; для окашивания обочин и кюветов дорог с уклоном до 40° используется модель косилки ротационной навесной КРН-2,1Д (рисунок В14 б).

Таблица В10 – Техническая характеристика косилки ротационной навесной КРН-2,1Б

Показатель	Значение
Агрегатирование с тракторами мощностью, л. с.	До 75
В, м	2,1
Количество дисков, шт.	4
Обороты ВОМ, мин ⁻¹	1000
Тип косилки по устройству	Дисковая роторная
Наличие плющения	Нет
Тип косилки по расположению режущей системы	Задненавесная
W макс, га/ч	2,85
h _{ср} , см	5–8



а



б

Рисунок В14 – Ротационная навесная косилка:

а – КРН-2.1; б – КРН-2,1Д

Косилка-измельчитель молотковая (рисунок В15, таблица В11) предназначена для чистки диких засоренных газонов с побегами кустарника, молодых деревьев, лопуха и удаления ботвы. Нож скашивает и рубит на куски крупные стебли травы.

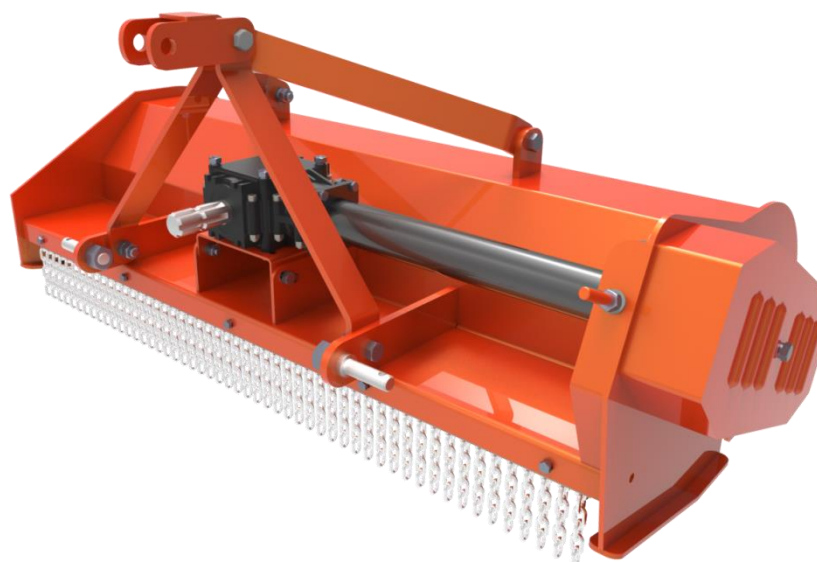


Рисунок В15– Косилка-измельчитель молотковая

Таблица В11 – Технические характеристики косилки-измельчителя молотковой

Показатель	Значение	
S, мм	1250	1425
Частота вращения ВОМ, мин ⁻¹	540	540
Частота вращения рабочей области, мин ⁻¹	1570	1570
Количество ножей (или молотков опционно), шт.	52 (26)	60 (30)
Габаритные размеры, мм	1370 × 750 × 580	1570 × 750 × 580
Габаритные размеры для ТК, мм	1400 × 800 × 800	1600 × 800 × 800

Косилка-измельчитель SEPPI SMO pick-up (рисунок В16, таблица В12) используется для сбора и измельчения обрезков в виноградниках, фруктовых садах и в оливковых рощах. Устройство подборщика может работать в труднопроходимой, каменистой и неровной местности, в то время как решетка используется для мелкого и однородного измельчения материала. Она снабжена подборщиком при помощи которого ветки с земли направляются в измельчающую камеру [151].



Рисунок В16 – Косилка-измельчитель SEPPi SMO pick-up

Таблица В12 – Технические характеристики косилки-измельчителя SEPPi SMO pick-up

Показатель	Значение
S, см	125, 150, 175, 200
Измельчает траву и ветки (Ø), см	до 7
Ротор с молотками SMO	три спирали
Рабочая скорость, км/ч	3–5
Корпус	сталь S420
Редуктор для ВОМ, мин ⁻¹	540

Измельчитель дробящий John Deere (рисунок В17, таблица В13) [151] предназначена для измельчения пожнивных остатков, кустарников выросших на пастбищах или паровых полях.



Рисунок В17 – Измельчитель дробящий John Deere

Таблица В13 – Технические характеристики измельчителя дробящего John Deere

Показатель	Значение			
	John Deere	115	120	520
Комплектация: по типу агрегатирования	Drawn			Integral
В, м	4,57	6	6,1	
Тип агрегатирования	Прицепной			Навесной
Требуемая мощность ВОМ, кВт	67–149	89–149	90–134	104–134
Требуемая мощность ВОМ, л. с.	90–200	120–200	120–180	140–180
Количество Y-образных ножей, шт.	120	160	248	
Шины	7.60-15, 6 ply rating			
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	1500		2000	
h _{ср} , мм	76–254			
ВОМ, мин ⁻¹		1000		
Частота вращения ротора при ВОМ 1000 мин ⁻¹ , мин ⁻¹	1500		2000	
Линейная V ножа при ВОМ 1000 мин ⁻¹ , м/с	47,5		62,1	
Габаритные размеры и масса:				
– L, мм	3226			
– S, мм	4950	6480		
– H, мм	915			1194
L _{тр} , мм	5816	7341		3226
S _{тр} , мм	2390			6480
H _{тр} , мм	1220			1778
M, кг	1500	2268		1985

Мульчировщик Taigus (рисунок В18 а, таблица В14) предназначен для измельчения растительных остатков: травы, обрезанных веток и деревьев диаметром 15 см. Мульчировщик Gemini (рисунок В18 б) используется для измельчения травы, ветви диаметром максимум 7–8 см, ухода за озелененными территориями. Боковое смещение изменяется с помощью гидравлической системы. Мульчировщик Vega (рисунок В18 в) применяется для измельчения травы, ветвей диаметром не более 4–5 см, ухода за озелененными территориями. Мульчировщик Virgo (рисунок В18 г) предназначен для измельчения растительных остатков: в кюветах, обочинах дорог, лугах и парках [151]. Производитель – Celli S.p.A (Италия).

Таблица В14 – Технические характеристики мульчировщиков Taurus

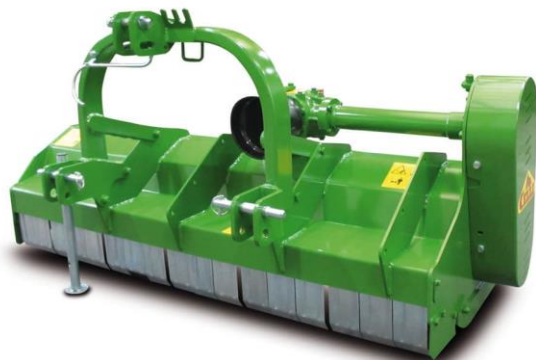
Показатель	Значение		
	Taurus	200	225
В, м	2	2,25	2,5
В (слева от оси трактора), мм	300–750		
В (справа от оси трактора), мм	1250–1700	1500–1950	1750–2200
Требуемая мощность трактора, кВт	44–88	48–88	51–88
Требуемая мощность трактора, л. с.	60–120	65–120	70–120
Количество молотков, шт.	16	18	20
Агрегатируемость, т. с.	1,4–3		
Диаметр вала ротора, мм	194		
ВОМ, мин ⁻¹	540		
Частота вращения ротора при ВОМ 540 мин ⁻¹ , мин ⁻¹	2382		
Внешний диаметр ротора, мм	450		
Максимальный диаметр измельчаемых стволов деревьев, мм	150		
Габаритные размеры и масса:			
S, мм	2270	2520	2770
M, кг	1000	1070	1140



а



б



в



г

Рисунок В18 – Мульчировщики:

а – Taurus; б – Gemini; в – Vega; г – Virgo

Мульчирователь Samasz KB (рисунок В19) предназначен для: кошения газона и обочин; дробления отрезанных веток от деревьев (\varnothing до 3 см); среза сорняков, зарослей и травы на естественных лугах. Преимущества: крепление при помощи трехточечной системы подвески спереди или сзади трактора; регулировка высоты работы копирующего вала. Производитель – SaMASZ, sp.z o.o. (Польша) [151].



Рисунок В19 – Мульчирователь Samasz KB



Рисунок В20 – Косилка-мульчировщик MasterCut

Косилка-мульчировщик MasterCut (рисунок В20) предназначена для измельчения остатков растений, подготовки грунта для новой обработки, а также естественного удобрения. Производитель – Vogel & Noot Landmaschinen GmbH & Co KG (Австрия) [151].

НТЦК ОАО «Гомсельмаш» представлено прицепной кормоуборочный комбайн Sterh 2000 с производительностью до 38 т/ч с самозатачивающимися двухлезвийными ножами (рисунок В21).

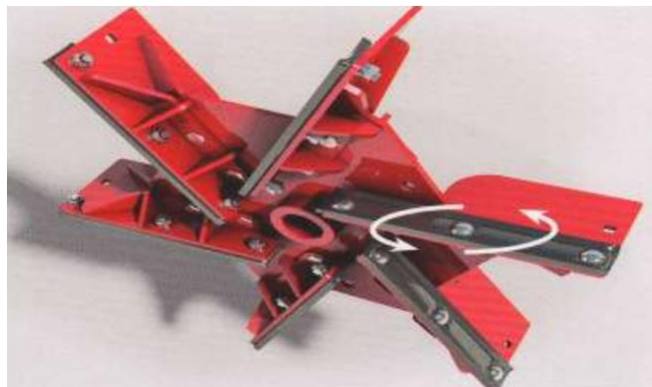


Рисунок В21 – Двухлезвийные ножи кормоуборочного комбайна Sterh 2000

Навесная косилка ротационная Strige (рисунок В22) [63] оборудована специальной конструкцией ножей (рисунок В23), благодаря которой скошенная зеленая масса отбрасывается вверх и назад по ходу движения бруса, что эффективно при скашивании высокоурожайных трав, так как увеличивается рабочая скорость и как результат, производительность до 3,0–4,8 га/ч.



Рисунок В22 – Косилка ротационная Strige

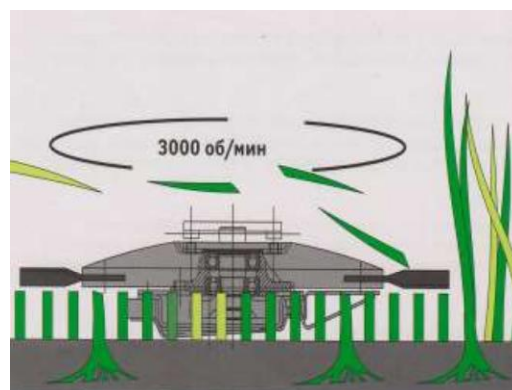


Рисунок В23 – Работа ножей косилки Strige

Для высокоурожайных и полеглых трав специалисты рекомендуют косилку роторную с кондиционером SapSun 2400. На повышенных поступательных скоростях 9–15 км/ч косилка скашивает, вспушивает и укладывает массу в валок. Благодаря специальной конструкции ножей (рисунок В24) при повышенной скорости работы, она делает срез, а также предохраняет от повреждений верхние слои почвы и корни трав.

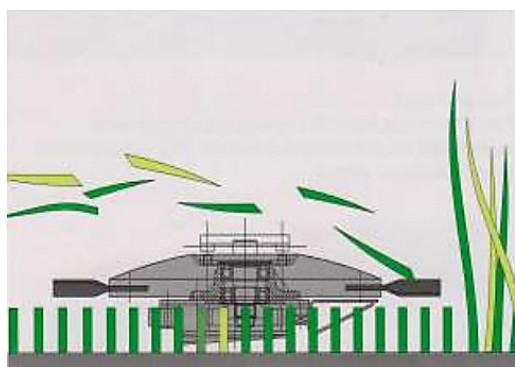


Рисунок В24 – Вид на специальную конструкцию ножей



Рисунок В25 – Косилка ротационная прицепная Berkut 3200

Для проведения таких работ широко используется косилка ротационная прицепная Berkut 3200 (рисунки В25–В26), (урожайность свыше 50 ц/га). Она отличается многофункциональностью, так как оборудована демонтированной плющилкой, которая может при скашивании трав укладывать их в прокос, что увеличивает рабочую скорость и производительность, экономит энергозатраты.



Рисунок В26 – Специальная конструкция ножей и тарелок косилки Berkut 3200



Рисунок В27 – Ножи косилки-измельчителя КИН 2700



Рисунок В28 – Режущий ротор косилки-измельчителя КИН 2700

Для эффективного скашивания травы рекомендуют ротационную фронтальную косилку КРФ 3500 (ООО «Ростсельмаш»), V_p – 18 км/ч, W – 6,0 га/ч, а для скашивания высоких сельскохозяйственных культур (до 200 см) – косилку-измельчитель КИН 2700, которая может работать как многофункциональный агрегат, т. е. скашивать, измельчать и разбрасывать по полю пожнивные остатки кукурузы, подсолнечника, сорго и других культур [69]. Это обеспечивается спе-

специальными самозатачивающимися ножами (рисунок В27) и формой ротора (рисунок В28). Как результат ее работы, при скорости движения 12 км/ч производительность составляет 30 т/ч.

Специалисты ФГБНУ ФНАЦ ВИМ [69] отмечают хорошую работу при обкосе дорог, разделительных полос, открытых больших площадок косилку Cheege 184. Она скашивает не только траву, но и ветки кустарника диаметром до 35 мм, так как работает в двух плоскостях – вертикальной и горизонтальной, что достигается специальной кинематикой поворотного механизма косилки (рисунок В29).

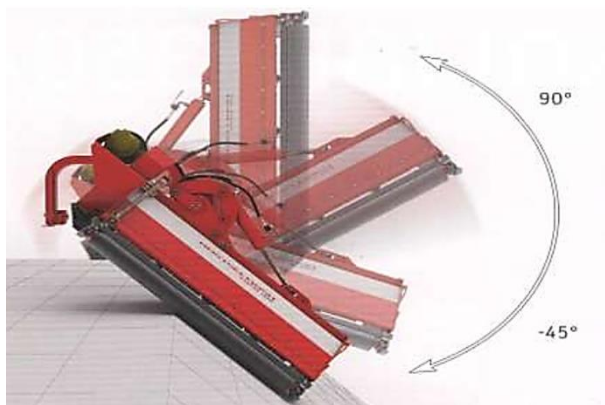


Рисунок В29 – Поворотный механизм косилки Cheege 184



Рисунок В30 – Многороторный измельчитель пожнивных остатков

Зарубежная сельскохозяйственная техника, имеющая такие же назначения, это косилка дисковая Wirax Z-069 2Н; косилки роторные моделей L-1,35M Lisicki – L-1,85M Lisicki; садовая косилка Z-918.3 Lisicki (Польша) отличаются высокой производительностью при измельчении травы, соломы, веток (до Ø 4 мм), которая оборудованы подложкой для сбора материала и дальнейшего его использования как органическое удобрение.

Многороторный измельчитель ИС-3 (рисунок В30).

Для скашивания люцерны на сено в валки применяют следующие косилки: самоходные КПП-4, Е-302 и прицепные КМР и прицепные КППН-3А, КПП-4,2. Эти машины могут работать в режиме плющения травы с целью ее быстрого подсушивания в валках.

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Анализ протоколов испытаний

Таблица Г1 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Алтайской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Площадь	Измельчение (U), мм	Высота среза ($h_{ср}$), см	Ширина захвата (B_p), м	Рабочая скорость (V_p), км/ч	Производительность (W), га/ч	Соответствует агротребованиям
Дисковая косилка Krone Easy Cut 2800/1CV, ООО «РУФ-2», г. Барнаул	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	–	2	12	2,78	Да
Косилка валковая транспортерная Квт7-14, ООО «КЗ «Ростсельмаш», Г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	13,4–19	2	10–15	8,22	Да
Косилка однобрусная КСП-2,1 Б, ООО «ПО «Алтайская металлообрабатывающая компания», г. Бийск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	4–8	2,1	8–10	1,71	Да
Косилка дисковая навесная КДН-210, ОАО «Бобруйскагро-маш», Республика Беларусь	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	7–9	2,1	9–10	1,45	Да
Косилка ротационная навесная ЖТТ-2,4 «Strige», АО «КЛЕВЕР», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	7,5–10	2,4	9–12	2,34	Да
Косилка ротационная навесная КРН-2,1А, ООО ПФК «МКЗ-С», г. Киров	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	7,5–8	–	9–11	1,59	Да
Косилка роторная NOVOCAT 3007 T RCB, ROTTINGER Landtechnik GmbH, Австрия	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	8	2,9	10–13	2,80	Да
Косилка роторная КРР-2,4М, ОАО «Сасовкорммаш», Рязанская область,	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	8–10	2,4	10–13	2,26	Да

г. Сасово								
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы Г1

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	l _{кр} , см	B _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Косилка ротационная навесная Z178 LISICKI, FRM LISICKI, Польша	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	4-4,4	1,85	7	1,07	Да
Косилка самоходная универсальная КСУ-1, ООО «КЗ «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	17	–	10–12	7,39	Да



Рисунок Г1 – Дисковая косилка Krone Easy Cut 2800/1CV



Рисунок Г2 – Косилка валковая транспортерная КВТ 7-14



Рисунок Г3 – Косилка однобрусная
КСП-2,1 Б



Рисунок Г4 – Косилка дисковая навесная
КДН-210



Рисунок Г5 – Косилка ротационная навесная ЖТТ-2,4 «Strige»



Рисунок Г6 – Косилка ротационная навесная КРН-2,1А



Рисунок Г7 – Косилка роторная NOVOCAT 3007 T RCB



Рисунок Г8 – Косилка роторная КРР-2,4М



Рисунок Г9 – Косилка ротационная навесная Z178 LISICKI



Рисунок Г10 – Косилка самоходная универсальная КСУ-1

Таблица Г2 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Владимирской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	V _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует агротребованиям
Косилка-плющилка ТААRUP 4332 LT, «Kverneland Group», Дания	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	6	3–3,5	12	3,8	Да
Косилка ротационная КРН-2,1Б, ООО «Бежецксельмаш», Тверская обл. г. Бежецк,	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	8	2	10–13	2,7	Да
Косилки самоходной W-110 в агрегате с жаткой 140А, «JOHN DEER», Канада	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	6	4,2	9	3,9	Да
Косилки навесной роторной с шестеренчатым приводом роторов КР-2,1М, ОАО «Сасовкорммаш»,	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	7–8	2	10–15	2,9	Да

Рязанская обл., г. Сасово								
------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Таблица Г3 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Кировской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	B _p , м	V _p , км/ч	W, га/ч	Соответствует агротребованиям
Косилка ROTEX KRMZ 5XR, ООО «Краснокамский ремонтномеханический завод», Пермский край, г. Краснокамск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	11–13	2	10–12	2,8	Да

Продолжение таблицы Г3

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	B _p , м	V _p , км/ч	W, га/ч	Соответствует агротребованиям
Агрегат кормодробильный АКР-1 (стационарный), АО «Реммаш», г. Глазов, Удмуртская республика	Зерносмеси	Нет	7–20	Нет	–	–	3,2 т/ч	Да
Агрегат кормовой многофункциональный АКМ-9 (стационарный), АО «Слободской машиностроительный завод», Кировская обл., г. Слободской	Солому и силос	Нет	2–7,5	Нет	Нет	0,58	6,1 т/ч	Да



Рисунок Г11 – Косилка ROTEX KRMZ 5XR



Рисунок Г12 – Агрегат кормодробильный АКР-1



Рисунок Г13 – Агрегат кормовой многофункциональный АКМ-9

Таблица Г4 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Кубанской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	l _{ср.} , см	V _{р.} , м	V _{р.} , км/ч	W, га/ч	Соответствует аготребованиям
Жатка для грубостебельных культур ЖГР-4,5-1Е, ОАО «Гомсельмаш», Республика Беларусь, г. Гомель	Сеяные и естественные травы	Нет	20–30	–	4,2	7,8	2,4–3	Да
Жатка для уборки трав КВК-6025.12-02, ОАО «Гомсельмаш», Республика Беларусь, г. Гомель	Сеяные и естественные травы	Нет	30	–	4,8	4,6	2,2	Да
Жатка соевая универсальная ЖСУ-703,	Соя, зерновые	Нет	–	8–8,6	7	5,1–6	3–3,6	Да

ОАО «Морозовсель- маш», г. Морозовск	колосовые, зернобобо- вые, крупя- ные							
Жатка зерновая 740 CF-25 SUPERFLEX, «New Holland», Бельгия	Зерновые колосовые, крупяные и семенники трав	Нет	Нет	18,3	7,32	5–10	3,99	Да
Косилка ротационная навесная ЖТТ-3,2, АО «Клевер», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естествен- ные травы	Нет	Нет	8–10	3,2	9–15	2,7– 4,5	Да



Рисунок Г14 – Жатка для грубостебельных культур ЖГР-4,5-1Е



Рисунок Г15 – Жатка для уборки трав КВК-6025.12-02



Рисунок Г16 – Жатка соевая универсальная ЖСУ-703



Рисунок Г17 – Жатка зерновая 740 CF-25 SUPERFLEX



Рисунок Г18 – Косилка ротационная навесная ЖТТ-3,2

Таблица Г5 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Подольской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	B _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Жатка для уборки кормовых культур SH-025, ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	От 5,8	5	До 7,6	3,7	Да
Самоходная косилка-плющилка «Мещера Е-403», ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	5,7	4,2	7,7	3,2	Да
Жатка для уборки кормовых культур Е-023, ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	5,5	4,2	8,5	3,5	Да

Продолжение таблицы Г5

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	B _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Жатка для уборки кормовых культур Е-025, ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	5,5	5	До 7,7	3,9	Да
Жатка для уборки Кормовых культур Sh-42,	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	5,2	4,2	До 7,7	3	Да

ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск								
Жатка для уборки кормовых культур SH-42, в агрегате с самоходным кормоуборочным комбайном Е-281 «Марал-125», ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	5,2	4,2	7,5	3,2	Да
Жатка зерновая валковая SH-309Т, ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Зерновые колосовые, крупяные и семенники трав	Да	Нет	15	6,4	9	5,2–5,8	Да
Жатка для уборки кормовых культур Е-023 в агрегате с самоходной косилкой-плющилкой Е-303, ОАО «Егорьевский механический завод», Московская обл., г. Егорьевск	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	5	4,2	7,3–7,5	3,1	Да

Продолжение таблицы Г5

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	B _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует агротребованиям
Измельчитель-смеситель раздатчик кормов ИСРК-15Ф «Хозяин», ООО «Интенсивные технологии», г. Смоленск	Зеленая масса, силос, сенаж, рассыпное и прессованное сено,	Нет	Да	–	–	2,4–12	4,9–16	Да

	солома, комби- корма, корне плоды							
--	---	--	--	--	--	--	--	--



Рисунок Г19 – Жатка для уборки кормовых культур SH-025 в агрегате с самоходной косилкой-плющилкой «Мещера Е-403»



Рисунок Г20 – Самоходная косилка-плющилка «Мещера Е-403»



Рисунок Г21 – Жатка для уборки кормовых культур E-023



Рисунок Г22 – Жатка для уборки кормовых культур E-025



Рисунок Г23 – Жатка для уборки кормовых культур SH-42



Рисунок Г24 – Жатка зерновая валковая SH-309Т



Рисунок Г25 – Жатка для уборки кормовых культур SH-42 в агрегате с самоходным кормоуборочным комбайном E-281 «Марал-125»



Рисунок Г26 – Жатка для уборки кормовых культур Е-023
в агрегате с самоходной косилкой-плющилкой Е-303



Рисунок Г27 – Измельчитель-смеситель раздатчик кормов ИСРК-15Ф «Хозяин»

Таблица Гб – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Поволжской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	Цер, см	В _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Косилка Ротационная Навесная н17.00.000, ООО «Трактор», г. Еманжелинск	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	5,5	1,2	4,4	0,53	Нет
Косилка валковая транспортерная КВТ 7-14 «Draper Flow 700», ООО «КЗ «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	6–18	7	11	7,4	Да



Рисунок Г28 – Косилка ротационная навесная Н17.00.000



Рисунок Г29 – Косилка валковая транспортерная КВТ 7-14 «Draper Flow 700»

Таблица Г7 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Северо-Западной МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	В _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Комбайн кормоуборочный самоходный Ягуар 870, фирма «КЛААС», Германия	Сеяные и естественные травы, кукурузы (скашивание с одновременным измельчением)	Нет	14–30	–	–	6,7–9	9,8	Да
Косилка-плющилка FC 303GS, Kuhn FC 303 GS, Франция	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	12,6	2,6	9	2,41	Да



Рисунок Г30 – Комбайн кормоуборочный самоходный Ягуар 870



Рисунок Г31 – Косилка-плющилка FC 303GC

Таблица Г8 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Северо-Кавказской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	l _{ср} , см	B _p , м	V _p , км/ч	W, га/ч	Соответствует аг- ротребованиям
Косилка-плющилка КП-500, ОАО «Аксайкардандеталь»	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	5–7	4,9	11	5,8	Да
Косилка валковая транспортная КВТ 7-14 «Draper Flow 700», ООО «КЗ «Ростсельмаш», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	6–18	7	11	7,4	Да

Продолжение таблицы Г8

Название, марка, производитель	Культура	Площение	U, мм	h _{ср} , см	V _p , м	V _p , км/ч	W, га/ч	Соответствует аг-ротребованиям
Косилка роторная фронтальная КРФ-350 в комплексе с энергосредством ES-1,	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	4-8	3,48	8-18	2,84	Да
Косилка ротационная навесная ЖТТ-2,4 «Strige», АО «КЛЕВЕР», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	7,5-10	2,4	9-12	2,34	Да
Косилка-плющилка GM-500-02 в агрегате с шасси самоходным ШС-150, АО «Клевер», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	5,5-9,4	3,4	11	3,4-3,6	Да
Косилка роторная полуприцепная КРП-350-01 «Berkut UNO MAX», АО «Клевер», г. Ростов-на-Дону	Сеяные и естественные травы	Да	Нет	8	3,2	10	3,2	Да
Косилка-измельчитель роторная КИР-1,5М, АО «Корммаш», п. Орловский Ростовской обл.	Сеяные и естественные травы, кукуруза, подсолнечник	Нет	22-61	9	1,47	7,3	13,4 т/ч	Да
Косилка-измельчитель роторная КИР-1,85 «Корммаш», АО «Корммаш», п. Орловский Ростовской обл.	Сеяные и естественные травы, кукуруза, подсолнечник	Нет	-	7-7,4	1,8	До 10	9,7 т/ч	Да



Рисунок Г32 – Косилка-плющилка КИ-500



Рисунок Г33 – Косилка валковая транспортерная КВТ 7-14 Draper Flow 700



Рисунок Г34 – Косилка роторная фронтальная КРФ-350



Рисунок Г35 – Косилка ротационная навесная ЖТТ-2,4 Strige



Рисунок Г36 – Косилка-плющилка GM-500-02 в агрегате с шасси самоходным ШС-150



Рисунок Г37 – Косилка роторная полуприцепная КРП-350-01 Berkut UNO MAX



Рисунок Г39 – Косилка-измельчитель роторная КИР-1,5М



Рисунок Г40 – Косилка-измельчитель роторная КИР-1,85 «Корммаш»

Таблица Г9 – Результаты анализа протоколов испытаний срезающих, срезающе-измельчающих и срезающе-плющильных устройств на Сибирской МИС

Название, марка, производитель	Культура	Плющение	U, мм	h _{ср} , см	V _p , м	V _p , км/ч	W, га/ч	Соответствует требованиям
Измельчитель соломы навесной ИСН-2Д, ФГУП «Омский экспериментальный завод», г. Омск	Зерновые, зернобобовые, крупяные, семенники трав и подсолнечник	Нет	15	–	–	3,7–3,9	4 м	Да
Косилка ротационная навесная КРН-2,1Б, ООО ПО «Завод Бежецксельмаш», г. Тверь	Сеяные и естественные травы	Нет	Нет	6,8	9,1	10	2,06	Да
Измельчитель грубых кормов в рулонах ИРК-145, ОАО «Бобруйскагро-маш», Республика Беларусь,	Грубые корма и подстилочный материал	Нет	30–47	–	–	1,8–1,9	9,7 т	Да

г. Бобруйск								
-------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Продолжение таблицы Г9

Название, марка, производитель	Культура	Площадь	U, мм	h _{ор} , см	B _р , м	V _р , км/ч	W, га/ч	Соответствует аг- потребованиям
Измельчитель кормов роторный РИК-8, ООО «НОЭЗНО-Сельмаш», г. Новосибирск	Грубые корма	Нет	50	–	–	–	3,06 т	Да
Измельчитель-смеситель раздатчик кормов ИСРК-12 «Хозяин», ООО «Интенсивные технологии», г. Смоленск	Кормовая смесь	Нет	30–40	–	–	2,0–3,0	15,68 т	Да



Рисунок Г41 – Измельчитель соломы навесной ИСН-2Д



Рисунок Г42 – Косилка ротационная навесная КРН-2,1Б



Рисунок Г43 – Измельчитель грубых кормов в рулонах ИРК-145



Рисунок Г44 – Измельчитель кормов роторный РИК-8

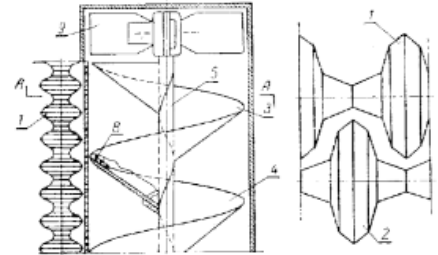
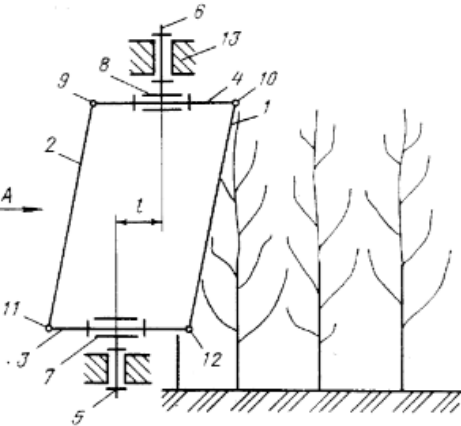
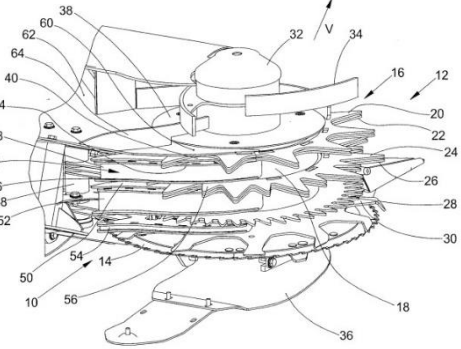
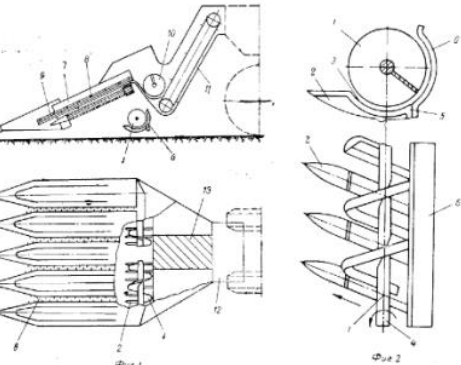


Рисунок Г45 – Измельчитель-смеситель раздатчик кормов ИСРК-12 «Хозяин»

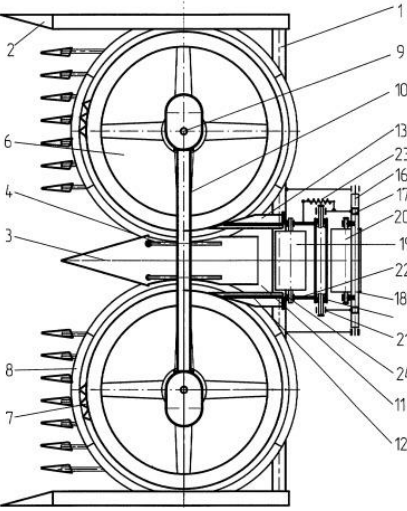
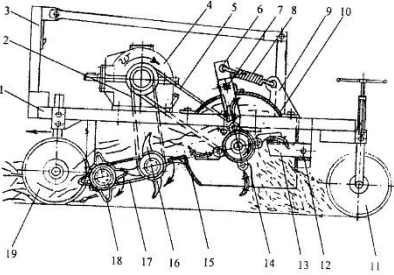
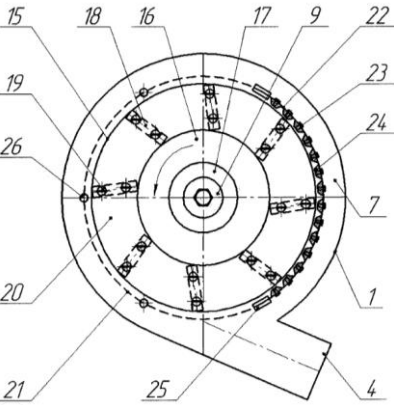
ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Результаты патентного обзора и анализа

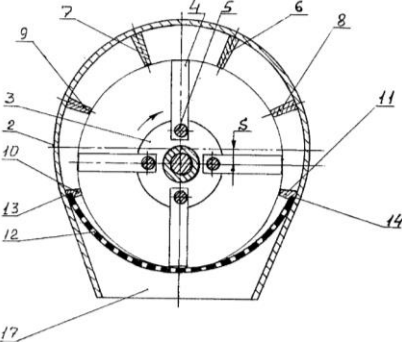
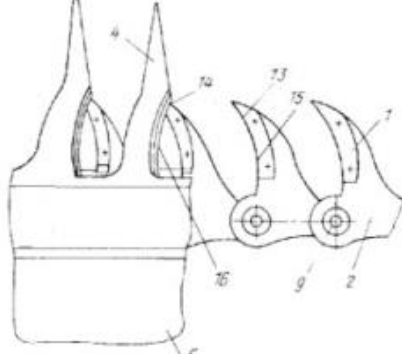
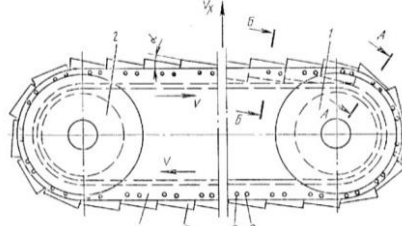
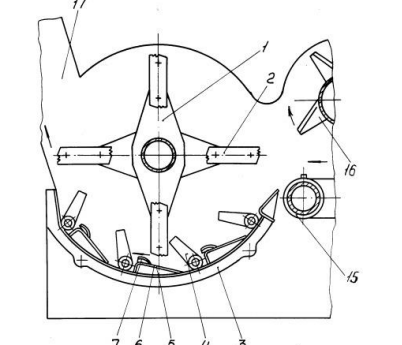
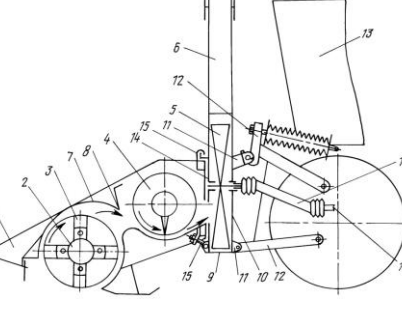
Таблица Д1 – Результаты патентного обзора и анализа

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
124746		Рубящее резание заменяется скользящим использованием. Шнековый аппарат	Отсутствует дополнительное измельчение стеблей
1607733		Аппарат обеспечивает срез и измельчение ротором содержащим ножи и поперечные планки	Не обеспечивает сбор срезаемых стеблей
2563692		Содержит несколько транспортирующих дисков. По краям транспортирующих дисков распределены зубья	Отсутствует возможность измельчения стеблей
252751		Стебли попадают в зазор между пальцами, подводятся винтовым ножом к противорежущему элементу и срезаются	Отсутствует возможность измельчения стеблей

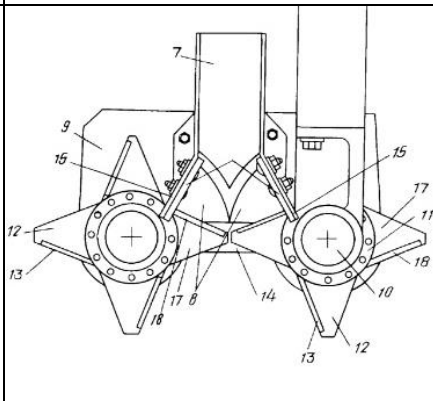
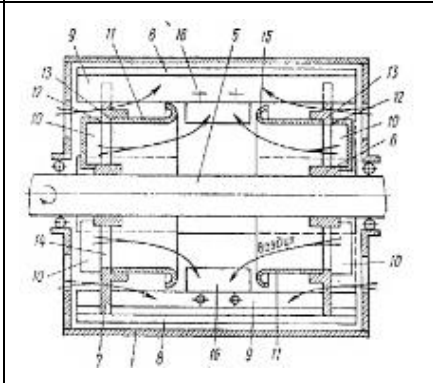
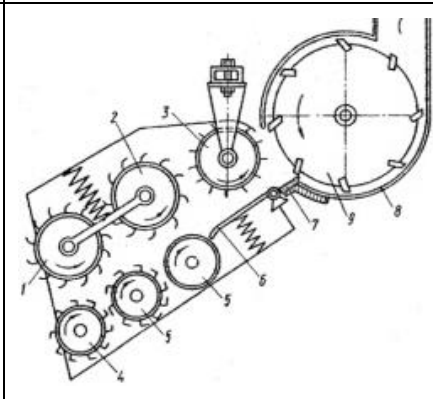
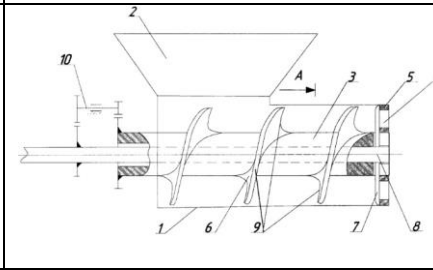
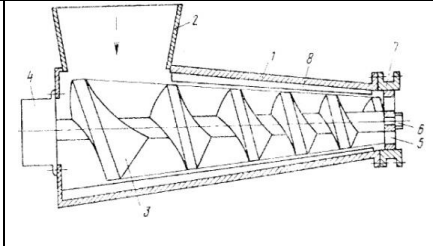
Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
2323564		Жатка имеет центральные и боковые делители и подающие барабаны	Отсутствует возможность измельчения стеблей
2684304		Измельчитель имеет барабан измельчителя с молотками, кожух и держатели ножей с противорезами	Отсутствует возможность сбора стеблей
189365		Измельчитель имеет отбойные элементы, причем разгонные лопатки ротора имеют возможность поворота при износе рабочей стороны	Отсутствует возможность измельчения стеблей

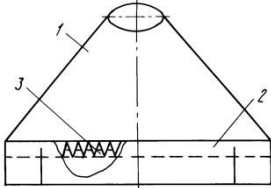
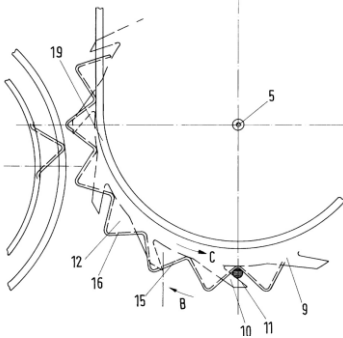
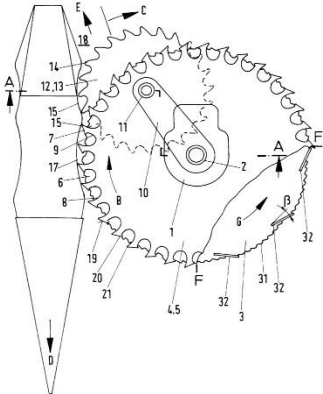
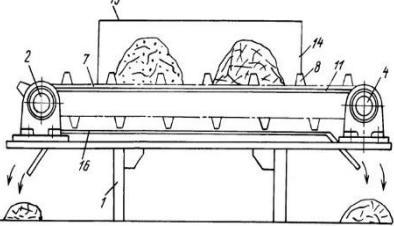
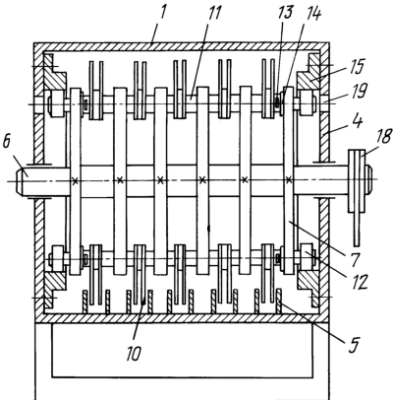
Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
2195368		Измельчитель имеет ротор с молотками, ось которого смещена относительно оси корпуса с образованием серповидного зазора	Имеет функцию только измельчения без среза
1428258		Имеет гребенчатые неподвижные ножи на приводной цепи подвижные ножи	Отсутствует возможность измельчения стеблей
1521346		Имеет ведущий и ведомый шкивы с лентой, в которую вставлены ножи	Отсутствует возможность измельчения стеблей
2064756		Рифлёные планки установлены на наклонных гранях. Измельчитель имеет зубчатую форму	Отсутствует срез
2113101		Имеет ротор с ножами, подающий шнек, швырялку, трубопровод	Сложность уборки высокорослых растений

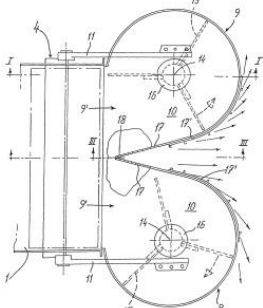
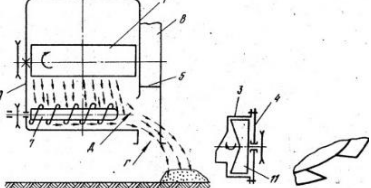
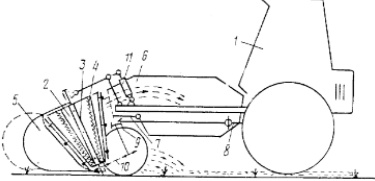
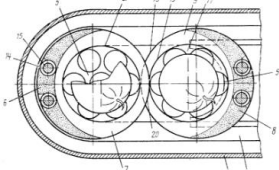
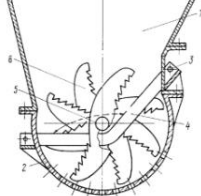
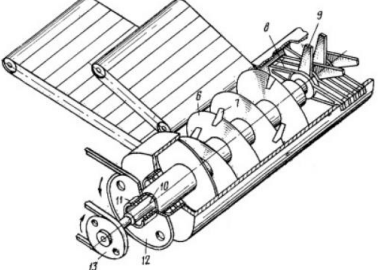
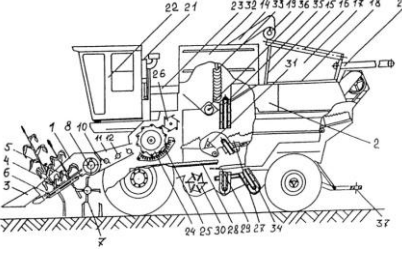
Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
1493141		Имеет сегменты с режущими элементами. Установлен нижний противорез	Не измельчает стебли
1709952		Имеет противорезы, загрузочные и выгрузные окна	Не обеспечивает срез стеблей
1033045		Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, преимущественно с конструкции измельчающего аппарата кукурузоуборочных машин	Не обеспечивает срез стеблей
142728		Предназначена для измельчения продуктов сельского хозяйства и может применяться для измельчения корнеплодов, зерна и грубых кормов. Данная конструкция содержит полый цилиндр с загрузочной воронкой, подающий шнек, измельчающий орган, выгрузное окно, перекрываемое декой и редуктор	Только для измельчения в животноводстве
1768296		Ножи шнека закреплены равномерно и с одинаковым зазором	Не срезает стебли

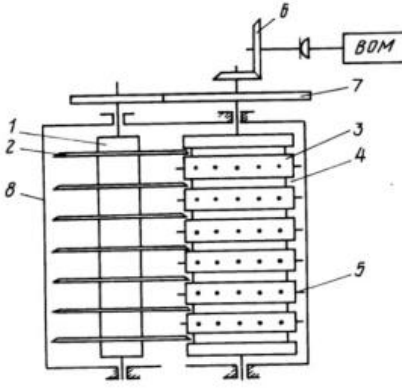
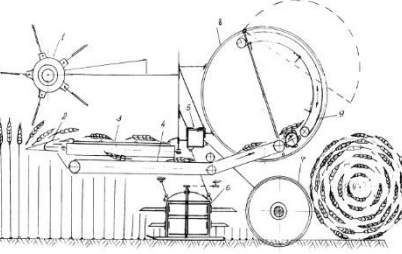
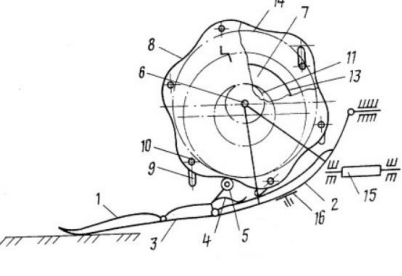
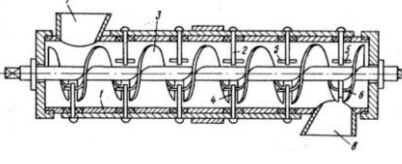
Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
2050099		Имеет всасывающее устройство, включающее конфузор, состоящий из боковых направляющих воздушного потока, верхней поверхности и нижнего основания	Отсутствует возможность измельчения стеблей
2136135		Режущий и транспортирующие диски вращаются в разных направлениях	Отсутствует возможность измельчения стеблей
2146863		Имеет косилочный и транспортный механизм. Косилочный имеет форму барабана	Отсутствует возможность измельчения стеблей
2267907		Измельчитель имеет параллельно расположенные замкнутые контуры цепей	Только измельчает без среза
2242114		Измельчитель содержит ротор с дисками и противорезы. Оси с измельчающими элементами пропущены с зазором через отверстия в дисках ротора	Не срезает стебли

Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
2248114		Имеет измельчители и/или вращающиеся перегрузочные устройства. В его разгрузочной области размещены вентиляторы-швырялки	Без среза
933031		Изобретение относится к сельскохозяйственному машиностроению, в частности к навесным измельчителям соломы к зерноуборочным комбайнам	Отсутствует срез
1547767		Устройство для измельчения надземных частей чайных кустов	Не собирает стебли
1542527		Для измельчения корнеклубнеплодов, травы, соломы ботвы и т. п. Содержит кожух, неподвижный пакет пластин и смонтированный с возможностью возвратно-поступательного перемещения пакет ножей	Без среза
1544490		Имеет загрузочный бункер. В цилиндрическом корпусе установлены неподвижные ножи, между ними на горизонтальном валу по винтовой линии смонтированы подвижные ножи	Без среза
337095		Установлены на витках подающего шнека ножи	Без среза
2197813		Кукурузная жатка имеет измельчающий аппарат	Не обеспечивает сбор измельченных стеблей

Продолжение таблицы Д1

№	Иллюстрации	Описание	Недостатки
2048733		Измельчающий аппарат стеблей хлопчатника содержит два вертикальных барабана с принудительным встречным вращением	Не обеспечивает срез стеблей
2244397		Зерноуборочный агрегат включает жатку с режущим аппаратом. На раме жатки размещено устройство для прессования рулонов из скошенной массы	Без измельчения стеблей
1318196		Срезающее устройство капустоуборочной машины содержит клиновые лифтеры носки	Без дополнительного измельчения стеблей
701584		Измельчитель используется для кормов. Имеет шнековый режущий аппарат	Не обеспечивает измельчение толстостебельных культур

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Методические рекомендации по оценке эффективности инженерно-технических решений

Общие методические указания

Основным приемом обоснования экономической эффективности предлагаемой агроинженерной разработки является сравнение:

- проектируемой машины с лучшей из существующих (используемых в производстве);
- предлагаемой системы машин с применяемой в настоящее время;
- предлагаемой и существующей технологий выполнения механизированных работ.

При экономической оценке предлагаемых (разрабатываемых) сельскохозяйственных машин, заменяющих ручной труд, учитывается экономический эффект от сокращения затрат на оплату труда работников.

Если новая машина выполняет одновременно несколько операций, или ее применение влияет на показатели выполнения подготовительных, сопряженных и последующих операций, то экономические показатели базовой и новой техники определяются на всех этих операциях.

Если внедрение новой (модернизация существующей) машины ведет к увеличению количества продукции (урожайности) или повышению ее качества, необходимо учитывать и этот дополнительный эффект.

Окончательный вывод об эффективности предлагаемого агроинженерного решения следует делать, основываясь на тщательном анализе ряда технико-экономических показателей, основными из которых являются экономия приведенных затрат, срок окупаемости дополнительных капиталовложений и коэффициент эффективности капиталовложений.

Расчет технико-экономических показателей и оценка эффективности предлагаемых агроинженерных решений

В разделе дипломного проекта, посвященном экономическому обоснованию предлагаемых инженерных решений, необходимо

произвести расчет и сравнение комплекса технико-экономических показателей по существующему и новому вариантам, на основании которых принимается решение об экономической целесообразности предлагаемой разработки.

Ниже изложена методика расчета оценочных показателей.

Годовая (сезонная) экономия труда определяется по формуле:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^k (H_{y,i}^c - H_{y,i}^n) \times W_{z,i}^n,$$

где ΔH - годовая (сезонная) экономия труда чел.ч;

$H_{y,i}^c, H_{y,i}^n$ - затраты труда (трудоемкость операции) соответственно по существующему и проектируемому вариантам на i -й операции, чел.ч/га;

$W_{z,i}^n$ - годовая выработка агрегата (машины) в проектируемом варианте, га.

k - количество операций технологического процесса, выполняемых машиной с предлагаемыми технико-технологическими изменениями.

Затраты труда на i -й операции (трудоемкость операции) определяются по формуле:

$$H_{y,i} = \frac{L_i}{W_{ч,i}},$$

где L_i - количество обслуживающих агрегат механизаторов на i -й операции, чел.

$W_{ч,i}$ - часовая производительность агрегата (машины) на i -й операции, га/ч.

Степень снижения трудоемкости (C_n) в пределах технологического процесса определяется по формуле:

$$C_n = \frac{\sum H_{y,i}^c - \sum H_{y,i}^n}{\sum H_{y,i}^c} \cdot 100,$$

Рост производительности труда от применения предлагаемого инженерного решения рассчитывается по формуле:

$$P_p = \frac{\sum P_m^{i.n}}{\sum P_m^{i.c}},$$

где P_p - рост производительности труда, раз;

$P_{m.i}^n, P_{m.i}^{i.c}$ - производительность труда на i -й операции в проектируемом и существующем вариантах соответственно, га/чел.ч.

Производительность труда на операции определяется по формуле:

$$P_{m.i} = \frac{W_{q,i}}{L_i},$$

где $P_{m.i}$ - производительность труда на i -й операции, га/чел.ч;

Одним из основных показателей экономической эффективности предлагаемых инженерных решений является ожидаемый годовой экономический эффект, определяемый по формуле:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = \sum_{i=1}^k \Delta Z_i + D_y + D_k + D_p,$$

где $\mathcal{E}_{\text{год}}$ - общий годовой экономический эффект, руб.;

ΔZ_i - годовая экономия от сокращения эксплуатационных затрат на i -й операции, руб.;

D_y, D_k, D_p - соответственно дополнительный эффект от прибавки урожая, повышения качества продукции и экономии ресурсов., руб.

Дополнительный эффект от прибавки урожая в результате улучшения качества механизированных работ определяется по формуле:

$$D_y = \sum_{s=1}^S \Delta V^s \times C_p^s \times S^s$$

где ΔV^s - ожидаемая прибавка урожая s -й культуры, ц/га;

C_p^s - цена реализации s -й культуры, руб./ц;

S - количество культур, возделываемых с привлечением новой разработки;

S^s - площадь возделывания s -й культуры, га.

Дополнительный эффект от сокращения расхода семян, удобрений, ядохимикатов и других ресурсов равен:

$$D_p = \sum_{s=1}^S \Delta P_p^s \times C_{n,p}^s \times S^s$$

где ΔP_p^s - экономия P -го ресурса при возделывании s -й культуры, ц./га;

$C_{n,p}$ - цена приобретения P -го ресурса, руб./ц;

Дополнительный эффект за счет улучшения качества продукции можно определить из следующего выражения:

$$D_p = \sum_{s=1}^S \Delta C^s \times V^s \times S^s$$

где V^s - урожайность s -й культуры, ц./га;

ΔC^s - увеличение цены реализации s -й культуры за счет повышения качества, руб./ц;

Годовая экономия от сокращения эксплуатационных затрат на i -й операции определяется по формуле:

$$\Delta Z_{y,i} = (Z_{y,i}^c - Z_{y,i}^n) \times Q_{z,i}^n,$$

где $Z_{y,i}^c, Z_{y,i}^n$ - эксплуатационные затраты на i -й операции по существующему и проектируемому вариантам, руб.;

$Q_{z,i}^n$ - годовая выработка агрегата(машины) на i -й операции.

Эксплуатационные затраты на выполнение i -й операции определяются по формуле:

$$Z_{y,i}^3 = C_i^3 + C_i^a + C_i^{p.mo} + C_i^{mcm} + C_i^{np}$$

где C_i^3 - затраты на оплату труда с отчислениями на социальные нужды на i -й операции, руб./га;

C_i^a - амортизационные отчисления на i -й операции, руб./га;

$C_i^{p.mo}$ - отчисления на ремонты и техобслуживание на i -й операции, руб./га;

C_i^{mcm} - затраты на топливо и смазочные материалы на i -й операции, руб./га;

C_i^{np} - прочие прямые затраты на i -й операции, руб./га.

Оплата труда с отчислениями на социальные нужды определяется по формуле:

$$C_i^3 = \left(\frac{m_{q,i}^m l_i^m}{W_{q,i}} \times K_m + \frac{m_{q,i}^{ep} l_i^m}{W_{q,i}} \times K_{ep} \right) \times K_{соц}$$

где $m_{q,i}^m, m_{q,i}^{ep}$ - часовые тарифные ставки механизатора и вспомогательных рабочих соответственно на i -й операции, руб./ч;

$l_i^m, l_i^{вп}$ - количество соответственно механизаторов и вспомогательных рабочих, обслуживающих агрегат на i -й операции, чел;

K_m, K_{ep} - коэффициенты доплат к тарифному фонду механизаторов и вспомогательных рабочих (1,25 и 1,1 соответственно);

$K_{соц}$ - коэффициент отчислений на социальные нужды.

Амортизационные отчисления равны:

$$C_i^a = \frac{K_m a_m}{100 \times T_{z.m} W_{\text{ч}}^i} + \frac{K_{cm} a_{cm}}{100 \times T_{z.cm} W_{\text{ч}}^i} + \frac{K_{cy} a_{cy}}{100 \times T_{cy} W_{\text{ч}}^i},$$

где a_m, a_{cm}, a_{cy} - годовая норма амортизационных отчислений на трактор, сельхозмашину и сцепку соответственно, % (приложение 2).

Затраты на ремонты и техобслуживание рассчитываются по формуле:

$$P_T = \frac{K_m P_m}{100 \times T_{z.m} W_{\text{ч}}} + \frac{K_{cm} P_{cm}}{100 \times T_{z.cm} W_{\text{ч}}} + \frac{K_{cy} P_{cy}}{100 \times T_{cy} W_{\text{ч}}},$$

где P_m, P_{cm}, P_{cy} - годовая норма отчислений на ремонты и техническое обслуживание для трактора, сельхозмашины и сцепки соответственно, %. (приложение 3).

Балансовая стоимость технических средств, входящих в агрегат и выпускаемых промышленностью, определяется по формуле:

$$K_c = Ц \cdot K_{\delta.z},$$

где K_c - балансовая стоимость машины-эталона (существующей), руб.;

$Ц$ - цена приобретения машины (берется из прайс-листов торгующих организаций), руб.;

$K_{\delta.z}$ - коэффициент, учитывающий дополнительные затраты на транспортировку, монтаж и снабженческо-торговые расходы.

Для машин, не требующих монтажа, $K_{\delta.z} = 1,1$.

Для машин, требующих монтажа, $K_{\delta.z} = 1,2$.

Балансовую стоимость проектируемой машины (K_n) можно определять по формуле:

$$K_n = K_c + K_{mod},$$

где $K_{\text{мод}}$ - дополнительные затраты на модернизацию машины, руб.

Затраты на модернизацию (изготовление) машины можно определить по формуле

$$K_{\text{мод}} = K_{\text{р.м}} + K_{\text{н}} + K_{\text{тз}} + K_{\text{зн}} + K_{\text{нр}},$$

где $K_{\text{мод}}$ - затраты на модернизацию машины, руб.;

$K_{\text{р.м}}$ - затраты на расходные материалы, руб.;

$K_{\text{н}}$ - затраты на покупные изделия, руб.;

$K_{\text{тз}}$ - транспортно-заготовительные расходы, руб.;

$K_{\text{зн}}$ - заработная плата работников с отчислениями на соц. нужды, руб.;

$K_{\text{нр}}$ - общепроизводственные и общехозяйственные расходы, руб.

Затраты на материалы и покупные изделия, необходимые для модернизации (изготовления) машины, определяются на основании их объемов, установленных согласно чертежам, и цен, определяемых по прайс-листам торгующих организаций. Транспортно-заготовительные расходы ($K_{\text{тз}}$) принимаются равными 10% от стоимости покупных материалов и изделий.

Для расчета затрат на материалы и покупные изделия заполняется таблица, форма которой имеет следующий вид (табл. 1).

Таблица 1 - Затраты на материалы и покупные изделия

Наименование и марка материалов и покупных изделий	Единица измерения	Количество	Цена единицы, руб.	Стоимость, руб.
Транспортно-заготовительные расходы				
Итого	-	-	-	

Основная зарплата работников, занимающихся модернизацией (изготовлением) машины, определяется по часовым тарифным ставкам, применяемым на данном предприятии, и трудоемкости выполняемых работ согласно хронометражу или нормативным справочникам.

Трудоемкость и зарплата на модернизацию (изготовление) машины, а также отчисления на социальные нужды рассчитываются в таблице 2.

Таблица 2 - Трудоемкость и зарплата на модернизацию (изготовление) машины

Наименование работ	Разряд	Трудоемкость, чел.ч	Часовая тарифная ставка, руб.	Основная зарплата, руб.
Слесарные				
Токарные				
Сварочные				
и т.д.				
Отчисления на социальные нужды				
Итого оплата труда с отчислениями				

Общепроизводственные и общехозяйственные расходы определяются в размере 4% от зарплаты с отчислениями на соц. нужды.

$$K_{np} = 0,04 \times K_{зн},$$

Затраты на топливо и смазочные материалы определяются по формуле:

$$C_{тсм} = g \times Z_{к},$$

где g - норма расхода топлива, кг./га;

$Z_{к}$ - комплексная цена ТСМ, руб./кг

Прочие прямые затраты определяются:

$$C_{пр.} = 0,04 \times C_{з}$$

Важным показателем эффективности предлагаемой разработки является срок окупаемости дополнительных капиталовложений ($T_{ок}$), определяемый по формуле:

$$T_{ок} = \frac{K_{\delta}}{\mathcal{E}_{\delta}}$$

где K_{δ} - размер дополнительных капиталовложений, руб.

Если проект посвящен модернизации существующей машины, то в этом случае размер дополнительных капиталовложений будет равен затратам на модернизацию ($K_{\delta} = K_{мод}$).

Если проект посвящен совершенствованию существующего состава технических средств для возделывания отдельных культур или всего севооборота, то размер дополнительных капиталовложений будет равен:

$$K_{\delta} = (\sum K_{\delta}^{мех} + K_{мод}) - \sum K_{ис}^{ост}$$

где $\sum K_{\delta}^{мех}$ - суммарная стоимость дополнительно включаемых в технологический процесс средств механизации, руб.;

$\sum K_{ис}^{ост}$ - суммарная остаточная стоимость исключенных средств механизации (10% от первоначальной балансовой стоимости), руб.;

Важным показателем эффективности является также коэффициент фактической эффективности капиталовложений ($E_{ф}$):

$$E_{ф} = \frac{\mathcal{E}_{\delta}}{K_{\delta}}$$

В заключении пояснительной записки необходимо провести сравнительный расчет технико-экономических показателей по существующему и проектируемому вариантам, значение которых также характеризует эффективность разработанных мероприятий.

Удельная материалоемкость процесса (M_{y}):

$$M_y = \sum_{i=1}^k M_y^i$$

где M_y^i - материалоемкость на i -й операции, кг/га.

Удельная материалоемкость (металлоемкость) на i -й операции рассчитывается по формуле:

$$M_y^i = \frac{M_m}{T_{z.m} W_y^i} + \frac{M_{cm} N_{cm}}{T_{z.cm} W_y^i} + \frac{M_{cy}}{T_{z.cy} W_y^i},$$

где M_m, M_{cm}, M_{cy} - масса трактора и сельхозмашины, кг
 N_{cm} - количество сельхозмашин в составе агрегата.

Энергоемкость процесса (A_y) определяется по формуле:

$$A_y = \sum_{i=1}^k A_y^i$$

где A_y^i - энергоемкость на i -й операции, кВт-ч/га.

$N_{дв}$ - эффективная мощность двигателя, кВт.

Удельная энергоемкость операции определяется по формуле:

$$A_y = \frac{N_{дв}}{W_y},$$

Все рассчитанные по приведенной выше методике показатели для удобства сравнения сводятся в таблицу 3

Таблица 3 - Показатели экономической эффективности разработки

Показатель	Значение показателя		Эффект	
	существующего	проектируемого	абсолют.	относит.,%
Затраты труда, чел.ч./т				
Производительность труда, т/чел.ч				
Эксплуатационные затраты, руб./т в том числе: оплата труда амортизация ремонт и ТО топливно-смазочные материалы прочие прямые затраты				
Металлоемкость, кг/т				
Энергоемкость, кВт.ч/т				
Дополнительные капиталовложения, руб.			x	
Ожидаемый годовой эффект, руб.				
Срок окупаемости дополнительных капиталовложений, лет				
Коэффициент фактической эффективности				