

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



На правах рукописи

СТРИГУНОВА Надежда Юрьевна

ПАРАМЕТРЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ С РАБОЧИМ
ОРГАНОМ МОЛОТКОВО-СЕГМЕНТНОГО ТИПА

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель
доктор технических наук,
профессор Фролов Владимир Юрьевич

Краснодар, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ К СКАРМЛИВАНИЮ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ	9
1.1 Характеристика производственной деятельности животноводческих предприятий	9
1.2 Классификация оборудования подготовки кормов к скармливанию	14
1.3 Краткий обзор исследований процесса измельчения стебельных кормов	32
1.4 Выводы, цель и задачи исследований	35
2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ РАБОЧИМ ОРГАНОМ МОЛОТКОВО-СЕГМЕНТНОГО ТИПА	38
2.1 Обоснование конструктивно-технологической схемы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа	38
2.2 Исследование энергозатрат измельчителя молотково-сегментного типа	49
2.3 Определение скорости перемещения корма в камере измельчения	56
2.4 Выводы	59
3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	60
3.1 Методика экспериментальных исследований	60
3.2 Описание экспериментальной установки	67
3.3 Определение факторов, существенно влияющих на процесс измельчения	73
3.4 Результаты оптимизации процесса измельчения стебельных кормов	79
3.5 Выводы	88
4. ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ	90

4.1	Экономическая эффективность применения проектируемого измельчителя стебельных кормов	90
	Выводы	
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	
	ПРИЛОЖЕНИЯ	

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. В 2020 году доля фермерской сельхозпродукции в ее валовом производстве в стране увеличилась с 13,7 % до 14,3 %. При этом индекс производства превысил 103,8 % — это наибольший темп роста в сельском хозяйстве. Именно малыми предприятиями обеспечен рост поголовья и в целом положительная динамика в российском животноводстве по итогам прошлого года. За последние пять лет в КФХ прирост производства скота и птицы (на убой) составил 25 %, молока — 38 %, яиц — 45 % - по данным министерства сельского хозяйства.

Кубань – лидер в России по производству молока – 1,5 млн тонн, средний надой на корову составил 8098 кг, это на 1 тонну выше общероссийского показателя. Регион создает современный животноводческий комплекс с высокотехнологичным оборудованием.

Вопросы кормозаготовки на Кубани очень актуальны, так как стоит задача обеспечения отрасли животноводства качественными кормами. Заготовку кормов аграрии ведут с постоянной проверкой качества и использованием современных технологий, предложенных учеными аграриями. Прочная кормовая база позволит животноводам Кубани реализовать высокий генетический потенциал крупного рогатого скота и получить увеличение объемов молока и другой животноводческой продукции.

Фермеры Кубани играют большую роль в животноводстве. Ими произведено до 30 % продукции. Администрация края осуществляет поддержку фермерам: гранты, льготные кредиты. Но высокотехнологичного оборудования для производства кормов недостаточно. Поэтому задача разработки кормоизмельчителя с рабочим органом молотково-сегментного типа, который готовит качественные корма, является проблемой реальной, очень важной для хозяйств малых форм собственности.

Степень разработанности темы. Теоретические методики и практические разработки по подготовке стебельных кормов к скармливанию, а именно

измельчению кормов, заложили академики В.П. Горячкин, В.А. Жилеговский. Продолжили работы по исследованию приемов и оборудования для измельчения кормов ученые: Г.М. Кукта, С.В. Мельников, Н.Е. Резник, П.М. Роцин, П.А. Савиных, В.И. Сыроватко, В.Р. Алешкин, В.Г. Коба, В.Е. Тупицын, Д.Н. Кошурников, В.Е. Косолапов, О.П. Матушкин, А.А. Рылов, М.Н. Тимофеев, В.Ю. Фролов, И.Н. Краснов, С.М. Доценко, С.В. Брагинец, У.К. Сабиев и др.

Основы теории измельчения грубых стебельных кормов исследовал Н.В. Брагинец, а оптимизацию основных параметров молоткового измельчителя грубых кормов изучал П.Н. Солонщиков и Е.В. Косолапов, они же оценили влияние угла установки ротора и частоту вращения бункера.

Как показал анализ результатов исследований вышеуказанных ученых недостаточно внимания было уделено комбинированному рабочему органу молотково-сегментного типа, так как ранее исследования проводились отдельно на молотковых дробилках и измельчителях ножевого типа.

Рабочая гипотеза. Изменение поточно-технологической линии приготовления кормов на фермах путем внедрения измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа позволит получить высокие качественные показатели, уменьшить энерго- и трудозатраты.

Цель работы – повышение эффективности процесса измельчения путем обоснования параметров и режимов работы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Объект исследования - технологический процесс приготовления кормов на животноводческой ферме измельчителем стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Предмет исследования - зависимости процесса приготовления кормов, изучение действия сил на стебельные корма в процессе резания в измельчителе с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Задачи исследований.

1. Выявить современные тенденции развития технических средств измельчения стебельных кормов, применимых в хозяйствах малых форм

собственности, и усовершенствовать классификацию оборудования подготовки кормов к скармливанию животным, позволяющую определить перспективное направление для разработки нового технического средства и обосновать его конструктивно-технологическую схему.

2. Выявить аналитические зависимости технологического процесса измельчения стебельных кормов измельчителем с рабочим органом молотково-сегментного типа, определить рациональные параметры и режимы его работы.

3. Обосновать конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

4. Провести экспериментальные исследования процесса измельчения стебельных кормов измельчителя с рабочим органом молотково-сегментного типа.

5. Дать экономическую оценку эффективности внедрения предложенного измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Научная новизна работы:

- параметры и режимы работы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа, которые позволили снизить энергоемкость и металлоемкость технологического процесса;

- аналитические зависимости качества получаемого корма от размеров измельчающей камеры и режущих элементов, позволяющие наметить перспективные направления в разработке технических средств для измельчения кормов;

- конструктивно-технологические параметры процесса измельчения кормов измельчителем с рабочим органом молотково-сегментного типа, позволяющие на стадии проектирования обосновать наиболее рациональную конструктивную схему технических средств;

- уравнения регрессии для модуля помола и энергоемкости.

Теоретическая и практическая значимость исследований.

Обоснована поточно-технологическая линия приготовления стебельных кормов на фермах, предложен измельчитель с рабочим органом молотково-

сегментного типа, изучены закономерности работы оборудования для приготовления кормов.

Получены аналитические зависимости качества получаемого корма от конструктивных особенностей измельчителя.

Разработана классификация машин для измельчения кормов, на основе которой выявлены перспективные направления и предложен измельчитель кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Получены параметры и режимы работы, которые позволили разработать измельчитель стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа. Новизна технического решения подтверждена патентом на изобретение РФ № 2639326.

Уравнения регрессии позволили получить оптимальные значения факторов, влияющих на модуль помола и энергоемкость процесса.

Методы исследований.

Эксперименты выполнялись в лабораторно-производственных условиях. Применяемые приборы, датчики соответствуют ГОСТам и техническим требованиям, результаты обрабатывались методом планирования многофакторного эксперимента. Обработка полученных результатов выполнялась методом математической статистики MathCad, Microsoft Excel, Statistica 7.0.

Основные положения, выносимые на защиту:

- параметры и режимы работы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа;
- аналитические зависимости качества получаемого корма от конструктивных особенностей режущей пары измельчителя;
- экспериментальные зависимости процесса измельчения, позволяющие определить направление развития техники для получения корма высокого качества с наименьшими энерго- и трудозатратами;
- уравнения регрессии для модуля помола и энергоемкости;
- результаты сопоставления теоретических и экспериментальных данных.

Апробация результатов.

Итоги исследований обсуждались на заседаниях кафедры «Механизации животноводства и БЖД» Кубанского ГАУ, научных и научно-практических конференциях: X Всероссийская конференция молодых ученых (Краснодар, 26–30 ноября 2016 г.); Научное обеспечение агропромышленного комплекса (Краснодар, 12 апреля 2016 г.); Всероссийская молодежная научная конференция «Инновационные энерго-ресурсосберегающие технологии и техника XXI века» (Ростов-на-Дону, 3 марта 2017 г.); Научное обеспечение агропромышленного комплекса (Краснодар, 1 февраля – 1 марта 2017 г.); 73-я научно-практическая конференция студентов по итогам НИР в 2017 году (Краснодар, 2018 г.); Международная научно-практическая конференция «Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения» (Оренбург, 23 января 2019 г.); Международная научно-практическая конференция «Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях» (Тюмень, 4 февраля 2019 г.); I и II этап Всероссийского конкурса на лучшую научную работу среди студентов, аспирантов и молодых ученых по направлению: «Технические науки», (Волгоград, апрель 2021 г.); XIV Международный салон изобретений и новых технологий «Новое время», получены диплом и серебряная медаль (Севастополь, 27–29 сентября 2018 г.).

Публикации. По результатам исследований опубликовано 28 научных работ, из них 3 статьи, включенных в текущий перечень ВАК, 1 патент РФ, 1 публикация в журнале Web of Science «Research journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences», 1 публикация в Scopus «E3S Web of Conferences 273, 07035 (2021)». Общий объем публикаций 4,88 печ. л., из которых 2,4 печ. л. принадлежат лично автору.

Структура и объем работы. Диссертационная работа изложена на 143 страницах машинописного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 136 наименования, приложений, а также содержит 46 рисунков и 29 таблиц.

1 АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ К СКАРМЛИВАНИЮ В ЖИВОТНОВОДСТВЕ

1.1 Характеристика производственной деятельности животноводческих предприятий

Повышение эффективности производства продукции животноводства – важнейшая задача работников агропромышленного комплекса. Животноводство – сложный и долговременный процесс, результаты которого определяются множеством факторов:

- генетический потенциал стада;
- условия содержания (привязное, беспривязное);
- обеспечение качественной кормовой базы;
- снабжение доступности водой;
- обеспечение микроклимата;
- экологическая безопасность производства.

Все эти условия оказывают влияние на конечный результат труда - получение высококачественного молока. А задачи перед аграриями стоят серьезные – получение 2175 тысяч тонн молока к 2030 году, в 2021 году получить 1536 тысяч тонн молока. Одним из основных факторов получения молока высокого качества является сбалансированное круглогодичное кормление животных, что обеспечивается системой машин и оборудования для производства и подготовки кормов к скармливанию животным. Задача исследователей - проектирование и внедрение в производство поточно-технологических линий, улучшающих качество кормов, снижающих потери, повышающих уровень механизации и автоматизации процесса кормоприготовления, занимающего до 40% расходов на производство молока. Кафедрой «Механизация животноводства и БЖД» постоянно ведутся работы по исследованию оборудования для кормоприготовления и раздачи кормов, применяемых на фермах и в хозяйствах малых форм собственности Кубани. Исследуются эксплуатационные свойства

машин, энергетические показатели, качество получаемого корма и экологичность его производства. По этим критериям фермер может выбирать нужное оборудование, а производитель выводить свое производство на оптимальный уровень, соответствующий требованиям по производительности, энергозатратам, трудозатратам и безопасности. Совместная планомерная работа науки, производства, сельского хозяйства способствуют достижению высоких показателей продуктивности животных в хозяйствах Кубанского аграрного университета – учхоз «Краснодарское» валовое производство молока за 2020 год составило 13 тысяч тонн, а средний удой за сутки на 1 корову – более 41 литра.

Подготовка кормов к скармливанию – важнейшая технологическая операция на животноводческих фермах и комплексах, которая ведется ежедневно, круглогодично [56]. Основные задачи кормопроизводства – обеспечение сбалансированного кормления животных для получения высоких привесов и надоев, рациональное использование кормов. Эффективность кормления повышается при улучшении питательности корма, снижении безвозвратных потерь, повышении уровня механизации и автоматизации применяемого оборудования.

Вопросами исследования оборудования для измельчения кормов занимались: Г.М. Кукта [35], С.В. Мельников, Н.Е. Резник, П.М. Рошин, П.А. Савиных, В.И. Сыроватко, В.Р. Алешкин, В.Г. Коба, В.Е. Тупицын, Д.Н. Кошурников, В.Е. Косолапов, О.П. Матушкин, А.А. Рылов, М.Н. Тимофеев, В.Ю. Фролов, И.Н. Краснов. Разработчики (ученые, конструкторы, инженеры, исследователи) стремятся технически оснастить производителей животноводческой продукции агрегатами, имеющими низкую энерго- и металлоемкость. Такие результаты использования оборудования обеспечиваются многофункциональностью машин, комплексным построением поточно-технологических линий приготовления и выдачи кормов животным, наряду с высокой производительностью оборудования, зная суточные и годовые объемы работ и используемое сырье. Исследователи улучшают исходные параметры

машин для повышения коэффициента использования и снижения затрат на оборудование на комплексах, фермах, фермерских хозяйствах.

Высокопроизводительные поточно-технологические линии базируются на машинах нового поколения с автоматизированным и дистанционным управлением.

Измельчение кормов – ключевой этап подготовки кормов к скармливанию. Измельчитель стебельных кормов обеспечивает равномерную подачу стеблей в бункер, стебли корма измельчаются до требуемых размеров и потоком воздуха перемещаются в кормушку животного или специальную емкость.

На кормоприготовительных агрегатах применяется 2 вида резания: ножевое и молотковое. Зеленые и грубые корма разрезаются вершиной двухгранного угла ножа, а корнеплоды, сочные корма – измельчаются молотками.

Затраты энергии на операцию резания зависят от многих причин:

- физико-механические свойства обрабатываемого корма;
- геометрических параметров и материалов ножей;
- скорость резания;
- острота ножей;
- зазор между элементами режущей пары.

Основоположник земледельческой механики Василий Прохорович Горячкин впервые в мире разработал теорию сельскохозяйственных машин. Его фундаментальные разработки теории масс и скоростей, удара и разрушения материалов, клина, резания и в настоящее время является классической в области технических наук. Продолжили и дополнили труды В.П. Горячкина академик ВАСНИЛ (1948) Владислав Александрович Желиговский [13]. В настоящее время вопросы измельчения кормов при подготовке их к скармливанию не потеряли своей актуальности.

Измельчение кормов производится для лучшей усвояемости животными, снижению потерь корма. Длина резки корма для коров составляет 40-50 мм, для лошадей и овец – 20-30 мм.

Высокий уровень механизации и автоматизации поточно-технологических линий заготовки сена позволяет получить высококачественный корм при меньших затратах. На Кубани аграриями в 2020 году согласно данных статистической отчетности Краснодарского края заготовлено более 300 тыс. тонн сена (Таблица 1.1-1.3) [126].

Таблица 1.1 - Посевные площади сельскохозяйственных культур по категориям хозяйств

	Хозяйства всех категорий		в том числе:					
			Сельхоз. организации		КХ и ИП		хозяйства населения	
	2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
	Тысяч гектаров							
Кормовые культуры	256,4	243,5	216,9	205,2	29,8	28,6	9,7	9,7
кукуруза на силос и зеленый корм	80,2	79,6	76,5	75,6	3,7	3,9	0,0	0,0
однолетние травы	33,5	31,7	27,4	25,3	3,3	3,5	2,8	2,8
многолетние травы	141,7	130,6	112,7	103,5	22,7	20,8	6,3	6,3

Таблица 1.2 - Валовые сборы сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий

	2010	2015	2016	2017	2018	2019
	Тысяч тонн					
Кормовые культуры:						
сено многолетних трав	490	351	472	367	288	303
сено однолетних трав	52	35	34	37	27	31
кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж	2002	1798	1790	1663	1563	1826

Заготовка грубых кормов в прессованном виде приводит к высокой плотности корма $100-120 \text{ кг/м}^3$, что позволяет уменьшить объемы помещений для хранения сена и повысить коэффициент использования объема транспорта до 0,82 (против 0,71). Коэффициент использования грузоподъемности транспортных средств повышается до 0,93 против 0,67. А это означает, что значительно снижаются экономические затраты при заготовке кормов.

Подготовка грубого корма к скармливанию улучшает пищеварительный процесс у животных и повышает поедаемость. Измельчение грубого корма в соответствии с зоотребованиями на частицы 10-80 мм для кормосмесей, 10-30 мм для брикетирования, до 5 мм при использовании для гранулирования.

Широкий спектр применения и использования измельченного корма требует большого количества оборудования (агрегатов), которые можно применять не только на крупных животноводческих предприятиях, но и в хозяйствах малых форм собственности, которые на Кубани составляют свыше 14000 КФХ и ИП. Поэтому разработка измельчителя стебельных кормов барабанного типа является задачей актуальной. Основные операции подготовки кормов на животноводческих объектах зависят от размеров хозяйств, породы и возраста животных, способа содержания животных, разнообразия рациона кормов [6].

Таблица 1.3 - Урожайность сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий

	2010	2015	2016	2017	2018	2019
Центнеров с одного гектара посевной площади						
Кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж	142,7	219,4	216,1	210,6	167,4	221,1
Сено многолетних трав	39,7	42,3	55,3	46,0	36,1	37,0
Сено однолетних трав	23,7	27,6	31,2	34,2	32,2	36,3

На кафедре Механизации животноводства и безопасности жизнедеятельности Кубанского государственного аграрного университета ведется большая научно-исследовательская работа по изучению оборудования, применяемого в передовых животноводческих хозяйствах, машин и агрегатов, предлагаемых на рынке сельхозмашиностроения. Результаты исследований докладываются на научных конференциях и в печати, а разработки технологического оборудования представляются на сельскохозяйственных выставках. Разработан кормораздатчик-измельчитель (патент на изобретение РФ № 2639326) [65].

Технологические операции подготовки кормов к скармливанию представлены на рисунке 1.1.

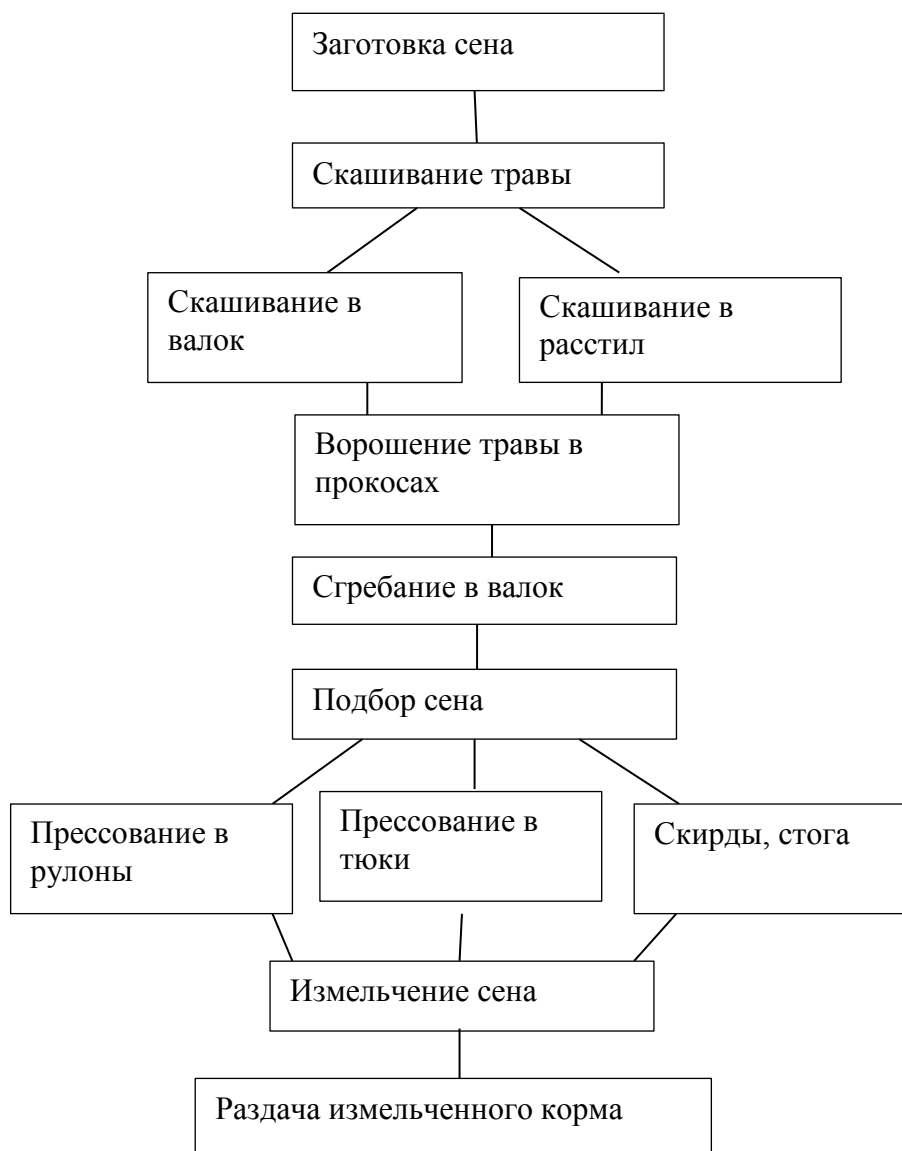


Рисунок 1.1 – Блок-схема технологических операций заготовки сена

1.2 Классификация оборудования подготовки кормов к скармливанию

На животноводческих фермах и ЛПХ разнообразие приемов подготовки грубых кормов, которые позволяют повысить качество кормов, что ведет к хорошей поедаемости, улучшению их питательности, усилению энергетического потенциала корма.

Корма, измельченные в технологической цепочке, позволяют механизировать, автоматизировать дозирование при выдаче корма, учитывая, что корм измельченный занимает значительно меньший объем. Поедаемость корма при измельчении увеличивается. Кормление неизмельченными стебельными кормами или неподготовленной соломой ведет к 30% потерям, при выдаче измельченного корма потери составляют до 2%.

Измельченные корма значительно легче поддаются запариванию, химической, биотермической обработкам, что повышает вкус и поедаемость (потребление) корма.

Технические средства подготовки кормов к скармливанию представлены очень широко и многообразно и классифицируются по назначению, применению, техническим характеристикам, перерабатываемым видам кормов.

Эффективность работы животноводческой фермы в большой степени зависит от качественного, сбалансированного полноценного кормления и выдачи корма животным ежедневно в одно и то же время.

Эту трудоемкую работу выполняют раздатчики кормов (стационарные и мобильные), измельчители кормов, дробилки, смесители, скомплектованные в поточно-технологические линии или применяемые автономно в зависимости от размеров фермы и разнообразия рациона.

В хозяйствах используются мобильные раздатчики кормов объемом кузова 1,5 – 25 м³.



Рисунок 1.2 – Общий вид кормораздатчика КТ-6



Рисунок 1.3 – Общий вид кормораздатчика КРФ-10

Кормораздатчики КТ-6, КРФ-10 наиболее просты в обслуживании, применяемые для раздачи измельченного корма [24, 25].

Таблица 1.4 - Техническая характеристика КТ-6

Грузоподъемность, кг, не более	2000
Вместимость кузова, куб.м, не менее	5,66
Эксплуатационная масса раздатчика, кг, не более	1500
Привод рабочих органов	от ВОМ трактора
Транспортная скорость движения, км/час, не более	25
Потребляемая мощность	Не более 7к Вт
Температура корма, °С, не менее	3,5
Равномерность подачи кормов	Не менее 85%
Скорость подачи кормов	75-600м ³ /ч
Габаритные размеры, мм, не более:	
-длина	5800
-ширина	2100
-высота	2180

Таблица 1.5 - Техническая характеристика кормораздатчик КРФ-10

Грузоподъемность, кг	4
Вместимость кузова, м ³	10
Транспортная скорость, км/ч	до 25
Габаритные размеры, м: длина, ширина, высота	6,7x2,3x2,5
Масса, т	2,9
Дорожный просвет, мм	320
Ширина колеи, м	1,7
Трактор, кл. т.с.	1,4

При выборе оборудования для подготовки и раздачи кормов хозяйственникам следует руководствоваться следующими правилами;

- учитывать поголовье,
- строительные размеры ворот, кормовых проездов, габариты кормушек;
- разновидность кормов и нормы выдачи;
- состояние дорог внутри фермы и расстояния от кормовой зоны.

Оценочными показателями измельчителей-смесителей являются измельчение и смешивание кормов согласно заданного рациона. Рабочие органы измельчителей – шнеки, расположенные горизонтально или вертикально. Производительность машин колеблется от 1,5 до 24 тонн в зависимости от объема кузова, перерабатываемых кормов, энергетических показателей.

Для переработки тюков и рулонов измельчители имеют противорезающие ножи, которые увеличивают производительность и получение хорошо измельченного корма. Точность дозирования при раздаче корма определяется согласно СТО 1.14. для грубых кормов составляет 15%. Выдача кормов осуществлялась на кормовой стол, невозвратимые потери кормов не допустимы.

Малые формы хозяйствования вносят весомый вклад в продовольственную безопасность. Только в минувшем году объем производства фермерской продукции превысил 150 млрд рублей.

Trioliet Solomix 1,5 ZK – малогабаритный измельчитель-смеситель кормов (высота 2,18, ширина 2,2 м) осуществляет подготовку и выдачу кормовых смесей КРС, взвешивает компоненты корма при загрузке, смешивает все составляющие рациона и подает кормовую смесь в кормушку или на кормовой стол. Выбор фермерами этого измельчителя-смесителя – эффективное приобретение при малом поголовье животных и ограниченном бюджете [17].



Рисунок 1.4 - Общий вид Trioliet Solomix 1,5 ZK Рисунок 1.5 - Общий вид Терм Микс (КР-003)

Измельчитель кормов Терм Микс (КР-003) используется на домашних подворьях или небольших животноводческих хозяйствах, подготавливает к раздаче траву, солому, корнеплоды, зерно. Измельчитель имеет малые габариты и мощность, высокую производительность, полученная продукция соответствует зоотехническим требованиям.

Эффективное использование энергии кормов в животноводстве достигается

приготовлением многокомпонентных полнорационных кормосмесей, что повышает полезное использование энергии корма на 15%, чем при раздельном скармливании ингредиентов корма. При производстве кормовых смесей используется больше местного сырья, грубых кормов, отходов пищевых производств.

Кормовые смеси готовятся измельчителями ИРМА-15, которые ведут подготовку грубых и сочных кормов животным. Два измельчающих барабана имеют шарнирно закрепленные молотки. Конструкция молотков и противорежущих элементов имеют продольные канавки, которые своими режущими кромками способствуют удалению измельченного корма из барабана. Поворот молотков вокруг штырей способствуют удалению инородных тел из камеры измельчения.



Рисунок 1.6 – Общий вид измельчителя ИРМА-15

Втулки, одетые на те же штыри, обеспечивают минимальный зазор, между молотками и противорежущим элементом.

Рабочий процесс измельчителя заключается в следующем. Стебельные корма, веточный корм, трава укладываются на транспортер и подаются на первый измельчающий барабан, где поданный корм предварительно измельчается и поступает на второй измельчающий аппарат, где взаимодействием неподвижных штифтов и вращающихся с большой скоростью молотков корм измельчается до заданных размеров и подается по дефлектору в емкость для дальнейшей раздачи

животным.

Представленный на рисунке 1.7 измельчитель выполняет подготовку стебельных кормов, измельчая их согласно зоотехническим требованиям.

С 6 мм ножами измельчитель способен перерабатывать стебли кукурузы, ветки, еловый лапник и др. для приготовления веточных кормов.

Трава, сено, солома, лапник и пр., предназначенные для измельчения укладываются в приемный лоток. Пучок травы вручную подают в сторону подающего вала, одновременно вращая его. После успешного захвата валком, пучок механически подается в зону резания. Скорость подачи в камеру измельчения определяется опытным путем и зависит от вида измельчаемого продукта и необходимой фракции на выходе. Продукты измельчения собираются в емкость, установленную под выходным лотком.



Рисунок 1.7 – Внешний вид измельчителя травы, сена и соломы

Таблица 1.6 - Технические характеристики измельчителя травы, сена и соломы

Производительность	150 кг/ч
Напряжение	220 В
Мощность	2,0 кВт
Габаритные размеры	400 x 950 x 1300
Масса	45 кг
Количество оборотов двигателя	2800
Тип привода	Электрический
Перерабатываемое сырье	Стебельчатый корм

При измельчении сена, соломы или веток для регулировки фракции на измельчителе Кубанец используется сито, установленное на выходе. В комплект входит сито с отверстиями 10 мм.

Измельчитель снабжен надежным, асинхронным двигателем, мощностью 2 кВт. Позволяет работать под нагрузкой длительное время, без остановки.

Еловый лапник, мелкие сосновые ветки, хвоя в своем составе имеют хлорофилл, витамины, элементы меди, цинка, калия, смолу, фитоциды и масла эфирные. Все эти элементы, содержащиеся в хвойных растениях, благотворно влияют на микрофлору кишечника животных, проявляют бактериостатические действия. Измельченная хвоя хорошо переваривается 33-80%, является высокопитательным кормом. Молочным коровам измельченную хвою выдают один раз в сутки в количестве 150 граммов. Эта добавка к основному рациону улучшает пищеварительные и обменные процессы у коров, повышает продуктивность животных. Научные исследования по изучению применения хвойных добавок в рационах коров проводятся на фермах ФГБНУ ФНЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста. Результаты проведенных исследований показывает, что применение хвои улучшает микробиальные ферментационные процессы в преджелудках коров, что способствует улучшению перевариваемости рациона кормов [30].

Измельчение сена и соломы в рулонах выполняют установкой ИР-1,8, которая осуществляет загрузку, транспортировку и измельчение корма в соответствии с требованиями. Измельчитель агрегируется с трактором класса 1,4. Привод измельчителя осуществляется от вала отбора мощности трактора. Измельченный корм подается на кормовой стол, в кормушки, солома – на подстилку. Дальность распределения соломы составляет 19,5 м, что позволяет использовать измельчитель при беспривязном содержании животных. Наличие дополнительного ротора на измельчителе кормов позволяет получить сено, измельченным до 50-70 мм, что значительно увеличивает его поедаемость животными.

Измельчитель ИР-1,8 снабжен выдувателем большого диаметра, что позволит регулировать режущие ножи и производить корм мелкой фракции, имея высокую производительность. Сравнительная характеристика измельчителя ИР-1,8 представлена в таблице 1.8.



Рисунок 1.8 – Внешний вид измельчитель рулонов ИР-1,8 с малым выдувателем



Рисунок 1.9 - Внешний вид измельчитель рулонов ИР-1,8 однороторный

Степень измельчения корма регулируется противорежущей пластиной.

Таблица 1.8 - Сравнительные характеристики измельчителя ИР-1,8 различных модификаций

Наименование	ИР-1,8 однороторный	ИР-1,8 с дополнительным ротором	ИР-1,8 с малым выдувателем	ИР-1,8 с выдувателем
Степень измельчения сена, соломы, мм	100 – 250	50 – 70	70 - 150	50 - 100
Общая высота измельчителя с загруженным рулоном, мм	3100	3100	3180	3180
Дальность выброса сена, соломы, м	11	5	10	19,5 Максимальный вылет ножей, максимальный зазор в выдувателе
				16 Среднее положение вылета ножей, средний зазор в выдувателе
				13 Минимальный вылет ножей и минимальный зазор в выдувателе

Степень измельчения для соломы ближе к верхним значениям

Измельчитель рулонов ИР-1,8 с малым выдувателем предназначен для измельчения рулонов сена и соломы с подачей измельченной массы в бург, на кормовой стол или подстилку.

Измельчитель кормов БИК-103-М предназначен для измельчения материала, корнеплодов, свежей травы в бытовых условиях.



Рисунок 1.10 – Внешний вид измельчителя кормов БИК-103-М

Таблица 1.9 - Технические характеристики измельчителя кормов БИК-103-М

Производительность	
Корнеплоды	500 кг/ч
Трава	150 кг/ч
Зерно	200 кг/ч
Электротехнические характеристики	
Номинальное напряжение	220 В
Номинальная частота	50 Гц
Потребляемая мощность	750 Вт
Габаритные размеры ДхШхВ	280х280х360 мм
Масса	9 кг

Измельчитель соломы ДПМС(Р)-22 предназначен для измельчения рулонов соломы и сена влажностью до 15%. Технические характеристики представлены в таблице 1.10.



Рисунок 1.11 - Внешний вид измельчитель соломы ДПМС(Р)-22, измельчающий орган

Основными агрегатами измельчителя ДПМС(Р) являются рама, барабан, дробилка. На задней стенке барабана, с внешней стороны смонтирован корпус дробилки с расположенными в нем измельчающим ротором, держателем сита и вентилятором. На переднем диске ротора закреплены торцевые ножи (сегменты), и на осях между дисками ротора молотки. На подмоторной плите дробилке закреплен основной электродвигатель. Выгрузный патрубок соединен с камерой вентилятора.

Таблица 1.10 – Технические характеристики измельчителя соломы ДПМС(Р)-22

Показатели	ДПМС(Р)-22
Суммарная эл. мощность установленных электродвигателей, кВт в том числе:	28,25
— основного (привод дробилки), кВт	22
— приводного модуля (привод барабана)	0,75
— привод дополнительного ротора	5,5
Производительность, т/ч	1-2
Источник электрической энергии	Сеть переменного трёхфазного тока напряжением 380В, частотой 50Гц
Частота вращения ротора, об./мин.	3000
Габаритные размеры, (Д*Ш*В), мм	2715*2170*2520
Масса, кг	980



Рисунок 1.12 – Внешний вид измельчителя рулонов ИРР-1У

ИРР-1У - измельчитель рулонов вертикального исполнения, загрузка измельчителя осуществляется погрузчиком или талью. Техническая характеристика представлены в таблице 1.10.

Подлежащий измельчению рулон медленно загружается в бункер измельчителя после включения двигателя ротора и набора ротором рабочей скорости. Затем производится пуск привода бункера, который движется по окружности и передвигает рулон корма. В зоне измельчения разрезание корма посредством молотков ротора и ребер серпа, которые являются противорежущими элементами. Выходной патрубок воздушным потоком выводит измельченный корм.

Таблица 1.11 - Технические характеристики измельчителей

Наименование	Производительность	Установленная мощность
ИРР-1	до 1,8 т/ч	22 кВт
ИРР-2	до 1,8 т/ч	37 кВт
ИРР-3	до 2,1 т/ч	37 кВт

Основные преимущества измельчителя: автономность использования; быстрый монтаж; повышенная прочность оборудования; увеличенный срок

эксплуатации; однородность измельчения; универсальность оборудования. Возможность использования различных рулонов и тюков. Время измельчения одного рулона в зависимости от степени измельчения, составляет 5-20 мин.



Рисунок 1.13 – Внешний вид линии измельчения сена/соломы КИС

Таблица 1.12 – Техническая характеристика КИС

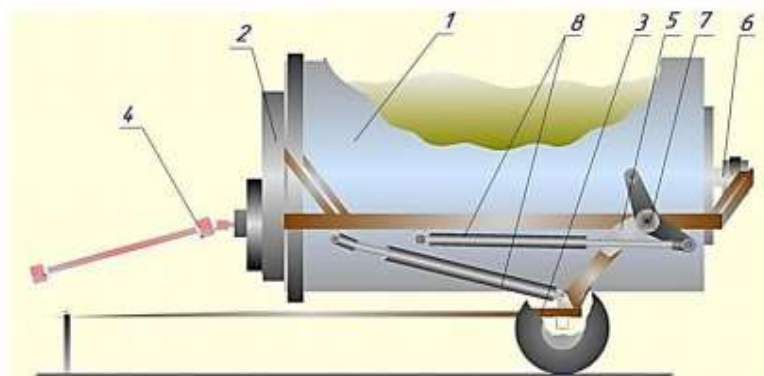
Наименование	Производительность, т/ч	Мощность, кВт
Линия КИС-1	до 0,7	51,10
Линия КИС-2	до 0,7	60,10
Линия КИС-3	до 1	60,10

Технические характеристики линии измельчения сена/соломы

Линия измельчения сена, соломы комплектуется оборудованием для подготовки кормов - сена и соломы к скармливанию животным. Корм измельчается на фракции 3-10 мм, что позволяет использовать его в качестве компонента при приготовлении комбикорма. Измельченная солома используется также в качестве подстилки. Повышенная эксплуатационная надежность. Производительность: до 1500 кг в час, загрузка рулонов осуществляется пневмобортом. Исходное сырье: рулоны сена и соломы, весом 350 кг, диаметр не более 1,8 м, влажностью менее 14%. Готовый продукт: сечка (60% отсева) 30-80 мм (нерегулируемая).

Многофункциональный измельчитель-раздатчик кормов (МИР-1)

В. К. Скоркин (ВНИИМЖ) обосновал применение инновационной техники для сбалансированного кормления животных в соответствии с их физиологическими потребностями, что увеличивает производство молока на 20% и уменьшает потребление корма на 15%. Это объясняется высоким качеством кормов, хорошей технологической дисциплиной на фермах и наличием многофункциональных установок раздачи кормов. Эти возможности позволяют получить продуктивность коров до 12000 кг молока в год [94].



1 – барабанный бункер; 2 – торцевая крышка с измельчителем роторного типа; 3 – рама с ходовой частью; 4 – система передач от ВОМ к измельчителю; 5 – механизм радиального поворота и опускания бункера; 6 – механизм осевого вращения барабанного бункера; 7 – механизм осевого перемещения барабанного бункера при стыковке и расстыковке с торцевой крышкой; 8- система гидropередач [94]

Рисунок 1.15 – Схема многофункционального измельчителя-раздатчика кормов (МИР-1)

Ученые ВНИИМЖа Скоркин В.К., Карпов В.П., Повалихин Н.В. исследовали и внедрили в производство измельчитель-смеситель кормов МИР-1 (рис.1.13). Применение такого измельчителя позволит сократить потери корма до 70%, снижение энергозатрат в 1,5 раза. Выполнены исследования определения качества получаемой смеси, равномерности смешивания.

Сравнительная характеристика описанных ранее измельчителей приведена в таблице 1.14.

Таблица 1.14 - Сравнительная характеристика некоторых измельчителей кормов

Модель	Габаритные размеры ДХШХВ, мм	Производительность, т\ч	Мощность привода, кВт	Удельная энергоёмкость, кВт · ч /т	Измельчающий аппарат
Trioliet Solomix ZK 1,5	4230x2200x2180	1,5	40	26	ножи
Кубанец	400x950x1300	0,15	7,5	5	ножи
ИР-1,8	6050x2400x2500	3,9	55	14	молотки
ДПМС(Р)-22	2715x2170x2520	1-2	28,25	18	ножи
БИК-103 М	280x280x360	0,15	0,75	5	ножи
ИРР-1У	2660x2120x2300	1,5	40	26	молотки, ножи
РИК-8	4500x4650x3450	5	50	10	молотки
ИГК-30 Б	3325x1350x3500	0,8	30	37,5	-
ИГК-Ф-4	3000x2500x3400	2,5	46	18,4	штифты
ИУ-Ф-10	3500x1500x3500	4	37	9,25	комбинированный

Как показал анализ существующих измельчителей большинство из них энергоёмки, металлоёмки, обладают недостаточной эксплуатационной надёжностью. Удельные затраты энергии в среднем составляют 27,2 Вт/кг; металлоёмкость – 2,84 кг.

Все вышесказанное позволяет сделать вывод о малой эффективности использования данного технологического оборудования в условиях производства продукции животноводства на предприятиях малых форм хозяйствования.

Все выше приведенные машины имеют большую потребляемую мощность, неоднородность массы получаемого корма.

ИЗМЕЛЬЧИТЕЛИ КОРМОВ

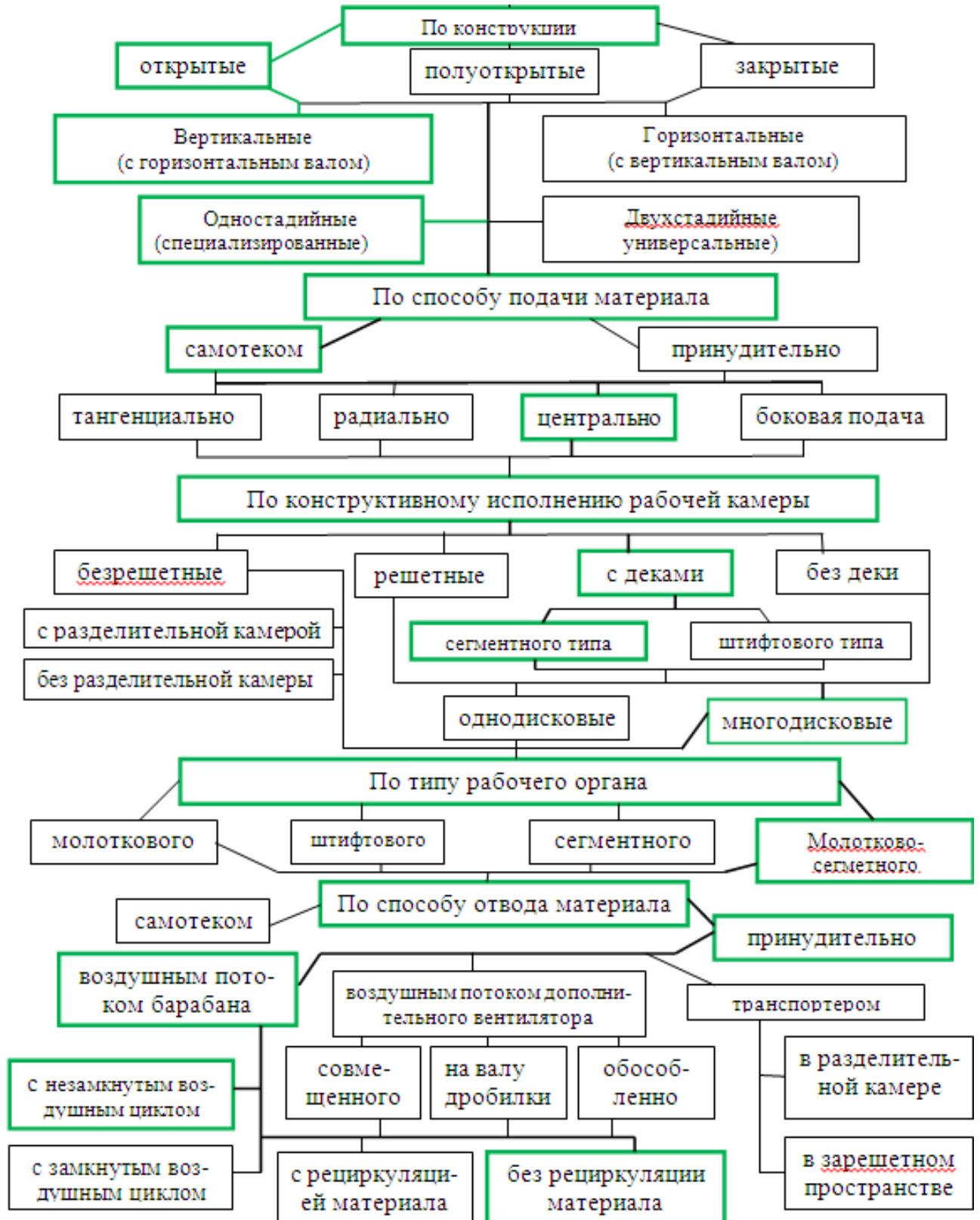


Рисунок 1.16 – Блок-схема классификация оборудования для измельчения кормов

Классификация оборудования для измельчения кормов позволяет

определить важнейшие направления в разработке оборудования для подготовки кормов к скармливанию на животноводческих фермах.

На основании разработанной классификации, были выявлены перспективные направления в разработке: по конструкции - открытые, вертикальные, одностадийные; по способу подачи материала - самотеком, центрально; по конструктивному исполнению рабочей камеры - с деками, сегментного типа, многодисковые; по типу рабочего органа - молотково-сегментного; по способу отвода материала - принудительно, воздушным потоком барабана, без рециркуляции материала.

Современные технические средства измельчения кормов должны быть многофункциональными, обеспечивающими однородность получаемой массы корма, соответствующей зоотехническим требованиям; потреблять мало энергии, безопасными для животных и обслуживающего персонала; имеющим возможность работы автономно или в составе поточно-технологических линий подготовки кормов на животноводческих фермах малых форм собственности.

Эффективность производства животноводческой продукции зависит от применения средств механизации и автоматизации технологических процессов на животноводческих объектах, которые обеспечат дальнейшее внедрение новейших интерактивных технологий на фермах.

Молочная отрасль внедряет интеллектуализированные системы управления производством: идентификации животных, компьютерные системы кормления, доения, обеспечения микроклимата, навозоудаления. Внедрение в хозяйствах системы автоматизированного нормированного группового кормления животных позволяет освободить персонал от рутинного труда, отслеживать качество и поедаемость кормов.

Интенсивные технологии с использованием комплексной механизации и автоматизации процессов подготовки кормов к скармливанию, их раздачи позволяют повысить продуктивность животных. В сложной биотехнической системе «человек – машина – животное» усиливается роль «машинного» фактора. Машины, механизмы, роботы – справляются в обслуживании животных: доение,

кормление, микроклимат, водоснабжение. Но труд работника на ферме не отличается: подбор и наладка оборудования, комплектование технологических линий, проведение технического обслуживания машин и механизмов, ветеринарное и зоотехническое обслуживание животных.

Автоматизированные системы в животноводстве представлены в основном иностранными производителями. Это оборудование энергоемко, требует обязательного наличия интернета и стабильного электроснабжения, что еще не всегда имеют удаленные фермерские хозяйства и малые фермы.

Инновационные разработки кормления и кормораздачи внедряются не только на мегафермах, но и в хозяйствах малых форм собственности. Эти хозяйства используют маломощное оборудование российского производства. Выполнены работы по систематизации установок приготовления и раздачи кормов на объектах животноводства Кубани. Для производства и раздачи кормов в молочной животноводстве используется огромная линейка оборудования как иностранного, так и отечественного производства. Поточно-технологические линии подготовки кормов к скармливанию комплектуются раздатчиками кормов разных моделей и фирм, которые широко представлены на рынке сельскохозяйственного оборудования.

В процессе исследований проведен анализ научной литературы, новейших разработок в области современного животноводства на фермах Кубани. В процессе работы использовались следующие методы сравнения: системные, общелогические, статистические.

Анализ работы измельчителей показал:

- эффективная подготовка грубых кормов к скармливанию животным;
- высокая производительность машины;
- мультифункциональность;
- использование в ПТЛ или отдельной машины;
- экономия средств (энергетических и загрузки работников).

1.3 Краткий обзор исследований процесса измельчения стебельных кормов

Измельчение корма – обязательная технологическая операция подготовки кормов к скармливанию, которая обеспечивает хорошую поедаемость корма животными, исключает потери, способствует лучшему усвоению продуктов. Машины, применяемые для измельчения кормов, должны обеспечивать качество измельченного продукта, который характеризуется крупностью измельчения, расщепляемостью вдоль волокон растения и равномерностью измельчения. Эти процессы энерго- и трудоемки. Задачи снижения затрат на измельчение кормов решаются инженерами и учеными аграрного сектора.

Теоретические предпосылки и практические разработки по подготовке стебельных кормов к скармливанию, а именно измельчению, заложили академики В.П. Горячкин, В.А. Жилеговский [9, 15]. Продолжили работы по исследованию приемов и оборудования для измельчения кормов ученые: Г.М. Кукта [35], С.В. Мельников, Н.Е. Резник, П.М. Роцин, П.А. Савиных, В.И. Сыроватко, В.Р. Алешкин, В.Г. Коба, В.Е. Тупицын, Д.Н. Кошурников, В.Е. Косолапов, О.П. Матушкин, А.А. Рылов, М.Н. Тимофеев, В.Ю. Фролов, И.Н. Краснов и др. [2, 31, 36, 37, 38, 83, 91, 98, 105, 109, 114].

Основы теории измельчения грубых стебельных кормов исследовал Н.В. Брагинец, а оптимизацию основных параметров молоткового измельчителя грубых кормов изучал П.Н. Солонщиков и Е.В. Косолапов, они же оптимизировали влияние угла установки ротора и частоту вращения бункера [29].

Выбор оптимальных режимов работы измельчителей на заготовке сена люцерны сделал А.Я. Элли [122].

Особенности производства кормов в хозяйствах малых форм собственности, новые инженерные решения при выборе оборудования для подготовки кормов к скармливанию изучал И.Н. Краснов, профессор ФГБОУ ВПО «АЧГАА».

Тимофеев М.Н., Фролов В.Ю. Кубанского ГАУ выполнили анализ существующих способов измельчения грубых кормов и разработали

перспективные направления разработки средств для измельчения кормов при снижении энергоемкости и металлоемкости [105].

Алешкин В.Р., Рошин П.М [2] вывели выражение зависимости ударного разрушения от физико-механических свойств кормов:

$$v_{mp} = \frac{K_a P_p}{F_{ст} \sqrt{0.35 E_{ст} \rho_m}} \quad (1.1)$$

где P_p - сила удара разрушения стебля, Н; K_a – коэффициент снижения деформации; $F_{ст}$ - площадь поперечного сечения стебля, мм²; $E_{ст}$ - модуль упругости стебля, Па; ρ_m - плотность стебля, кг/м³.

Важнейшими параметрами работы измельчителей кормов являются: производительность измельчителя, степень и качество измельчения стебельного корма, удельная материалоемкость и энергоемкость измельчения корма. Энергоемкость измельчения (\mathcal{E}) стебельных кормов находим по формуле 1.2, учитывающей степень измельчения кормов λ и выработку измельчения Q :

$$\mathcal{E} = \frac{N_{изм}}{Q} \lambda \quad (1.2)$$

где $N_{изм}$ – мощность двигателя измельчения стебельного корма, кВт.

Степень измельчения стебельного корма определил Мельников С.В. [40]:

$$\lambda = \frac{L_{см}}{L_{рез}} \quad (1.3)$$

где $L_{см}$ - средняя длина подаваемого корма, м; $L_{рез}$ - средняя длина частиц измельченного корма, м.

Рассматривая данное выражение не понятно, что автор имеет в виду под термином “средний размер” исходного материала и частиц конечного продукта.

Имеются разнообразные способы нахождения средних значений по размерам частиц, ограничивающих фракцию: средневзвешенное, среднеарифметическое, среднегеометрическое, оценка математического ожидания случайной величины и т.д.

Б.В. Гарбарец [8] на кафедре механизации животноводческих ферм ЛСХИ разработал универсальную методику оценки степени измельчения по массе исходных кусков и частичек измельченного материала.

Согласно разработанной методике степень измельчения можно определить выражением:

$$\lambda = \frac{D}{d} = \sqrt[3]{D^3/d^3} = \sqrt[3]{V_1/V_2} = \sqrt[3]{m_1\rho_1/m_2\rho_2} \cong \sqrt[3]{m_1/m_2} \quad (1.4)$$

где V_1 и V_2 – объемы куска и частицы, m^3 ; m_1 и m_2 – массы куска и частицы, кг; ρ_1 и ρ_2 – плотности, $кг/м^3$.

Авторами А.М. Карпом и М.А. Сулима [22], было представлено выражение степени измельчения как:

$$\lambda = \frac{S_K}{S_H} \quad (1.5)$$

где S_K и S_H – удельная поверхность частиц материала до и после измельчения.

Затруднением в этом случае является определение удельной поверхности частиц исходного материала и конечного продукта измельчения.

С.В. Мельниковым [35, 36] было отмечено, что из всего разнообразия разработанных методик для определения степени измельчения, эта величина может лишь служить только для оценки энергозатрат на процесс измельчения.

И.И. Мейлахс [37], для определения качества измельчения стебельчатого материала, предлагает безразмерный показатель K :

$$K = \frac{S_D \sum_{l_1}^{l_2} G_i}{S \sum G_i} \quad (1.6)$$

где S_D – допустимое среднеквадратическое отклонение.

В настоящее время, при проведении экспериментальных исследований, и испытаний кормоприготовительных машин наибольшее распространение получил метод ручной раскладки фракционного состава материала по длине частиц с дальнейшим взвешиванием и определением модуля помола материала [41].

А.В. Надежиным был получен параметр позволяющий характеризовать удельный расход энергии на измельчение корма при учете фракционного состава

и расщепленности частиц. Предлагаемый показатель может быть использован как при оптимизации процесса измельчения грубых и сочных кормов, так и при сравнительном анализе рабочих органов различных кормоизмельчающих машин.

Оценочный показатель имеет вид:

$$\eta = \frac{100NS \sum_{l_0}^{l_{max}} G_i}{QS_D \sum_{l_H}^{l_K} G_i P_i} \quad (1.7)$$

где P_i - процент расщепленных частиц в общей массе, %.

В свою очередь расход мощности $N_{изм}$ зависит от производительности Q устройства и работы измельчения $A_{изм}$ [33]:

$$N_{изм} = Q A_{изм} \quad (1.8)$$

Мельников С.В. получил формулу определения работы измельчения кормов [40]:

$$A_{изм} = C_1 l g \lambda^3 + C_2 (\lambda - 1) \quad (1.9)$$

где C_1 и C_2 – эмпирические коэффициенты.

Данная формула позволяет определить эмпирические коэффициенты, однако не учитывает энергию преодоления вредных сопротивлений, энергию процесса измельчения корма, энергию отбрасывания корма.

Для оценки энергоемкости работы измельчителя нужно знать производительность, плотность подаваемого корма и конструктивно-режимные параметры измельчителя.

1.4 Выводы, цель и задачи исследований

Исследования машин и оборудования для измельчения и подготовки кормов к скармливанию привели к следующим выводам:

- выявлены пути совершенствования технических средств измельчения стебельных кормов, в основу которых положен принцип опорного измельчения рабочим органом молотково-сегментного типа.
- усовершенствована классификация оборудования для измельчения кормов и определено перспективное направление, предполагающее

использование в качестве рабочего органа дискового барабана с шарнирно закрепленными молотково-сегментными измельчающими элементами.

- выполненные исследования показали, в настоящее время учеными ведется большое количество исследований выполнения технологического процесса измельчения стебельных кормов, которые являются основой для совершенствования и разработки новых конструкций машин. Следует отметить, что теоретические предпосылки и экспериментальные исследования не однозначны и не отражают в достаточной степени зависимости протекания процесса измельчения новыми техническими средствами.

Рабочая гипотеза. Изменение поточно-технологической линии приготовления кормов на фермах путем внедрения измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа позволило получить высокие качественные показатели, уменьшить энерго- и трудозатраты.

Целью исследования является - повышение эффективности процесса измельчения путем обоснования параметров и режимов работы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Задачи исследования:

- выявить современные тенденции развития технических средств измельчения стебельных кормов, применимых в хозяйствах малых форм собственности, и усовершенствовать классификацию оборудования подготовки кормов к скармливанию животным, позволяющую определить перспективное направление для разработки нового технического средства и обосновать его конструктивно-технологическую схему;
- выявить аналитические зависимости технологического процесса измельчения стебельных кормов измельчителем предлагаемой конструкции, определить оптимальные параметры и режимы его работы;
- обосновать конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа;
- провести экспериментальные исследования процесса измельчения стебельных кормов измельчителя с рабочим органом молотково-сегментного

типа;

- дать экономическую оценку эффективности внедрения предложенного измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа.

2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ РАБОЧИМ ОРГАНОМ МОЛОТКОВО-СЕГМЕНТНОГО ТИПА

2.1. Обоснование конструктивно-технологической схемы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа

Расходы на корм являются важной составляющей частью любой отрасли животноводства. Технология производства молока – сложный биотехнический процесс, в котором материальные ресурсы (корма, вода, воздух, свет, тепло и др.) превращаются биологическим объектом (коровой) в готовый к употреблению продукт – молоко. Его количество и качество зависит от ряда факторов, среди которых определяющие затраты на производство: продуктивность (генетический потенциал) животных; материальные ресурсы, потребляемые ими непосредственно (корма и др.), чем меньше расходы на кормление за счет увеличения питательности корма или за счет сокращения потерь, тем выше эффективность; уровень механизации производственных процессов (система машин и оборудования), чем выше уровень, тем ниже затраты труда; капитальные вложения и их амортизация [96].

Задачи, поставленные потребителями техники для подготовки кормов, следующие:

- разработка оборудования со сниженными затратами энергии, материалов, капитальных вложений, безопасным обслуживанием;
- оборудование должно быть многофункциональным, работающим как автономно, так и в составе поточно-технологической линии.

Обеспечение постоянства процесса кормоприготовления и раздачи кормов в соответствии с зоотехническими требованиями, удовлетворяющими физиологическим потребностям животных, способствуют максимальной продуктивности животных и сохранения их здоровья.

Эти требования к кормам выполняются с применением оборудования для подачи, измельчения и выдачи кормов, выстроенных в технологическую линию, соответствующих требуемой производительности.

Производительность ПТЛ приготовления кормов определяется в соответствии с рационом кормления и количеством животных, физико-механическим свойствам кормов и техническими характеристиками применяемого оборудования.

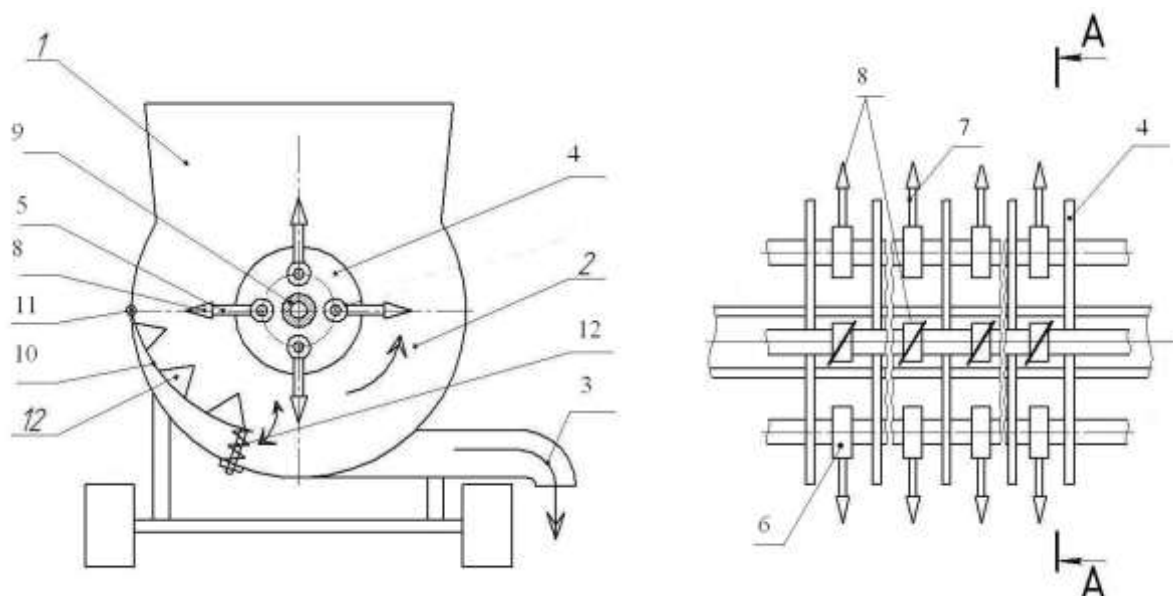
Машины и оборудование, применяемые при подготовке кормов к скармливанию, должны быть надежными. Выход из строя даже на короткое время одной из машин в линии, нарушает процесс приготовления и выдачи кормов животным, а несвоевременное обеспечение кормами ведет к серьезным потерям.

Измельчение стебельных кормов осуществляют измельчители стационарные и мобильные, операция может выполняться в поле или на кормовой площадке в зависимости от зоотехнических требований к кормам и техническим возможностям машин и оборудования.

Способ подготовки кормов к скармливанию зависит от состояния и качества корма, а также зоотехнических требований, соответствующих породе и возрасту животных. В процессе производства кормов применяются различные приемы подготовки кормов к скармливанию: механический, тепловой, химический, биологический.

В связи с этим встает задача создания универсального рабочего органа, объединяющего в себе такие способы измельчения кормов, как удар и резание, что в свою очередь позволит снизить энергоемкость и повысить качественные показатели исследуемого процесса.

Предварительными исследованиями установлено, что наиболее полно предъявляемым требованиям отвечает рабочий орган молотково-сегментного типа (рис. 2.1).



1- корпус, 2 – бункер, 3 - разгрузочным элементом, 4 - вращающийся диск, 5 - рабочие измельчающие органы, 6 - цилиндрическая втулка, 7 - шток, 8 - зубчатый режущий элемент, 9 - противорежущий орган, 10 - подпружиненная дека с противорежущими сегментами, 11 – шарнир, 12 - подпружиненная шпилька [73]

Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологическая схема кормоизмельчителя

Измельчитель содержит корпус 1, выполненный в виде бункера 2 и разгрузочным элементом 3 с вращающимся диском 4 с рабочими измельчающими органами 5, установленными кольцевыми рядами. Каждый измельчающий орган выполнен в виде цилиндрической втулки 6 со штоком 7, в верхней части которого жестко установлен зубчатый режущий элемент 8 под углом $30^\circ - 45^\circ$, в соответствии с технологическим процессом измельчения кормов, к продольной оси цилиндрической втулки 6. Противорежущий орган 9 изготовлен в виде подпружиненной деки с противорежущими сегментами 10, которая одной стороной закреплена шарниром 11 на боковой стенке корпуса 1 посредством подпружиненной шпильки 12 с возможностью изменения зазора между зубчатыми режущими органами и противорежущими сегментами 10 с целью изменения модуля помола измельчаемого материала.

Кормораздатчик-измельчитель работает следующим образом.

Смесь из компонентов кормовой смеси подается через корпус 1 в бункер 2. Материал поступает на рабочий орган, захватывается измельчающими рабочими

органами 5, оснащенными зубчатыми режущими элементами 8. При вращении рабочего органа 5, частицы материала подаются на противорежущий орган 9 и, защемляясь между противорежущими сегментами 10 деки 9 и зубчатыми режущими элементами 8 барабана, измельчаются поперечным и продольным сечением в зависимости от ориентации стеблей в бункере 2. Измельченный материал, посредством воздушного потока, создаваемого рабочим органом, выполненным из набора дисков 4 и шарнирно закрепленных измельчающих рабочих органов 5, установленных под углом $30^\circ - 45^\circ$ к продольной оси цилиндрической втулки, перемещаются в разгрузочный элемент 3, а затем в кормушку животного. С помощью подпружиненной шпильки 12 осуществляется регулировка степени измельчения материала посредством изменения зазора между противорежущими сегментами 10 деки 9 и измельчающими органами. Для предотвращения повреждения измельчающих рабочих органов 5, при попадании механических примесей, последние закреплены на дисках 4 рабочего органа шарнирно. Шарнирная подвеска молотков предотвращает их возможные поломки при контакте с крупными твердыми предметами, попадавшими в заготовленный корм.

В бункере измельчителя стебли корма измельчаются, преобразуются в сечку из-за взаимодействия режущих и противорежущих элементов на большой скорости. Следовательно, разрушение связей происходит мгновенно.

Мгновенная сила, приложенная очень короткое время к стебельному корму, имеет большие показатели, но импульс ее – величина конечная, а количество движения быстро меняется и выражается следующими формулами:

$$S = \int_0^{\Delta t} F dt = F \Delta t \quad (2.1)$$

Теорема о количестве движения материальной частицы преобразит выражение:

$$mU - mv_1 = F \Delta t \quad (2.2)$$

где v_1 – скорость частицы до удара, м/с; U – скорость частицы после удара, м/с; Δt – продолжительность удара, с; F – средняя (за период удара) мгновенная сила, Н; m – масса материала, кг.

Скорость частицы в начале движения очень мала, т.е. $v=0$, тогда формула 2.2 принимает вид:

$$U = \frac{F\Delta t}{m} \quad (2.3)$$

Предполагая, что скорость материала после удара равна скорости режущих элементов в точке удара, определяем минимальную скорость разрушения по формуле 2.3.

Мгновенные силы удара изменяются от 0 до максимальных значений, а в завершении удара уменьшаются до 0. За короткий отрезок времени (10^{-4} – 10^{-6} сек). Для исследовательских целей берем $F=12-20$ Н [41], принимая равной силе необходимой для разрезания стеблей в статистических условиях.

Для нахождения самой малой скорости разрушения корма принимаем условие, что скорость корма после окончания удара будет равняться скорости режущих элементов в точке удара и тогда, по выражению 2.3 находим самую малую скорость разрушения, при которой происходит разрезание стеблей корма.

Согласно исследований Мельникова С.В., Зыкина А.А. [40] разрушение стеблей соломы точечным ударом ведет к отсутствию пластических деформаций, а пределы текучести и прочности практически одинаковы по величине. Скорость удара разрушения стеблей корма индивидуальна для разных сортов растений и зависит от физико-механических свойств корма.

Получение качественного корма на измельчителе, отвечающего зоотехническим требованиям, зависит от следующих параметров:

- физико-механических свойств корма (сорт растения, влажность, степень зрелости...);
- скорость подачи корма в измельчительный барабан;
- влияние режущих и противорежущих элементов на процесс разрушения стебля.

Выполнение исследовательских работ по измельчению кормов, наблюдение за процессом подготовки кормов к скармливанию, приводит к следующим выводам:

а) стебельный корм на измельчение должен поступать равномерно, слоем определенной высоты, в зависимости от свойств подаваемого корма;

б) скорость процесса измельчения зависит от вида корма и технических характеристик измельчителя.

в) для каждого материала свойственна своя определенная линейная скорость удара, при которой возникают разрушающие напряжения;

г) теоретический анализ показал, что с увеличением линейной скорости v и с уменьшением времени взаимодействия молотка с материалом, усилие разрушения $F_{\text{раз}}$ стебля уменьшается.

Рассматривая процесс удара материала рабочим элементом применяем допущения.

1. При ударе рабочего элемента имеет место прямой центральный удар.
2. Силы аэродинамического сопротивления малы и в расчет не берутся.
3. Материал имеет форму бесконечной нити.

Процесс удара исследуем согласно рекомендаций академика В.П. Горячкина [9, 10]:

а) во время прохождения I-ой фазы стебли корма деформируются и приобретают скорость, соответствующую скорости режущей пары;

б) во время второй фазы τ_2 скорость стеблей корма увеличивается и превышает скорость движения рабочих элементов.

В первой фазе удара при соударении корма с рабочим элементом, скорость которого v_2 , стебельный корм запасается энергией, согласно выражению:

$$E_1 = \frac{mv_2^2 c}{2} \quad (2.4)$$

где v_2 – скорость режущего элемента до удара, м/с; c - постоянный коэффициент работы упругих деформаций

Скорость соударения стеблей определяется согласно выражению:

$$v_c = v - \mu v = v(1 - \mu) \quad (2.5)$$

где μ - коэффициент, определяемый как отношение скорости слоя материала к линейной скорости режущих элементов [10, 11]; $\mu = 0,450 \div 0,467$

и выражение 2.4 принимает вид:

$$E_1 = \frac{mv^2(1 - \mu)^2}{2} \quad (2.6)$$

Энергия E_1 первой фазы процесса разрушения материала распределяется на работу упругих и пластических деформаций. Упругие деформации действуют на стебли разрушением, а энергия упругих деформаций E_2 определяется согласно выражению:

$$E_2 = \frac{mk^2v^2(1 - \mu)^2}{2} \quad (2.7)$$

Энергия пластических деформаций определяют изменение формы стеблей. Зависимость упругих и пластических деформаций определяется коэффициентом упругости материала k . Увеличение коэффициента упругости материала определяет более эффективный процесс измельчения. Энергия, затрачиваемая на пластические деформации определяется выражением:

$$E_3 = E_1 - E_2 = \frac{mv^2(1 - \mu)^2(1 - k^2)}{2} \quad (2.8)$$

Вторая фаза процесса характеризуется изменением скорости движения корма, абсолютную величину которого v_a определяют выражением 2.9:

$$v_a = v_1 - (1 + k) \frac{m_1}{m + m_1} (v_1 - v_2) \quad (2.9)$$

где m_1 - масса режущего элемента, кг.

Введем новые обозначения: $v_1 = \mu v$; $v_2 = v$;

Учитывая, что корм имеет массу меньшую массы рабочих элементов, следовательно можем считать $m \approx 0$ и выражение 2.9 принимает вид:

$$v_a = \mu v - (1 + k)(\mu v - v) = v(k - \mu + 1) \quad (2.10)$$

если $\mu = 0$, то

$$v_a = v(1 + k) \quad (2.11)$$

Выражение для определения расчета кинетической энергии корма после удара:

$$E'_4 = \frac{mv^2(k - k\mu + 1)^2}{2} \quad (2.12)$$

Кинетическую энергию корма до удара E''_4 определяем согласно выражения:

$$E''_4 = \frac{m\mu^2v^2}{2} \quad (2.13)$$

Энергия, полученная в результате удара, находится как разность энергий корма до удара и после, и определяется выражением:

$$E_4 = \frac{mv^2}{2} [(k - k\mu + 1)^2 - \mu^2] \quad (2.14)$$

Полная энергия, которую корм получил при ударе, определяется выражением:

$$E = E_3 + E_4 = \frac{mv^2}{2} (1 - \mu)^2(1 + k^2) + \frac{mv^2}{2} [(k - k\mu + 1)^2 - \mu^2]$$

Упростив его получаем выражение:

$$E = mv^2(1 + k)(1 - \mu) \quad (2.15)$$

Условившись, что движением корма пренебрегаем из-за малой скорости, $\mu = 0$, а формула 2.15 имеет вид:

$$E = mv^2(1 + k) \quad (2.16)$$

Следовательно: энергия материала при ударе увеличивается и зависит от упругости материала k и коэффициента μ , являющегося отношением скорости материала к линейной скорости рабочих элементов.

Графически на рисунке 2.2 покажем изменение энергии, полученной материалом в результате удара.

Энергия частиц корма после удара меньше, в связи с тем, что часть энергии тратится на образование новых поверхностей корма.

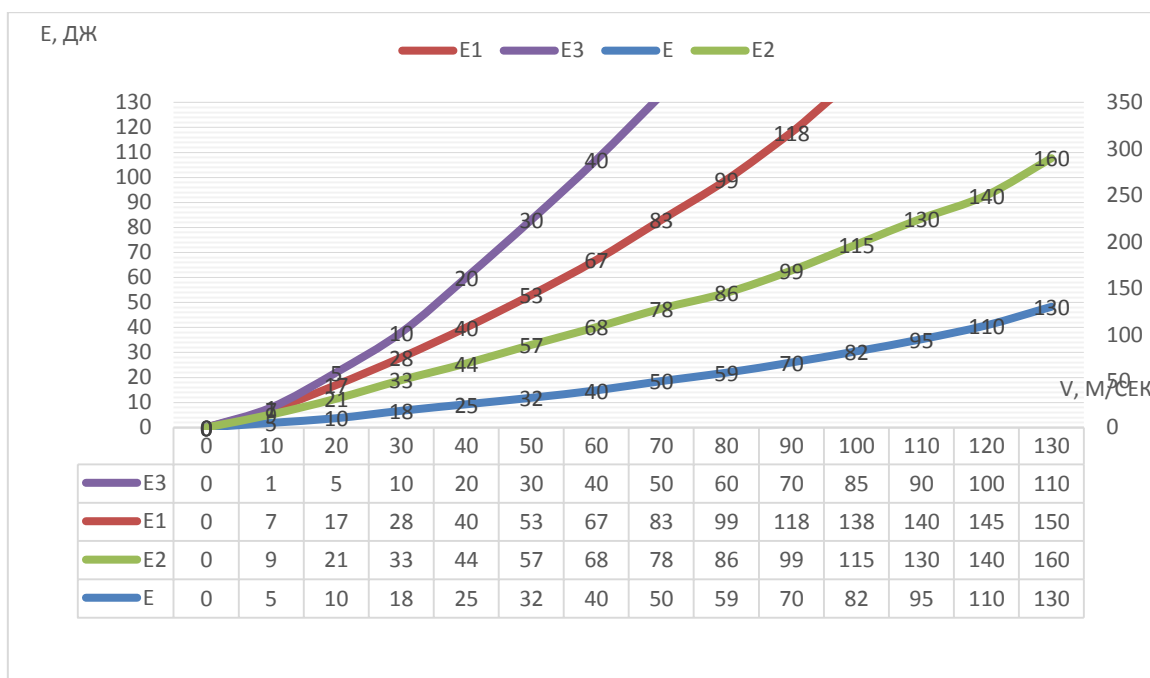


Рисунок 2.3 – График распределения энергии при ударе

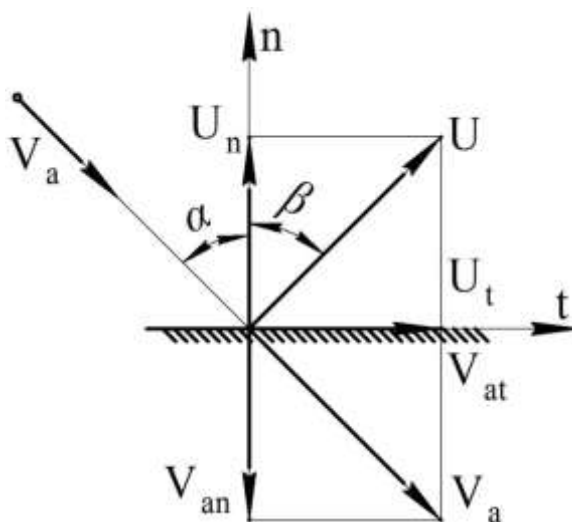


Рисунок 2.4 – Векторное изображение скорости корма при ударе

Процент энергии, который расходуется на упругие деформации определяется отношением:

$$\eta = \frac{E_2}{E} 100 = \frac{k^2(1-\mu)}{2(1+k)} 100 \quad (2.17)$$

Приняв $\mu = 0,46$ получим: при $k=0$ $\eta = 0$; при $k=0,5$ $\eta = 5,33\%$; при $k=1,0$; $\eta = 16\%$, делаем вывод, что максимально на упругие деформации расходуется 16 % энергии, получаемой кормом при ударе. Если $\mu = 0$, то $\eta_{\max} = 25\%$.

Рисунок 2.4 хорошо демонстрирует, что импульс силы удара о рабочую поверхность измельчающей камеры зависит от угла падения материала к рабочей поверхности измельчающей камеры.

Касательная составляющая скорости при непрямом ударе о гладкую поверхность неизменна и соответствует выражению:

$$U_t = v_{at} . \quad (2.18)$$

Нормальная же составляющая скорости изменяется как при прямом ударе и определяется формулой:

$$U_n = -kv_{an} = -kv(1 + k - k\mu) \cos \alpha . \quad (2.19)$$

Кинетическая энергия, расходуемая на работу упругих деформаций, определяется выражением:

$$A_{\text{упр.деф}} = \frac{mU_n^2}{2} = m \frac{k^2 v^2 (1+k-k\mu)^2 \cos^2 \alpha}{2} . \quad (2.20)$$

Сравним величины E_2 и A_2 и определим выражение:

$$\frac{E_2}{A_{\text{упр.деф}}} = \frac{(1-\mu)^2}{(1+k-k\mu)^2 \cos^2 \alpha} . \quad (2.21)$$

Из формулы 2.21 находим $A_{\text{упр.деф}}$

$$A_{\text{упр.деф}} = E_2 \frac{(1 + k - k\mu)^2 \cos^2 \alpha}{(1 - \mu)^2} \quad (2.22)$$

Учитывая, что первоначальная скорость частицы мала получим выражение:

$$A_{\text{упр.деф}} = E_2 (1 + k)^2 \cos^2 \alpha \quad (2.23)$$

Угол $\alpha = 70^\circ - 80^\circ$ при ударе материала о гладкую поверхность; коэффициент восстановления материала $0,34 \div 0,77$ [63], а кинетическая энергия определяется формулой:

$$A'_{\text{упр.деф}} = (0,054 \div 0,4) E_2 \quad (2.24)$$

Это говорит о том, что работа упругих деформаций при ударе незначительна, разрушение материала мало. Энергия от поверхности рабочего элемента, используется на перемещение корма в рабочей камере.

При прямом ударе, когда $\alpha = 0^\circ$ энергия определяется выражением:

$$A''_{\text{упр.деф}} = (1,79 - 3,15)E_2 \quad (2.25)$$

Прямой удар, который выполняет эффективное разрушение корма в измельчающей камере, происходит если передние грани сегментов расположены перпендикулярно к направлению движения частиц после удара рабочим элементом.

Делаем вывод, что рабочая поверхность измельчающей камеры должна обеспечивать прямой удар частиц, которые отражаются от режущего элемента.

После удара режущим элементом частица корма не всегда достигает рабочей поверхности камеры измельчения, из-за хаотичного движения. Скорость частиц корма после соударения определяем по выражениям:

$$\begin{cases} U_1 = v_1 - (1 + k) \frac{m_1}{m + m_1} (v_1 - v_2) \\ U_2 = v_2 - (1 + k) \frac{m_1}{m + m_1} (v_2 - v_1) \end{cases} \quad (2.26)$$

Расчеты, произведенные для v_1 , v_2 , m и m_1 говорят о том, что после соударения малые частицы имеют выше скорость. Модуль ударного импульса за обе фазы соударения определяется:

$$S = (1 + k) \frac{mm_1}{m+m_1} (v_1 - v_2) . \quad (2.27)$$

Неравномерность гранулометрического состава корма, переизмельчение объясняется измельчением материала в большой массе.

1. Упругие свойства корма, скорость перемещения слоя корма по рабочей поверхности измельчающей камеры учитывают при подготовке кормов к скармливанию.

2. Качественное получение кормов и экономичная работа измельчителя объясняется правильным выбором технического средства.

3. Соударение частиц корма разного размера ведет к большему измельчению мелких частиц.

2.2 Исследование энергозатрат измельчителя молотково-сегментного типа

Эффективность работы линии подготовки кормов к скармливанию выражается в тоннах готового корма на 1 кВт·ч израсходованной энергии. А процесс кормопроизводства энергоемкий (таблица 2.1).

Таблица 2.1 - Удельный расход электроэнергии в кормопроизводстве, кВт ч/т в год [75]

Технологический процесс	Производство сенажа, травяной муки, гранул, брикетов и комбикормов
Заготовка сена методом активного вентилирования, приготовление и выгрузка сенажа	62
Приготовление травяной муки (электропривод агрегатов)	75
Гранулирование травяной муки	35
Брикетирование кормов	25
Производство комбикормов	38
Гранулирование комбикормов	18

Таблица 2.2 – Характеристика фуражного материала

Культура	Плотность материала ρ , кг/м ³	Эквивалентный диаметр материала D_3 , мм	Коэффициенты		
			$C_{пр}$	C_v	C_s
Ячмень	$1,30 \cdot 10^3$	4,2	1,20±0,30	8,5	7,50
Овес	$1,35 \cdot 10^3$	3,7	5,00±1,50	2,34	1,96
Рожь	$1,28 \cdot 10^3$	3,3	1,45±0,35	8,4	6,40
Пшеница	$1,36 \cdot 10^3$	3,8	-	4,6	8,15
Горох	$1,36 \cdot 10^3$	6,3	-	10,7	3,66

Наиболее энергоемкие технологические процессы – заготовка сена, приготовление травяной муки, производство комбикормов, где необходимо измельчение кормов. Мельников С.В. [33] предложил формулу расчета затрат энергии при измельчении (1.9).

Формула расчета общей энергии машины представлены выражением:

$$A = A_{xx} + A_{пр} + A_v, \quad (2.28)$$

где A – общая энергия машины; $A_{\text{хх}}$ – энергия преодоления вредных сопротивлений; $A_{\text{пр}}$ – энергия процесса измельчения корма; A_v – энергия отбрасывания корма со скоростью v .

Таблица 2.3 – Значения коэффициентов для стебельных кормов, кДж/кг

Корм	C_v	C_s
Сено		
Люцерновое	0,23	2,3
Клеверное	0,11	1,1
Разнотравье	0,24	2,4
Солома		
Ячменная	0,12	1,3
Ржаная	0,12	1,2
Свежескошенная трава		
Люцерна	0,20	2,0
Клевер	0,10	1,1
Разнотравье	0,19	1,9

Экспериментальные методы и теоретические разработки позволили определить значения показателей формулы 2.28. Формула для определения удельного расхода энергии имеет вид:

$$E_{\text{уд}} = \frac{1}{Q_T} \left[(Rf\Omega + \tau S_i)\omega + \frac{\gamma_{\text{в}} F_i \varepsilon^2 r^3}{2g} \omega^3 \right] + \frac{Q_T \left(\frac{k-z}{d} \right)}{2\pi r_1 b n_p h_j c \gamma} K_{\pi} \left(l_p + \frac{l_M}{K_{\pi}} \right) \left(B\delta^\lambda + J \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) + \frac{V_j c q}{Q_T} \left(\frac{n_p j c f \theta_{\text{в}}}{r_1 b} \right), \quad (2.29)$$

где R – суммарная реакция на опорах барабана, кг; f – коэффициент трения в опорах; Ω – радиус цапфы, м; τ – удельная сила трения, Н; S_i – суммарная боковая поверхность вращающихся органов молоткового барабана, м^2 ; ω – угловая скорость молоткового барабана, с^{-1} ; $\frac{1}{Q_T} \frac{\gamma_{\text{в}} F_i \varepsilon^2 r^3}{2g} \omega^3$ – удельный расход энергии, затрачиваемой на отбрасывание воздуха из камеры измельчения вращающимися рабочими органами; $\gamma_{\text{в}}$ – объемный вес воздуха, $\text{кг}/\text{м}^3$; F_i – суммарная лобовая площадь вращающихся рабочих элементов молотково-сегментного барабана, м^2 ; $\varepsilon = 0,56 - 0,58$ – коэффициент пропорциональности; r – расстояние центра лобовой площади от оси вращения, м; $\frac{Q_T \left(\frac{k-z}{d} \right)}{2\pi r_1 b n_p h_j c \gamma} K_{\pi} \left(l_p + \frac{l_M}{K_{\pi}} \right) \left(B\delta^\lambda + J \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \right) -$

удельный расход энергии, затрачиваемой на процесс измельчения корма; Q_T – производительность измельчителя, т/час; $Z=10$ и $K = 47$ – постоянные коэффициенты; d - средний размер частиц; r_1 – радиус камеры измельчителя, см; h - средняя толщина измельчаемой массы, см; n_p – число оборотов молоткового барабана в минуту; j_c – коэффициент скольжения; γ – удельный вес материала; K_π – конструктивный коэффициент, $0,63 - 0,65$; l_p – длина рабочей части кромок контуров отверстий решета, см; l_M – длина кромок рабочей части молотков, см; $B\delta^\lambda$ – энергия, затрачиваемая на образование 1 см^2 новой поверхности при длине лезвия рабочего органа 1 см , Дж; B – коэффициент свойств корма; δ – толщина рабочего органа, см; $J \text{tg} \frac{\alpha}{2}$ – энергия деформации корма при измельчении, Дж; J - коэффициент, зависящий от физико-механических свойств материала; α – угол заточки рабочего органа в градусах; $\frac{v^2 j_c^2 q}{Q_T} \left(\frac{n_p j_c f \delta_B}{r_1 b} \right)$ - удельный расход энергии, затрачиваемой на ускорение движения корма; v – скорость движения рабочих кромок молотков в измельчающей камере; q – количество материала, находящегося в технологическом процессе, г; f - коэффициент трения движения материала

$$q = \frac{Q_T}{j_c n_p} \quad (2.30)$$

Анализируя измерения структуры энергозатрат будем руководствоваться выражением (2.29).

Проанализируем изменение структуры удельного расхода энергии при изменении угловых скоростей и радиуса барабана. Расход энергии E_1 , затрачиваемой на преодоление вредных сопротивлений трения, определяется по формуле:

$$E_1 = \frac{1}{Q_T} (Rf\Omega + \tau S_i) \omega ,$$

или

$$E_1 = A_\omega + DS_i \omega \quad (2.31)$$

$$\text{где } A = \frac{Rf\Omega}{Q_T} = \text{const}; \quad D = \frac{1}{Q_T} = \text{const}$$

Изменение значений E_1 при увеличении ω и снижении R_p , а $v = \text{const}$.

Допускаем, что $R_{p1} > R_{p2}$, в β раз, т.е.

$$R_{p1} = \beta R_{p2}, \quad (2.32)$$

из равенства линейных скоростей $v_1 = v_2$ следует, что

$$\omega_1 = \frac{\omega_2}{\beta} \quad (2.33)$$

Суммарную боковую поверхность принимаем равной боковой поверхности дисков барабана, тогда:

$$S'_i = \pi R_{p2}^2 \beta^2, \quad (2.34)$$

$$S''_i = \pi R_{p2}^2 \quad (2.35)$$

И расход энергии для первого варианта определяем выражением

$$E'_1 = A \frac{\omega_2}{\beta} + D \pi R_{p2}^2 \beta \omega_2 \quad (2.36)$$

а для второго – выражением:

$$E''_1 = A \omega_2 + D \pi R_{p2}^2 \omega_2 \quad (2.37)$$

Следовательно для второго варианта первое слагаемое больше в β раз, а второе слагаемое – меньше в β раз.

В общем балансе E_1 удельный вес второго слагаемого больше. Следовательно, величина E_1 неизменна при $v = \text{const}$, даже при увеличении ω .

Удельный расход энергии, затрачиваемой на отбрасывание воздуха из измельчающей камеры вращающимися рабочими органами E_2 , а C_v находим по формуле:

$$C_v = \frac{1}{Q_T} \cdot \frac{\gamma_B \varepsilon^2}{2g} = \text{const} \quad (2.38)$$

Подставив, получим удельный расход энергии

$$E_2 = C_v F_1 r^3 \omega^3 \quad (2.39)$$

Суммарная площадь вращающихся рабочих органов молоткового барабана прямо пропорциональна величине радиуса ротора R_p ; аналогично изменяется в функции R_p и расстояние центра лобовой площади от оси вращения. Таким образом, при уменьшении R_p и увеличении скорости ω величина E_2 уменьшается.

Мощность преодоления сопротивления воздуха определяется по формуле:

$$N = k\Omega n_p^3 r_d^5, \quad (2.40)$$

где k – коэффициент сопротивления, зависящий от конструкции измельчителя, $k = 0.02 \div 0.06$; Ω – плотность воздуха, $\text{кг.сек}^2/\text{м}^4$; n_p – число оборотов в минуту ротора; r_d – наружный радиус диска, м.

Формула определения мощности для вращающегося цилиндрического барабана

$$N = k_1 b_\theta \Omega r_\theta^4 n_p^3, \quad (2.41)$$

где b_θ – ширина барабана, м; $k_1 = 0.07 \div 0.016$ – коэффициент сопротивления.

Анализируя формулы (2.41) и (2.42) понимаем целесообразность получения заданного значения ν при минимальных значениях радиуса барабана. Выводы подтверждены экспериментальными данными, представлены графиком на рисунке 2.5.

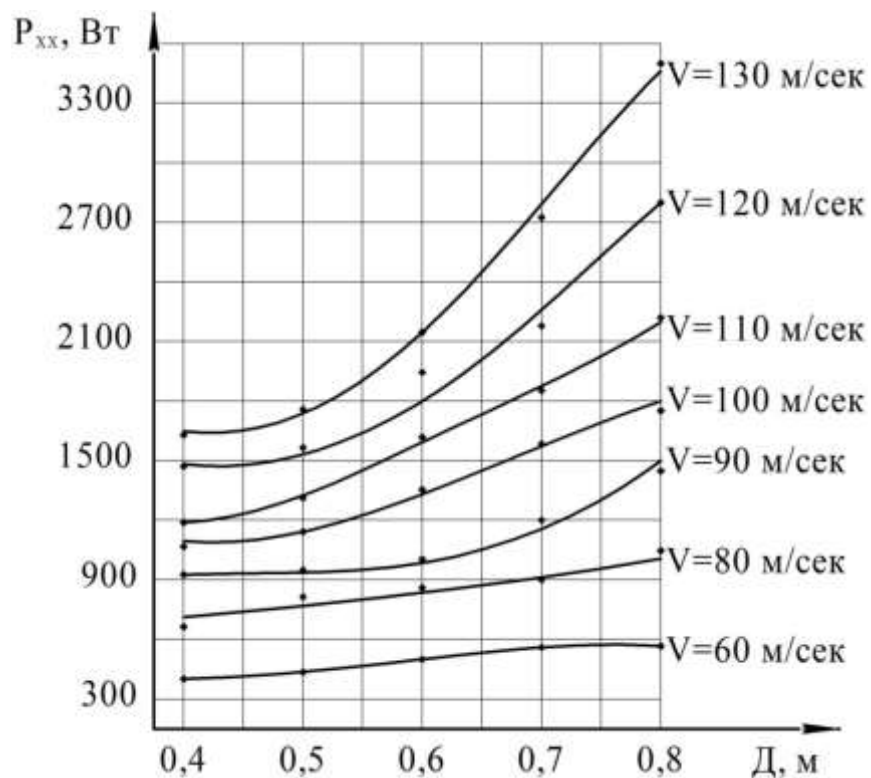


Рисунок 2.5 – График изменения мощности холостого хода измельчителя

Приняв обозначение

$$C_s = \frac{Q_T \left(\frac{k}{\alpha} - z \right)}{2\pi j_c y h} K_\pi \left(l_p + \frac{l_m}{K_\pi} \right) \left(B \delta^\lambda + J t g \frac{\alpha}{2} \right) \quad (2.42)$$

получим выражение для энергии E_3 , затрачиваемой на процесс измельчения, следующее выражение:

$$E_3 = \frac{C_s}{r_1 b n_p} \quad (2.43)$$

Входящие в формулу (2.32) величины можно приближенно считать неизменными, поэтому $C_s = \text{const}$

Радиус барабана R_p молоткового измельчителя равен

$$R_p = r_1 - h \quad (2.44)$$

Величину h малую в сравнении с r_1 , принимаем приближенно условие

$$R_p \approx r_1 \quad (2.45)$$

Произведения $R_p n_p$ пропорционально линейной скорости рабочей кромки молотков.

Формула для E_3 принимает вид:

$$E_3 = \frac{\pi C_3}{bV} \quad (2.46)$$

Энергия на преодоление сил трения в камере измельчителя меняется в зависимости от n_p . Исследования энергетических затрат измельчителя кормов приводят к следующим выводам:

- удельный расход энергии на измельчение корма снижается при уменьшении радиуса барабана;
- расход энергии уменьшают при более высоких скоростях вращения барабана.

Скорость $v_{\text{изм}}$ ротора измельчителя определим по выражению:

$$v_{\text{изм}} = \frac{v}{e^{\left(\frac{2f}{d} + cF \frac{v_B}{2gm} \right) S}} \quad (2.47)$$

где: v – линейная скорость рабочего элемента, м/с; f – коэффициент трения частицы по стали; $\frac{D}{2}$ – радиус ротора, м; c – коэффициент, зависящий от форм и размеров частицы; F – миделево сечение; γ_v – удельный вес воздуха, кг/м³; m – масса частицы, кг; S – путь, проходимый частицей в камере измельчителя, м.

Подводя итоги исследования зависимости энергозатрат на измельчение корма приходим к выводу, что эффективность работы измельчителя зависит от диаметра ротора, а размеры ротора влияют на компактность и металлоемкость будущей конструкции. Изменение диаметра ротора и линейной скорости влияют на мощность измельчителя. Эти зависимости графически представлены на рисунке 2.5.

Размеры диаметра ротора влияют на скорость движения корма в камере измельчителя. Уменьшение диаметра ротора дает следующие преимущества конструкции измельчителя:

- корм измельчается лучше;
- время действия силы аэродинамического сопротивления на корпус уменьшается;
- скорость выброса корма из измельчающей камеры возрастает.

Полная энергия на измельчение материала определяется по выражениям 2.16 и 2.46 и имеет вид:

$$E = mv^2(1 + k) + \frac{\pi C_3 n}{bv} \quad (2.48)$$

Выражение 2.49 позволяет определить полную энергию на измельчение материала, которая учитывает конструктивно-технологические параметры машины: линейная скорость молотков (v), масса материала (m), коэффициент упругости корма (K), диаметр барабана (b), число рядов молотков (n).

2.3 Определение скорости перемещения корма в камере измельчения

Исследуем движение частицы корма массой m в камере измельчителя. Начальная скорость частицы v_0 , движение происходит по внутренней поверхности камеры, радиус которой R_k (рис. 2.6). Уравнения движения частицы корма в измельчающей камере:

$$\begin{cases} m \frac{d^2x}{dt^2} = X \\ m \frac{d^2y}{dt^2} = Y \end{cases} \quad (2.49)$$

где X и Y – проекции на координатные оси равнодействующей всех приложенных к частице сил.

Так как

$$\frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt}, \quad Y=0 \text{ и } v_x = v_m,$$

получим дифференциальное уравнение в виде:

$$m \frac{dv_m}{dt} = X \quad (2.50)$$

При этом

$$X = F_{\text{тр}} + F_a, \quad (2.51)$$

где $F_{\text{тр}}$ – сила трения; F_a – сила аэродинамического сопротивления; т.к. $G=0$, то $N=Q$ и после преобразований получим

$$F_{\text{тр}} = Qf = \frac{mv^2m}{R_k} f \quad (2.52)$$

$$F_a = cF \frac{v_M^2}{2g} \gamma_\beta \quad (2.53)$$

где Q – центробежная сила; f – коэффициент трения; v_m – скорость движения частицы; F – проекция частицы на плоскость, перпендикулярную направлению её движения; c – коэффициент, зависящий от формы частицы и являющийся функцией числа Рейнольдса (Re)

Согласно литературных источников мы знаем, что имеются три различные области изменения коэффициента c . Проведем преобразования и получим

выражения, определяющие скорость движения частицы корма в камере измельчителя (2.58)

а) При $Re = 0,1 \div 10$

$$c = \frac{24}{Re} \quad (2.54)$$

где

$$Re = \frac{v_m d_2}{\eta} \quad (2.55)$$

где d_2 – диаметр частицы; η – коэффициент кинематической вязкости.

Эта область относится к частицам диаметром не более 0,1 мм.

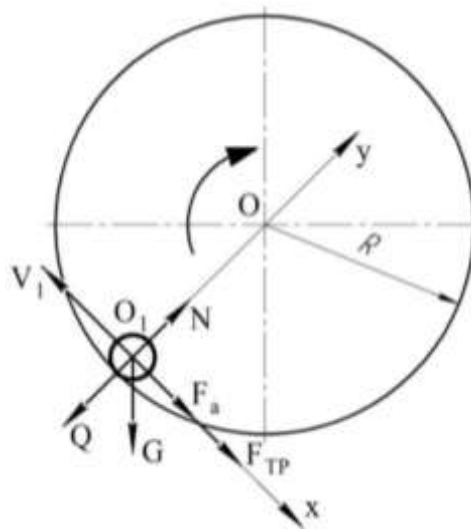


Рисунок 2.6 – Схема сил, действующих на частицу корма в камере измельчения

б) При значениях $Re = 10 \div 1000$

$$c = \frac{13}{\sqrt{Re}} \quad (2.56)$$

Эта область относится к частицам, диаметр которых $d_2 = 2,5 \div 0,1$ мм.

в) При значениях $Re = 1000 \div 200000$ коэффициент C почти не зависит от Re ; обычно принимают $C = 0,45$.

Эта область относится к частицам, диаметр которых $2,5 \div 80$ мм.

После подстановок уравнение (2.50) примет вид:

$$-m \frac{dv_m}{dt} = \frac{f m v_m^2}{R_k} + c F \frac{v_m^2}{2g} \gamma_\beta \quad (2.57)$$

или

$$-\frac{dv_m}{dt} = (a + b)v_m^2 \quad (2.58)$$

где $a = \frac{f}{R_k}$, $b = \frac{cF\gamma\beta}{2gm}$

Разделив переменные и интегрируя получим:

$$-\int_{v_0}^{v_m} \frac{dv_m}{v_m^2} = (a + b) \int_0^t at$$

$$\frac{1}{v_m} = \frac{1}{v_0} + (a + b)t \quad (2.59)$$

Откуда

$$v_m = \frac{v_0}{1 + (a + b)tv_0} \quad (2.60)$$

Или окончательно

$$v_m = \frac{v_0}{1 + \left(\frac{f}{R_k} + \frac{cF\gamma\beta}{2gm}\right)tv_0} \quad (2.61)$$

Из формулы (2.61) видно, что при прочих равных условиях скорость перемещения единичной частицы снижается с уменьшением диаметра ($D \equiv R_k \cdot 2$) измельчающей камеры. А так как эффект удара зависит от квадрата скорости соударения, то следовательно, чем меньше D , тем эффективнее разрушение материала в измельчающей камере. Помимо этого с уменьшением диаметра измельчающей камеры сокращается путь перемещения частиц по её рабочей поверхности, что приводит к снижению содержания в измельченном материале мелких пылевидных фракций.

Скорость движения измельчаемого корма по рабочей поверхности камеры измельчения зависит от диаметра камеры измельчения.

2.4 Выводы

1. Теоретические исследования процесса подготовки кормов к скармливанию измельчителем с рабочим органом молотково-сегментного типа показали, что скорость процесса измельчения зависит от скорости материала до

удара, скорости режущего элемента, а также массы корма и массы режущих элементов и находится в пределах v от 95 м/с до 115 м/с.

2. Определены зависимости затрат энергии при операции резания кормов на измельчителе с рабочим органом молотково-сегментного типа. Анализ показывает, что энергия материала при ударе увеличивается и зависит от упругости материала и коэффициента μ , являющегося отношением скорости материала к линейной скорости рабочих элементов, $\mu = 0,450 \div 0,467$.

3. Исследование показывает, что удельный расход энергии на преодоления сил трения возрастает при увеличении количества оборотов барабана измельчителя. Решая задачу уменьшения энергетических затрат в измельчителе стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа при изменении суммарная реакция на опорах барабана $R = 0,4$ кг (4 Н) и угловой скорости $\omega = 200 \text{ с}^{-1}$, но постоянной скорости $v = 100$ м/с, видим снижение энергоемкости процесса измельчения при меньших значениях R . Как следствие, измельчение корма более эффективно при уменьшении R .

4. Определена полная энергия на измельчение материала, которая учитывает конструктивно-технологические параметры машины: линейная скорость молотков ($v = 90$ м/с), масса материала ($m = 1$ кг), коэффициент упругости корма (k), диаметр барабана ($b=0,3$ м).

5. В результате исследования сделан вывод, что скорость движения частиц корма в камере измельчителя зависит от диаметра камеры. Меньшие размеры камеры измельчения корма позволяют более качественно и эффективно вести процесс измельчения кормов.

3 МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

3.1 Методика экспериментальных исследований

Основная цель проведения экспериментальных исследований - определение конструктивно-режимных показателей оборудования подготовки кормов к скармливанию для фермерских хозяйств малых форм собственности малогабаритного измельчителя с низким потреблением энергии, обеспечивающего экологически чистое производство кормов, эргономичного, безопасного в работе для операторов и животных.

Программа выполнения исследований по изучению работы поточно-технологических линий приготовления кормов приведена на рисунке 3.1.

Исследования проведены в лабораторных и производственных условиях. В ходе научных исследований планируется решить следующие задачи:

- оценить физико-механические свойства стебельных кормов, подаваемых на измельчение;
- определить направления работы по изучению влияния конструктивно-режимных параметров измельчителя молотково-сегментного типа на технические показатели работы оборудования – производительность установки в процессе опытных исследований, энергоемкость измельчения корма.

I этап – исследовались физико-механические свойства кормов, которые определяют работу измельчителя – влажность, гранулометрический состав, плотность подаваемого корма, сорт сена/соломы.

II этап – в задачу исследования входило: обзор оборудования, применяемого для ЛПХ; оценка работы машин, входящих в ПТЛ подготовки кормов к скармливанию и повышение эффективности измельчения за счет изменения технических характеристик.

III этап – осуществлен выбор конструктивно-технологической схемы измельчителя кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа,

обеспечивающей требуемое качество получаемого корма и отвечающей техническим и экономическим задачам исследования.



Рисунок 3.1 - Алгоритм проведения эксперимента

В процессе исследования работы измельчителей кормов при подготовке к выдаче животным выполнена большая работа по изучению технико-

экономических показателей работы оборудования приготовления кормов на животноводческих объектах Кубани, проведен патентный поиск измельчителей кормов, произведен подбор материалов и оборудования для изготовления опытного образца и измерительной аппаратуры.

При выполнении данной работы руководствовались следующими нормативными документами:

ГОСТ 15.101-98. Система разработки и постановки продукции на производство. Порядок выполнения научно-исследовательских работ.

ГОСТ 7.32-2001* «СИБИД. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления».

Экспериментальные исследования проводились на основании работ В. Р. Алешкина, Г. В. Веденяпина, Ф.С. Завалишина, Г. М. Кукты, М. Г. Манцева, С. В. Мельникова, П. М. Рощина и других авторов [2, 3, 4, 8, 18, 35, 42, 43].

Критериями оценки работы рабочих органов машин и оборудования явилась их работоспособность, качественные показатели и энергоемкость процессов, которые определялись по известным методикам [18].

Опытный образец измельчителя стебельных кормов обеспечивает равномерную подачу стеблей корма на измельчение в бункер, где стебли корма измельчаются до заданных размеров и потоком воздуха перемещаются в кормушку животных или на кормовой стол.

Параметры, определяющие качественную работу измельчителя, характеризуются следующими факторами:

- физико-механические;
- технологические;
- конструктивные;
- режимные.

Физико-механические факторы – это качественные показатели подаваемого корма: сорт травы, ориентация стеблей (при обработке грубого корма) относительно барабана измельчения, усилие для разрезания стеблей, сила трения подаваемого корма о металлические части измельчителя.

Технологические факторы – различная влажность, плотность подаваемого корма, загрязненность и модуль помола.

Конструктивные факторы – геометрические размеры измельчителя, число режущих элементов молотково-сегментного типа в установке для измельчения кормов.

Режимные факторы определяются скоростью подачи измельчаемого корма в бункер, рабочая длина кромки измельчающих органов, скорость вращения измельчающего аппарата.

Конструктивно-режимные параметры имеют большое воздействие на технологический процесс измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа.

Таблица 3.1 - Параметры, определяющие качественную работу измельчителя

№ п/п	Факторы влияния	Свойства фактора	Мера влияния
1	физико-механические	Сорт корма, направленность стеблей	Время измельчения
2	технологические	Влажность, плотность	На энергетические показатели, скорость обработки
3	конструктивные	Геометрические размеры камеры измельчения, скорость вращения измельчительного аппарата	Качество измельчения корма
4	режимные	Скорость подачи, разрыв между декой и ножами	Время измельчения, Качество корма

Измельчение сена проводилось на опытном образце в лабораторных и производственных условиях. Сено 2-го класса, влажностью 17%, сухого вещества 83%, хорошего качества, рассыпное, согласно ГОСТ4808-87, приготовленное из трав сеяных, цвет от желто-зеленого до зеленого, имеет приятный запах сухой травы.

Отбор проб сена вели согласно ГОСТ 27262-87 «Методы отбора проб». Оборудование и необходимые материалы для выполнения отбора проб:

пробоотборник грубого корма, мешки бумажные или пакеты для проб по ГОСТ 2226-68, дрель беспроводная, полог брезентовый 2,0*2,0 м.

Пробоотборник сена Wile позволяет выполнять отбор проб кормовых культур – сена, соломы, силоса. Для выполнения действий по отбору проб корма необходимо иметь дрель, которая присоединяется к пробоотборнику. Пробы отбираются из разных мест стога, скирды, на глубину 45 см, диаметром 1,7 см с помощью дрели без загрязнения самого образца. Пробоотборник изготовлен из нержавеющей стали длиной 60 см, вес 1,8 кг.



Рисунок 3.2 – Внешний вид пробоотборника сена Wile

Образцы корма извлекаются в контрольные пакеты. Полученные таким образом пробы передаются в лабораторию для проведения дальнейших анализов качества корма.

При выполнении работ из стога сена пробоотборником по периметру стога на равных расстояниях на высоте 1,5 м от поверхности земли со всех доступных сторон брали пробу сена с глубины стога более 0,5 м. Масса проб составляла от 0,1 кг до 0,5 кг (ГОСТ 27262-87). Количество проб согласно ГОСТа при массе партии до 20 т составляет 4 пробы. Полученные точечные пробы составляли в объединенную пробу массой более 2 кг. Точечные пробы сена складывали тонким

слоем 3-4 см на брезенте и осторожно перемешивали. Из объединенной выделяем среднюю пробу для анализа. Для выделения средней пробы не менее чем из 10 мест по всей площади брезента и всей толщине слоя сена отбирали пучки массой 100-120 г, делали это так осторожно, чтобы осыпавшиеся части растений также были включены в пробу.

Полученную среднюю пробу массой более 1 кг упаковали в пакет из полимерной ткани и выполняли исследования распределения длины стеблей после измельчения (фракционный состав).

Работа измельчителя оценивается качеством получаемого корма и энергоемкостью процесса измельчения стебельных кормов. Показатели определялись согласно разработанных методических указаний.

Оценка объемистых кормов в нашей стране проводится в соответствии с национальными стандартами. Требования к качеству зеленых и пастбищных кормов предъявляются по ГОСТ Р56912-2016 и ГОСТ Р57482-2017, сена и сенажа ГОСТ Р 55452-2013, силоса и сенажа ГОСТ Р 55986-2014, зерносенажа и зерносилоса по ГОСТ Р 58145-2018, травяных искусственно высушенных кормов ГОСТ Р 56383-2015. Основу исследований составляют анализ по органолептическим и физико-химическим признакам.

Экспресс-анализы кормов проводят исследования силоса, сена, зеленой массы, жмыха, шрота, сенажа инфракрасным облучением ближнего диапазона, не разрушая образец.

Физико-механические методы определяют влажность корма, сыпучесть, наличие примесей (песок, земля), массовую долю сухого вещества.

Энергетические показатели рабочих органов фиксировали при помощи комплекта измерительного К505.

Количество и продолжительность опытов выбирали в соответствии с необходимым объемом информации, удовлетворяющему заданному значению надежности $E=0,95$ и ошибки исследования 5%. Повторность опытов принята трехкратной.

Опытные данные по статистическому анализу и рациональному планированию обрабатывались в соответствии с положениями математической статистики и теорией вероятности, изложенными в работах Митропольского А. К. [47], Протодряконовым М. М. и Тедер Р. И. [87], а также других авторов.

Стебельный корм, подвергшийся измельчению, отводится из камеры измельчения через фуражир в сборный лоток, который был специально изготовлен для проведения опытов. Характеристика лотка: длина – 2000 мм, ширина – 800 мм, высота – 360 мм.

Лоток изготовлен из стали. Пробы измельченного корма собирались методом, который заключается в следующем: корм измельченный распределяем на ровную поверхность высотой 3-4 см, сверху этого слоя накладывается сетка из 20...50 квадратов. Пробы отбираются из разных мест, из квадратов, расположенных по диагонали. Отобранный материал для исследования помещался в бумажные, полиэтиленовые или специальные пакеты с замком для создания условий сохранения свойств измельченного корма.



Рисунок 3.3 – Внешний вид лоток для сбора порций корма

В лабораторных условиях полученный измельченный корм распределялся по фракциям, ориентируясь на длину частиц корма: от 10 мм до 70 мм.

Стебли одной длины взвешивались, используя весы AND GX-4000 и находили среднюю длину и модуль помола, которые характеризуют степень

измельчения. Вычисление среднеарифметической величины вариационного ряда находилась по формуле:

$$l_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i l_{\text{cpi}}}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3.1)$$

где l_{cp} – средняя длина частиц, мм;

l_{cpi} – длина частиц фракции, мм;

m_i – масса частиц в пределах каждой фракции, гр.

Таблица 3.2 - Гранулометрический состав корма измельченного сена

Марка измельчителя	Масса частиц, г					Средняя длина частиц, мм	Степень измельч ения
	До 20 мм	21-30 мм	31-40 мм	41-50 мм	Свыше 50 мм		
Измельчитель с рабочим органом молотково- сегментного типа	10,76	28,18	30,76	18,36	11,94	38,7	1,3

Однородность состава измельченных стеблей определяли согласно ОСТ 70.19.2–83 и считали среднеквадратичное отклонение размеров частиц. Зная среднеквадратичное отклонение размеров стеблей и среднюю длину частиц корма, определяли коэффициент вариации.

3.2 Описание экспериментальной установки

Измельчитель выполнен по патенту на изобретение RU 2639326 C1, A01F 29/00; A23N 17/00 (авторы Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю., Сысоев Д.П., Морозова Н.Д.) (рисунок 3.4, 3.5).

Конструкция измельчителя с рабочим органом молотково-сегментного типа в сопоставлении с первоначальным образцом и применяемым технологическим оборудованием имеет инновационные решения:

- по снижению энергоемкости производства стебельного корма;

- выполнению зоотехнических требований по фракционному составу корма;
- формированию усиленного потока в камере измельчителя и разгрузочном элементе.



Рисунок 3.4 – Внешний вид предлагаемого измельчителя



Рисунок 3.5 – Внешний вид электропривода измельчающего рабочего органа

Для снятия энергетических характеристик использовался комплект измерительный K505 (рис. 3.4).

Проведение экспериментальных работ по измельчению сена проводили меняя частоту вращения электрического двигателя (500-3000 об./мин). Испытания проводились с использованием двигателя SEg80-2D (AИPE80C2) (рис.3.5)



Рисунок 3.6 – Внешний вид экспериментальной установки измельчителя с рабочим органом молотково-сегментного типа

От надежности работы электрооборудования на животноводческом объекте зависят показатели производства и качества продукции. Требования к качеству устройств защиты электродвигателей от аварийных режимов работы показывает связь доходов от повышения надежности оборудования с показателями безотказности и ремонтпригодности [64, 72].

Экспериментальные работы проводили в условиях предприятия ООО «КубаньЭлектроМаш» (ст. Северская) в соответствии с ГОСТами, соблюдением техники безопасности и требований безопасности и требований госэпиднадзора.



Рисунок 3.7 – Внешний вид измельчающего рабочего органа



Рисунок 3.8 – Внешний вид электрического двигателя измельчителя

Для изменения модуля помола использовали сепарирующие решета с диаметром отверстий 0,5; 1,0; 1,5 см.

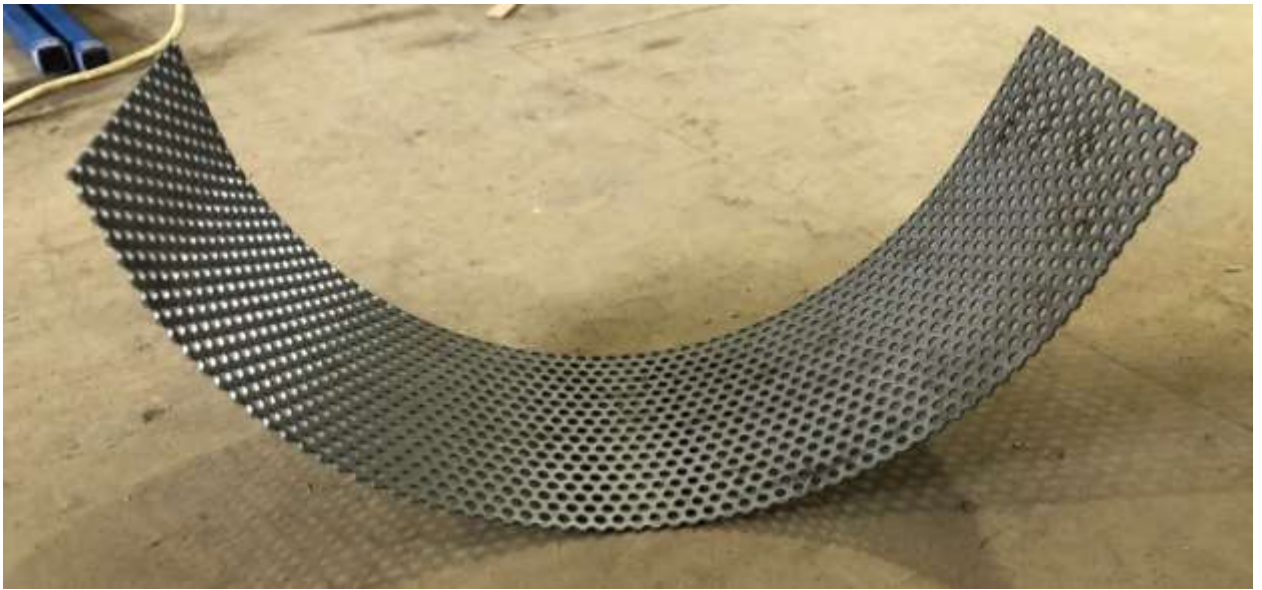


Рисунок 3.9 – Внешний вид сепарирующего решета

Измельченный корм для контроля модуля помола разбирался на отдельные порции до 20 мм на решетном классификаторе, а стебли длиной более 20 мм

отбирались вручную, а затем каждая порция взвешивалась на весах AND GX-4000 (рис. 3.10).



Рисунок 3.10 – Внешний вид весы лабораторные AND GX-4000



Рисунок 3.11 - Контроль изменения модуля помола корма фракций от 2 до 30 мм на решетном классификаторе

Таблица 3.3 - Техническая характеристика экспериментальной установки

Показатели	Значения
Производительность, т/ч	0,3
Потребляемая мощность, кВт	1,5
Частота вращения ротора, мин ⁻¹	3000
Диаметр барабана	
Напряжение питания	220
Размер измельченных частиц, мм	15-70
Вместимость бункера, м ³	0,22
Пределы регулировки нормы выдачи, кг/м	0,5-2,6
Габаритные размеры ДхШхВ, мм:	400x950x1300
Масса, кг	45

3.3 Определение факторов, существенно влияющих на процесс измельчения

Анализ литературных источников, результаты теоретических и экспериментальных исследований, априорная информация показали, что на процесс измельчения оказывает влияние большое число факторов. Для оптимизации процесса измельчения необходимо построить его математическую модель, что осуществить теоретическим путем невозможно, т.к. трудно учесть во времени все свойства измельчаемого материала.

Сущность метода экстремального эксперимента заключается в том, что он позволяет обобщить материалы исследований в виде математической модели и дать им статистическую оценку при значительном сокращении числа опытов по сравнению с однофакторным экспериментом, а также определить оптимальные условия протекания процесса измельчения.

На основании предварительного изучения объекта исследования были выбраны критерии оптимизации, проанализирована априорная информация [42]. Априорное ранжирование, с учетом проведенных ранее исследований, позволило выделить наиболее значимые факторы (табл.3.4).

Подробное изучение всех факторов потребовало бы большого количества опытов. Отсеивающий эксперимент позволяет выделить те факторы, которые наиболее существенно влияют на величину критерия оптимизации. Результаты однофакторных экспериментов позволили выбрать уровни и интервалы варьирования факторов при проведении планирования эксперимента.

Таблица 3.4 - Факторы, влияющие на показатель модуля помола, их условные обозначения и намеченные уровни варьирования

Факторы	Обозначение фактора	Размерность	Уровень варьирования		
			-1	0	+1
Угловая скорость рабочего органа	X ₁	с ⁻¹	180	200	220
Линейная скорость молотков	X₂	м/с	60	90	120
Влажность материала	X₃	%	10	15	20
Угол наклона сегментов на барабане, α _с	X ₄	°	35	40	45
Диаметр отверстий сепарирующего решета	X₅	см	0,5	1	1,5
Число рядов молотков	X₆	шт	2	4	6
Зазор, между сепарирующей решеткой и молотками	X ₇	мм	1	3	5
Количество сегментов на диске	X ₈	шт	2	4	6
Количество дисков на барабане	X ₉	шт	8	12	16

Экспериментальные исследования процесса приготовления и дозированной выдачи кормов проводились на сене. Уровни и интервалы варьирования проведения эксперимента были получены в результате однофакторных экспериментов. Для того чтобы получить измельчение стебельного корма заданной величины с оптимальным качеством необходимо определить каким образом на величину измельчения кормов влияют различные факторы. Выполнив опыты в лаборатории кафедры «Механизации животноводства и БЖД» Кубанского ГАУ на экспериментальной установке измельчения стебельных кормов и на основании изученных литературных источников с информацией по данному направлению исследований предлагается определить влияние 6 факторов на получение качественного корма при измельчении. Исследования выполняли на экспериментальной установке с рабочим органом молотково-сегментного типа.

Для выделения существенных факторов проводился отсеивающий эксперимент по плану Плакетта-Бермана, представляющий собой насыщенный план с матрицей специальной конструкции (табл. 3.5).

Таблица 3.5 - Матрица Плакетта-Бермана и результаты экспериментов по выделению факторов, влияющих на модуль помола

Номер опыта	ФАКТОРЫ									ОТКЛИК	
	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇	X ₈	X ₉	Y ₁ модуль помола	Y ₂ Энерг оемко сть
1	+	-	-	+	+	+	-	-	-	1,2	0,387
2	-	+	+	-	+	+	-	-	-	1,7	0,375
3	+	-	+	+	-	+	+	+	-	0,8	0,419
4	-	+	-	+	+	-	+	+	+	1,0	0,361
5	-	-	+	-	+	+	-	+	+	1,1	0,528
6	-	-	-	+	-	+	+	-	+	1,3	0,472
7	+	-	-	-	+	-	+	+	-	0,7	0,612
8	+	+	-	-	-	+	-	+	+	0,9	0,556
9	+	+	+	-	-	-	+	-	+	2,1	0,667
10	-	+	+	+	-	-	-	+	-	2,3	0,556
11	+	-	+	+	+	-	-	-	+	1,6	0,764
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,8	0,667
$\sum_j^n y_j x_i^j$	-25,4	99,31	-51,0	-21,0	-78,6	-52,0	16,20	38,92	43,52		
B _i	-4,24	16,55	-8,51	-3,51	-13,1	-8,67	2,7	6,48	7,25		
A _i	2,12	8,28	4,25	1,75	6,55	4,33	1,35	3,24	3,62		
значи мость	-	+	+	-	+	+	-	-	-		

Матрица плана конструируется по заданной первой строке путем сдвига последующих строк элементов предыдущей строки на одну позицию вправо и перестановки первого элемента на последнюю позицию.

Последняя, 12-я строка включает только элементы (-). Для исследования шести факторов использовался план с количеством экспериментов - 12. Для определения дисперсии оценок факторов к исследуемым факторам в матрице плана были добавлены три фиктивных фактора.

При этом предполагалось, что доминирующее значение имеют линейные факторы. Благодаря ортогональности этих планов их результаты легко поддаются обработке, а линейные эффекты рассчитываются независимо друг от друга.

Порядок проведения опытов был следующим. Согласно матрице планирования устанавливалось одно из сочетаний уровней факторов. Производился пуск экспериментальной установки и, в установившемся режиме, отбирались на анализ пробы. Опыты проводились с трехкратной повторностью.

После реализации плана эксперимента определялась сумма $\bar{Y}_j X_{ij}$ значений по каждому X_i , оценки эффектов отдельных факторов $\hat{\beta}_i$ и рассчитывались значения $\hat{\alpha}_i$. Число степеней свободы $f=N-(1+1)=12-(8+1)=3$. Дисперсия ошибок наблюдений определялась с помощью коэффициентов фиктивных факторов $\hat{\alpha}_5, \hat{\alpha}_6, \hat{\alpha}_7, \hat{\alpha}_8, \hat{\alpha}_9, \hat{\alpha}_{10}, \hat{\alpha}_{11}$:

$$S_1^2 = \frac{4k(\hat{\alpha}_{1+1}^2 + \hat{\alpha}_{1+2}^2 + \dots + \hat{\alpha}_{N-1}^2)}{4k-1-1} \quad (3.5)$$

где $\hat{\alpha}_{1+1}, \dots, \hat{\alpha}_{N-1}$ - коэффициенты фиктивных факторов; S_1^2 - остаточная дисперсия; 1 - число исследуемых факторов; k – кратность матрицы плана; $f = 4k-1-1$ – число степеней свободы.

Дисперсия оценок факторов рассчитывалась по формуле:

$$S_{(B1)} = \frac{S_1}{4k} \quad (3.6)$$

Расчет эффектов отдельных факторов проводился по формуле

$$B_i = \frac{\sum_{j=1}^N \bar{Y}_j X_{ij}}{0,5N} \quad (3.7)$$

где \bar{Y}_j - среднее значение отклика в опыте;

X_{ij} - кодированное значение уровня i-го фактора в j-той строке матрицы.

Коэффициенты эффектов отдельных факторов

$$\hat{\alpha}_i = \frac{\hat{\beta}_i}{2} \quad (3.8)$$

Значимость факторов определяли по t – критерию из условия

$$|\hat{\alpha}_i| \geq t_{кр} S_i \quad (3.9)$$

где $t_{кр}$ – критическое значение распределения для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и степени свободы $f' = 3$; S_i – дисперсия коэффициента.

$$S_i = \sqrt{\frac{S_1^2}{4k}} \quad (3.10)$$

После определения степени значимости факторов на критерий оптимизации – модуль помола и выявлению существенных факторов переходим к построению математической модели процесса измельчения, оптимизации технологических и конструктивно-кинематических, параметров измельчающе-дозировочного рабочего органа.

Различные исследования процессов измельчения и выгрузки [68,69] показывают, что он описывается полиномом второго порядка.

Исходя из числа существенных факторов и рекомендаций по выбору планов [42] для описания поверхности отклика применяем композиционный симметричный трехуровневый план Бокса (B_4) для четырех факторов. Планом B_4 предусмотрено провести 24 опыта с варьированием факторов на трех уровнях.

Количество повторных опытов m определено на основе принятой допустимой ошибки $\Delta_n = \pm 3\sigma$, где σ - среднеквадратическое отклонение отклика и доверительной вероятности α . Для отсеивающих экспериментов $m=2$ ($\alpha = 0,1$), в оптимизационных $m=3$ ($\alpha = 0,05$).

Матрица планирования второго порядка B_4 приведена в таблице 3.6. После проведения опытов по матрице плана B_4 результаты экспериментов обрабатывались следующим образом. Исключение результатов ошибочных опытов осуществлялось по критерию Стьюдента.

Проверка однородности дисперсий, если сравниваемое количество дисперсий больше двух, осуществляется с помощью критерия Кохрена. Этот критерий может использоваться в случаях, когда во всех точках имеется одинаковое число повторных опытов. При этом подсчитывается дисперсия в каждой горизонтальной строке матрицы, а затем из всех дисперсий выбирается максимальная, которая делится на сумму всех дисперсий.

После получения адекватных математических моделей, определяющих качественные показатели процесса работы измельчителя в зависимости от

величины факторов, проводился их анализ. Изучение поверхности отклика проводилось методом неопределенных множителей Лагранжа второго порядка [42].

Этот метод позволяет определить значение факторов при фиксированном значении отклика одного из уравнений регрессии и минимально возможном значении отклика другого уравнения. При этом использовались полученные уравнения для модуля помола (отклик Y) и энергоемкости процесса, которые имеют вид

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= a'_0 + a'_1 X_1 + a'_2 X_2 + a'_3 X_3 + a'_4 X_4 + a'_5 X_1^2 + a'_6 X_2^2 + a'_7 X_3^2 + a'_8 X_4^2 + a'_9 X_1 X_2 + \\
 &+ a'_{10} X_1 X_3 + a'_{11} X_1 X_4 + a'_{12} X_2 X_3 + a'_{13} X_2 X_4 + a'_{14} X_3 X_4 \\
 Y_2 &= a''_0 + a''_1 X_1 + a''_2 X_2 + \dots + a''_{12} X_2 X_3 + a''_{13} X_2 X_4 + a''_{14} X_3 X_4 \\
 Y_3 &= a'''_0 + a'''_1 X_1 + a'''_2 X_3 + \dots + a'''_{12} X_2 X_3 + a'''_{13} X_2 X_4 + a'''_{14} X_3 X_4 \\
 Z_1 &= b'_0 + b'_1 X_1 + b'_2 X_2 + b'_3 X_3 + b'_4 X_4 + b'_5 X_1^2 + b'_6 X_2^2 + b'_7 X_3^2 + b'_8 X_4^2 + b'_9 X_1 X_2 + \\
 &+ b'_{10} X_1 X_3 + b'_{11} X_1 X_4 + b'_{12} X_2 X_3 + b'_{13} X_2 X_4 + b'_{14} X_3 X_4 \\
 Z_2 &= b''_0 + b''_1 X_1 + b''_2 X_2 + \dots + b''_{12} X_2 X_3 + b''_{13} X_2 X_4 + b''_{14} X_3 X_4
 \end{aligned} \tag{3.13}$$

$$Z_3 = b'''_0 + b'''_1 X_1 + b'''_2 X_2 + \dots + b'''_{12} X_2 X_3 + b'''_{13} X_2 X_4 + b'''_{14} X_3 X_4$$

Для определения оптимальных параметров методом неопределенных множителей Лагранжа.

Получаем систему из пяти уравнений (для откликов Y_2 , Y_3 , Z_2 , Z_3 – аналогичны)

$$\begin{aligned}
 a'_1 + 2a'_5 X_1 + a'_9 X_2 + a'_{10} X_3 + a'_{11} X_4 + \lambda(b'_1 + 2b'_5 X_1 + b'_9 X_2 + b'_{10} X_3 + b'_{11} X_4) &= 0 \\
 a'_2 + 2a'_6 X_2 + a'_9 X_1 + a'_{12} X_3 + a'_{13} X_4 + \lambda(b'_2 + 2b'_6 X_2 + b'_9 X_1 + b'_{12} X_3 + b'_{13} X_4) &= 0 \\
 a'_3 + 2a'_7 X_3 + a'_{10} X_1 + a'_{12} X_2 + a'_{14} X_4 + \lambda(b'_3 + 2b'_7 X_3 + b'_{10} X_1 + b'_{12} X_2 + b'_{14} X_4) &= 0 \\
 a'_4 + 2a'_8 X_4 + a'_{11} X_1 + a'_{13} X_2 + a'_{14} X_3 + \lambda(b'_4 + 2b'_8 X_4 + b'_{11} X_1 + b'_{13} X_2 + b'_{14} X_3) &= 0 \\
 Z_1 - b'_0 = b'_1 X_1 + b'_2 X_2 + b'_3 X_3 + b'_4 X_4 + b'_5 X_1^2 + b'_6 X_2^2 + b'_7 X_3^2 + b'_8 X_4^2 + b'_9 X_1 X_2 + \\
 + b'_{10} X_1 X_3 + b'_{11} X_1 X_4 + b'_{12} X_2 X_3 + b'_{13} X_2 X_4 + b'_{14} X_3 X_4
 \end{aligned} \tag{3.15}$$

где Z_1 - оптимальное значение величины.

Система уравнений решалась методом скорейшего спуска по специальной программе на ЭВМ. Изучение процесса работы измельчителя этим способом

осуществляется путем решения компромиссной задачи - получения минимальной энергоемкости N при допустимом по зоотехническим требованиям модуле помола M .

Раскодирование осуществляли подстановкой в полученные уравнения регрессии преобразованных линейных членов, квадратичных членов и членов уравнений, содержащих взаимодействия. Преобразования выполняли по формулам (для коэффициентов b - аналогично)

$$\begin{aligned} a_i x_i &= \frac{a_i}{\varepsilon_i} X_i - \frac{a_i}{\varepsilon_i} X_{0i} \\ a_{ii} x_i^2 &= \frac{a_{ii}}{\varepsilon_i^2} (X_i^2 - 2X_i X_{0i} + X_{0i}^2) \\ a_{ij} x_i x_j &= \frac{a_{ij}}{\varepsilon_i \varepsilon_j} (X_i X_j - X_i X_{0j} - X_j X_{0i} - X_{0i} X_{0j}) \end{aligned} \quad (3.16)$$

Раскодированные уравнения могут быть применены для определения модуля помола при работе кормоизмельчителя при разном сочетании конструктивных и режимных параметров.

3.4 Результаты оптимизации процесса измельчения стебельных кормов

При исследовании процесса измельчения решалась задача определения наиболее значимых факторов влияющих на процесс, построения математической модели и оптимизация основных параметров данного процесса. Экспериментальные исследования проводились на макетном образце.

В качестве критериев оптимизации были выбраны модуль помола - M (отклик Y_1) и энергоемкость- N (отклик Y_2), определяемые по вышеизложенным методам.

Анализ априорной информации и поисковых исследований показал, что наиболее значимыми выявились следующие факторы: X_1 – линейная скорость

молотков (v), м/с; X_2 – влажность материала (W), %; X_3 – диаметр отверстий сепарирующего решета (d), мм; X_4 – число рядов молотков (n).

Уровни варьирования факторов приведены в таблице 3.7.

В результате эксперимента по матрице Плакетта-Бермана и получения критериев оптимизации (приложение 1) проведена обработка и построены математические модели.

Таблица 3.6 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы	Обозначения	x_1	x_2	x_3	x_4
Центр эксперимента	X_0	90	14,1	1,0	4
Интервал варьирования	ε	30	0,7	0,5	2
Верхний уровень	+1	120	14,8	105	6
Нижний уровень	-1	60	13,4	0,5	2

X_1 – Линейная скорость молотков, м/с; X_2 – Влажность материала, %; X_3 – Диаметр отверстий сепарирующего решета, мм; X_4 – Число рядов молотков; Y_1 – модуль помола, мм; Y_2 – Энергоемкость кВт с /кг

С целью обоснования оценки влияния факторов по результатам эксперимента были рассчитаны уравнения регрессии второго порядка (программа APPOLE), которые имеют следующий вид в кодированном виде:

- для модуля помола M :

$$Y_1 = 1,5273 - 0,8167X_1 + 0,11X_2 + 0,5X_3 - 0,2765X_4 + 0,008X_1^2 - 0,001X_2^2 - 0,005X_3^2 - 0,003X_4^2$$

- для энергоемкости N :

$$Y_2 = 0,4551 - 0,1842X_1 - 0,04X_2 - 0,0575X_3 + 0,062X_4 + 0,002X_1^2 + 0,0004X_2^2 + 0,0006X_3^2 - 0,0006X_4^2$$

Адекватность моделей подтверждается с вероятностью $P_d=0,965$ при коэффициентах корреляции $R_1=0,94203$ и $R_2=0,98269$.

Переходя от кодированных значений факторов (X_1, X_2, X_3, X_4) к натуральным (v, W, d, n) получены зависимости показателей модуля помола и энергоемкости от основных технологических факторов:

- для модуля помола:

$$M = -10,07806667 - 0,02 v + 3,4365 W + 0,073 d - 0,2 n + 0,0015 v W - 0,0001 v d + 0,0001 v n + 0,009 W d + 0,0045 W n - 0,001 d n - 0,12W^2 - 0,0024 d^2 + 0,0137 n^2$$

для энергоемкости:

$$N = 5,466 - 0,0035 \omega - 1,29 W - 0,123 d - 0,038 n - 0,0026 \omega W - 0,0001 \omega n - 0,0034 W d + 0,0025 W n - 0,0003 d n + 0,05 W^2 + 0,011 d^2 + 0,0058 n^2$$

После получения адекватных математических моделей процесса, определялись координаты оптимума и изучались поверхности отклика.

В процессе экспериментальных исследований решалась компромиссная задача, с целью нахождения компромисса между двумя критериями оптимизации – модулем помола и энергоемкостью.

Результатом решения компромисса явились независимые переменные, которые имеют следующие значения:

Линейная скорость молотков $v - X_1 = 100$ м/с; влажность материала $W - X_2 = 14\%$; диаметр отверстий сепарирующего решета $d - X_3 = 1,5$ мм; число рядов молотков $n - X_4 = 4$.

Анализ сечения плоскости, представленной на рисунке 3.12, показывает, что модуль помола варьируется в пределах от 1,1 до 1,9 см. При линейной скорости молотков 100 м/с - модуль помола – 1,3 см, что является оптимальным показателем, тогда влажность – 14-15 %.

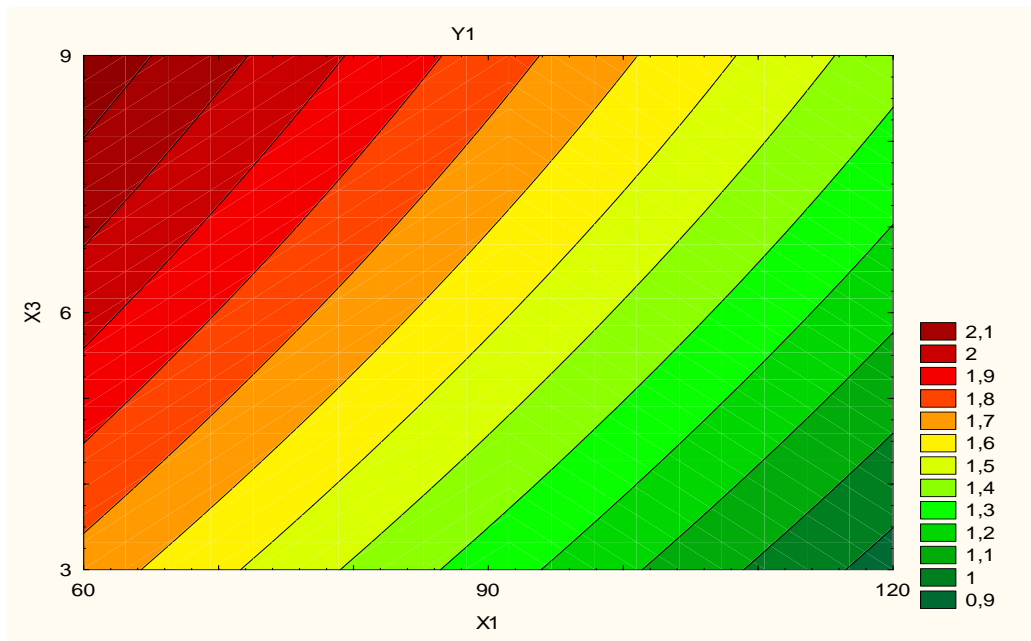


Рисунок 3.12 - Сечение поверхности модуля помола на плоскость X_2 и X_4

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.12 показывает, что при модуле помола 1,3 см, линейная скорость молотков 100 м/с, диаметр отверстий сепарирующего решета от 4 см до 5 см.

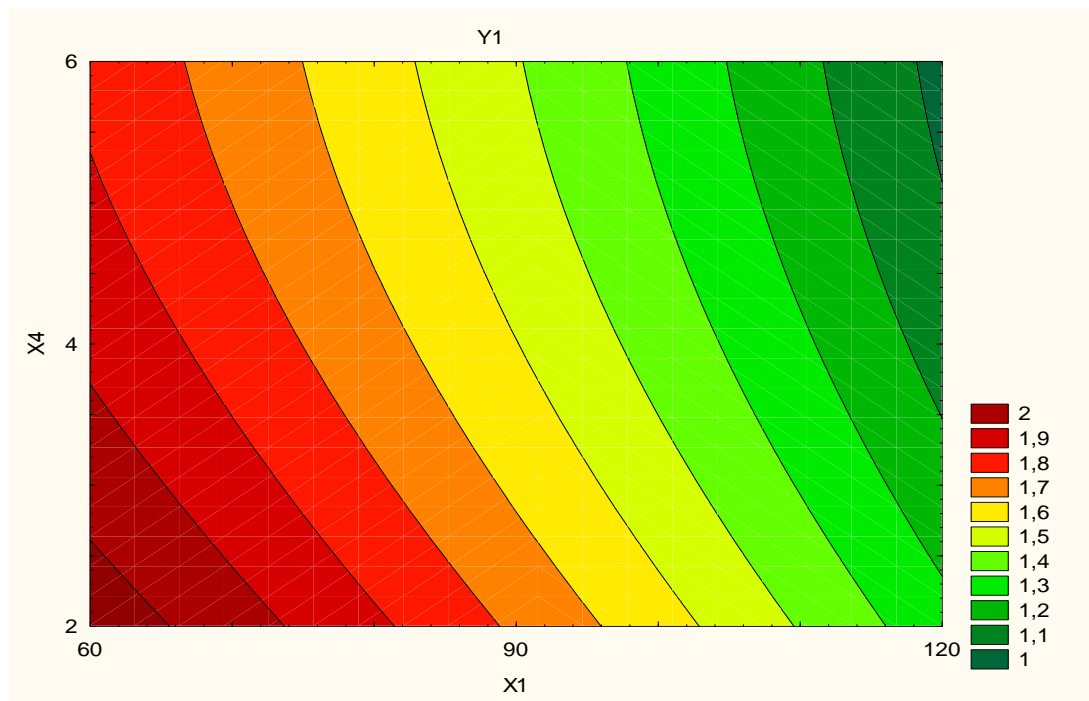


Рисунок 3.13 - Сечение поверхности модуля помола на плоскость X_2 и X_3

Анализируя сечение поверхности на рисунке 3.13 видно, что при модуле помола 1,3 см, линейной скорости молотков 100 м/с, число рядов молотков составляет от 4 до 6 шт.

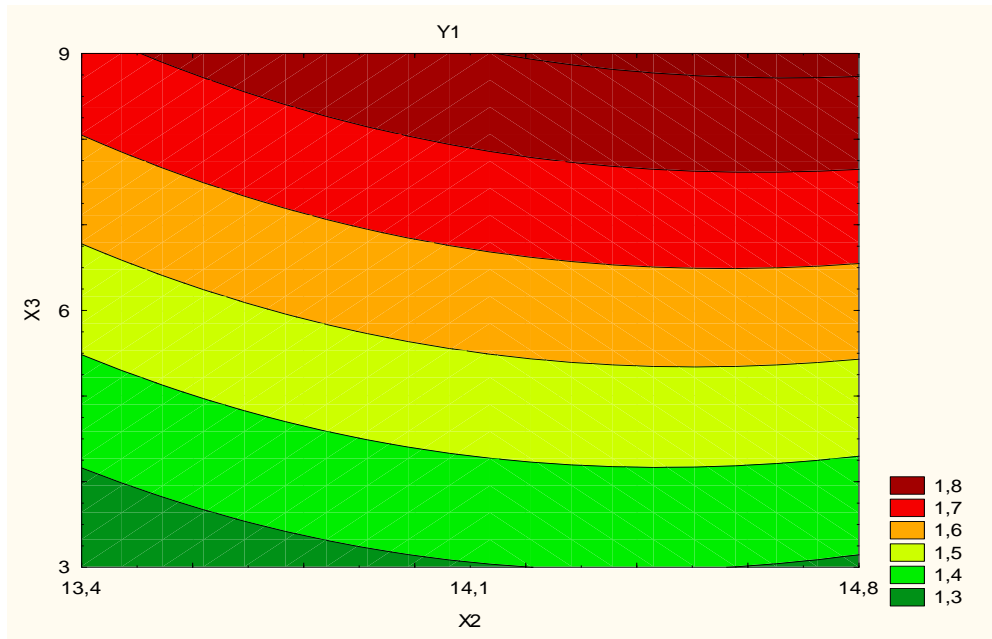


Рисунок 3.14 - Сечение поверхности модуля помола на плоскость X_1 и X_4

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.14 показывает, что при модуле помола 1,3 см, оптимальной влажности, исходя из выше представленных исследований и данной зависимости является от 13,6 до 14,1 %, при этом диаметр отверстий сепарирующего решета составляет 4 см.

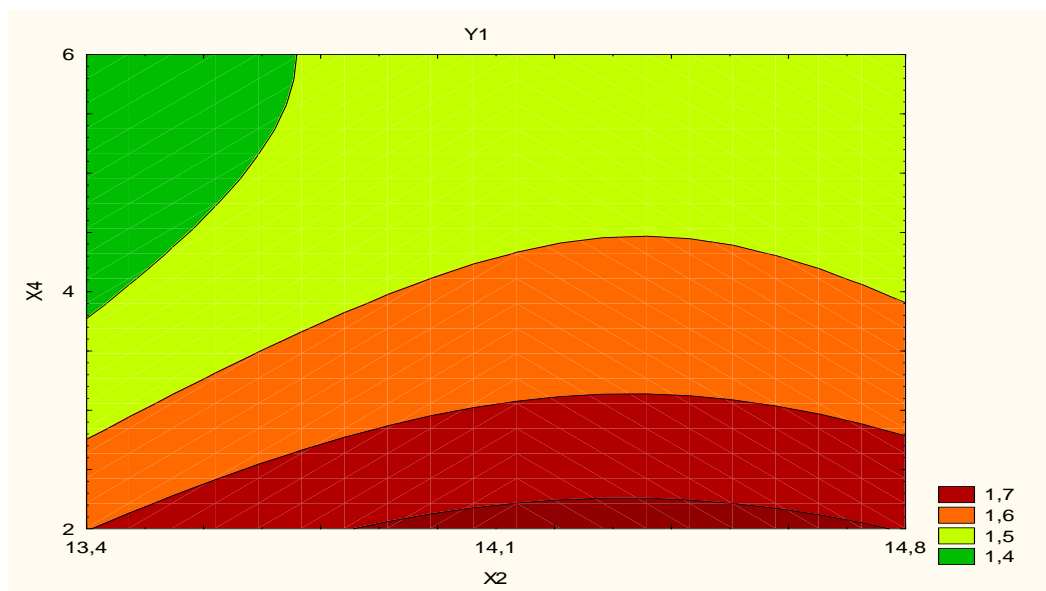


Рисунок 3.15 - Сечение поверхности модуля помола на плоскость X_1 и X_3

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.15 показывает, что при модуле помола 1,3 см, оптимальной влажности от 13,6 до 14,1 %, число рядов молотков составляет от 4 до 6 шт.

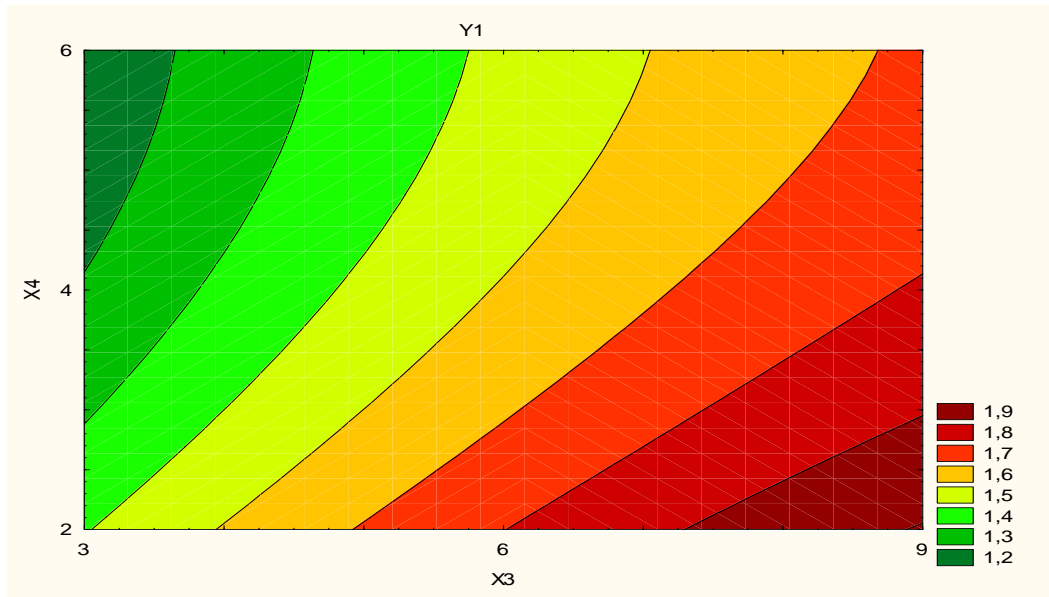


Рисунок 3.16 - Сечение поверхности модуля помола на плоскость X_1 и X_2

Рисунок 3.16 показывает, что при числе рядов молотков изменяющимся от 4 до 6 и модуль помола 1,3 см диаметр отверстий сепарирующего решета составляет от 0 до 4,5 см, что не противоречит данным, представленным на рисунке 2.

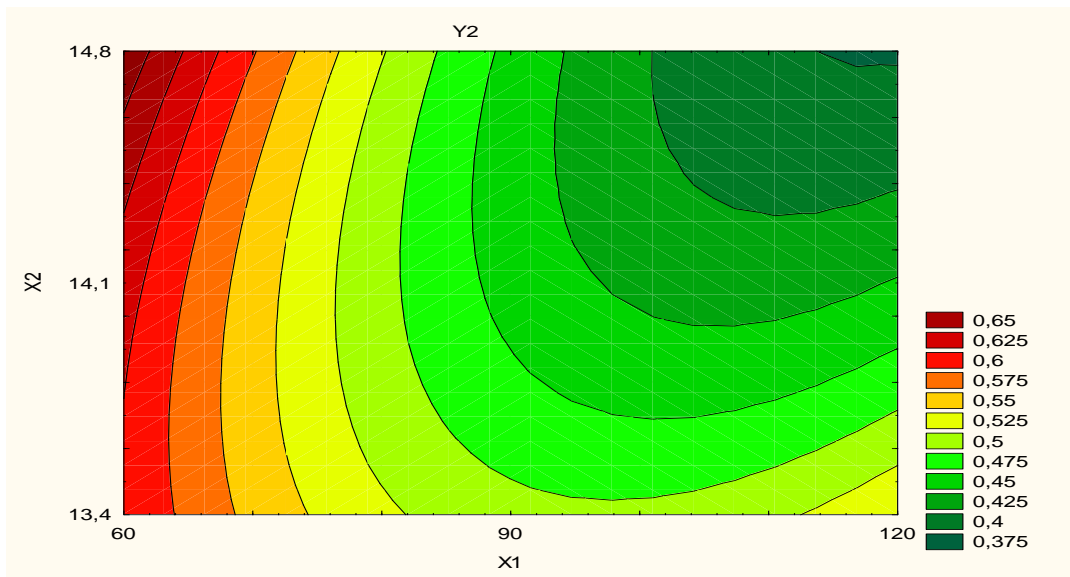


Рисунок 3.17 – Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_3 и X_4

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.17, показывает, что оптимальная энергоёмкость 0,475 кВт·ч/кг при линейной скорости молотков 100 м/с и влажности материала 13,8 %.

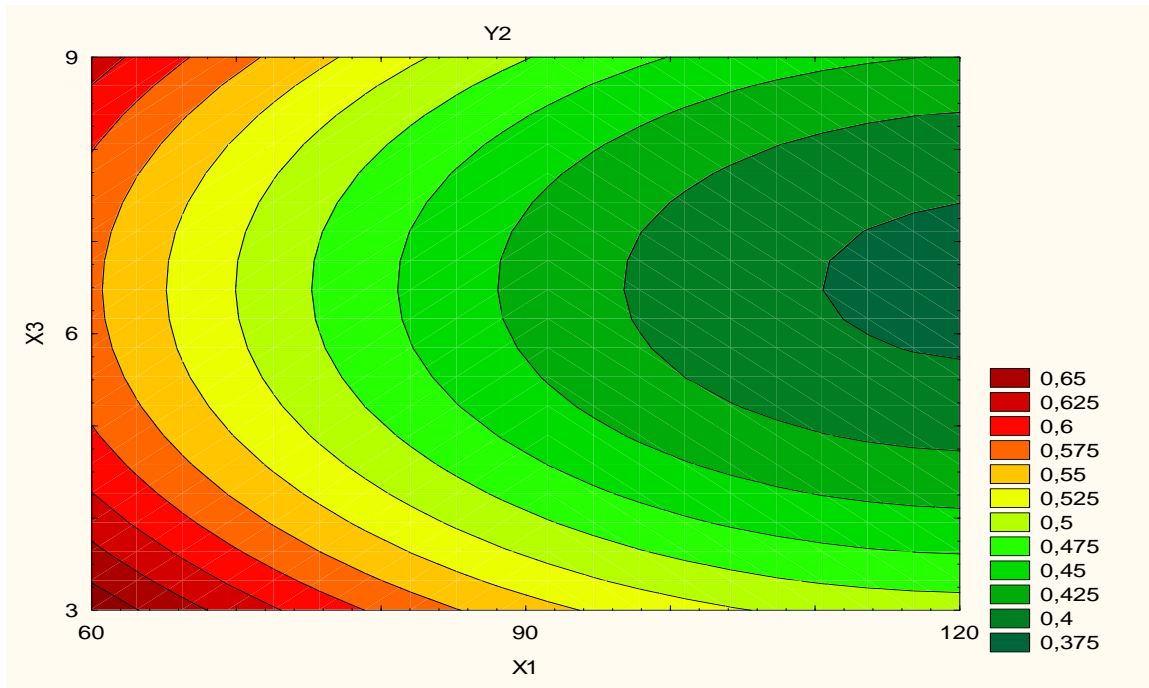


Рисунок 3.18 - Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_2 и X_4

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.18, показывает, что при оптимальной энергоёмкости 0,475 кВт·ч/кг, линейная скорость молотков 100 м/с, диаметр отверстий сепарирующего решета от 4 см до 5 см.

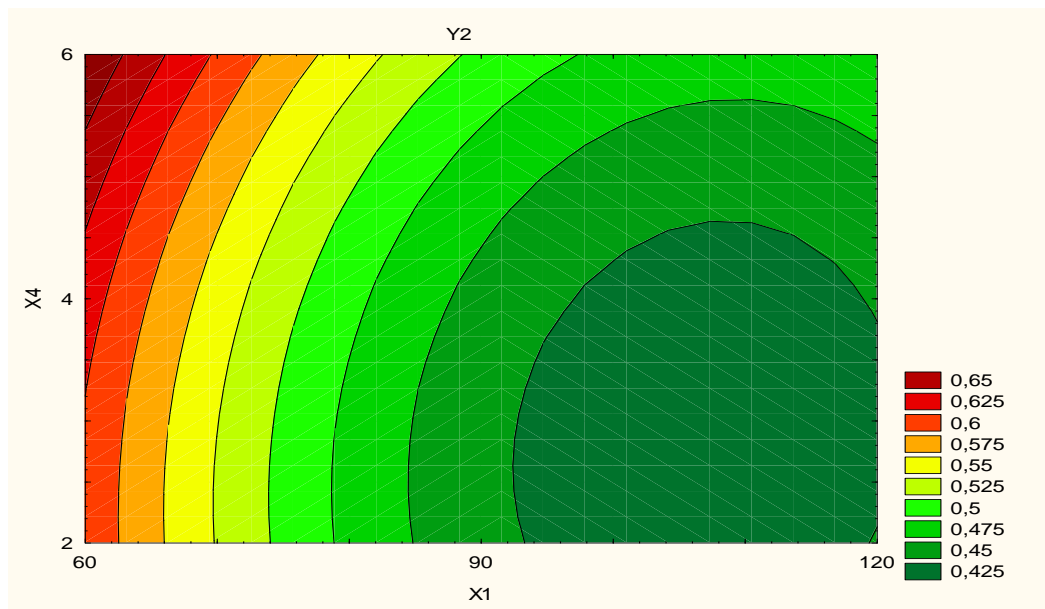


Рисунок 3.19 - Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_2 и X_3

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.19, показывает, что при использовании четырех рядов молотков со скоростью 100 м/с энергоёмкость составит 0,425 кВт·ч/кг.

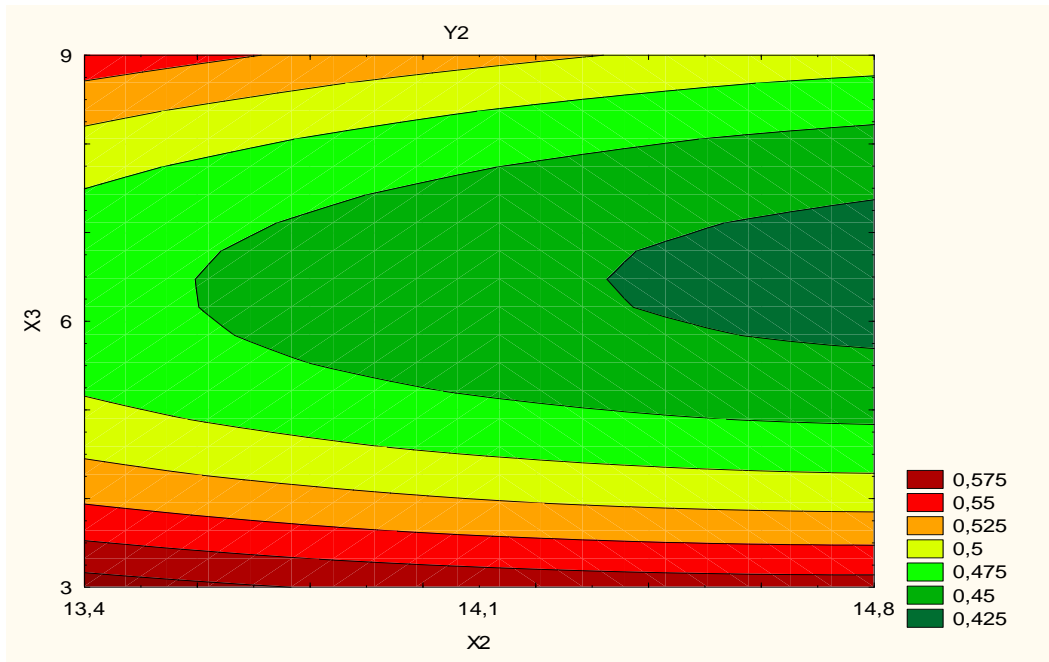


Рисунок 3.20 - Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_1 и X_4

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.20, показывает, что при оптимальной энергоёмкости 0,475 кВт·ч/кг, оптимальной влажности 13,8 %, диаметр отверстий сепарирующего решета составит 5 см.

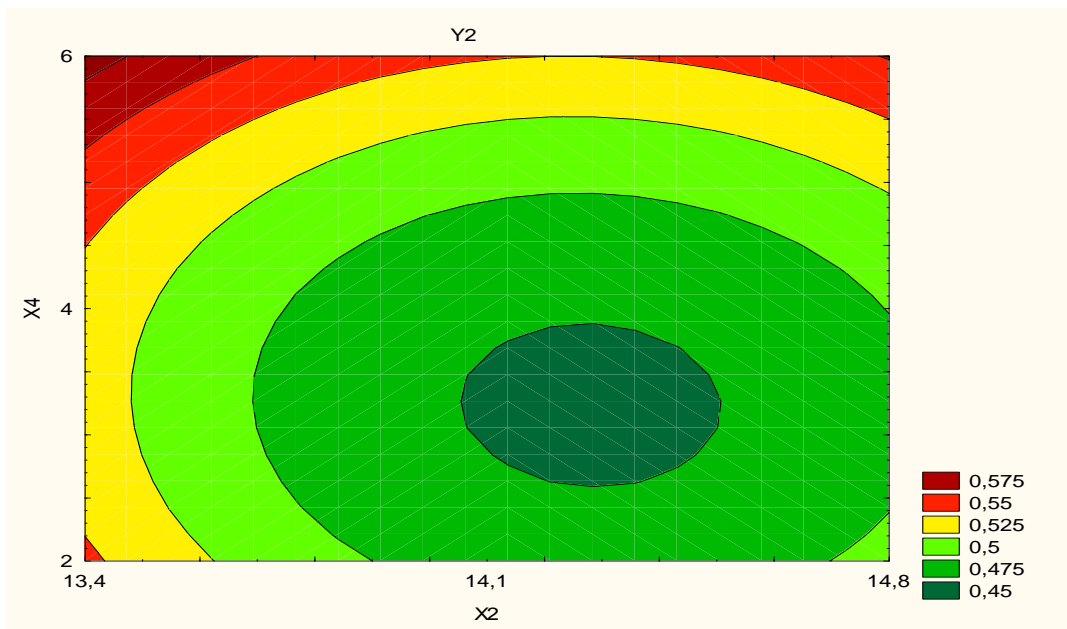


Рисунок 3.21 - Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_1 и X_3

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.21, показывает, что при оптимальной энергоёмкости 0,475 кВт·ч/кг, влажности материала 13,8 % число рядов молотков составит 4 шт.

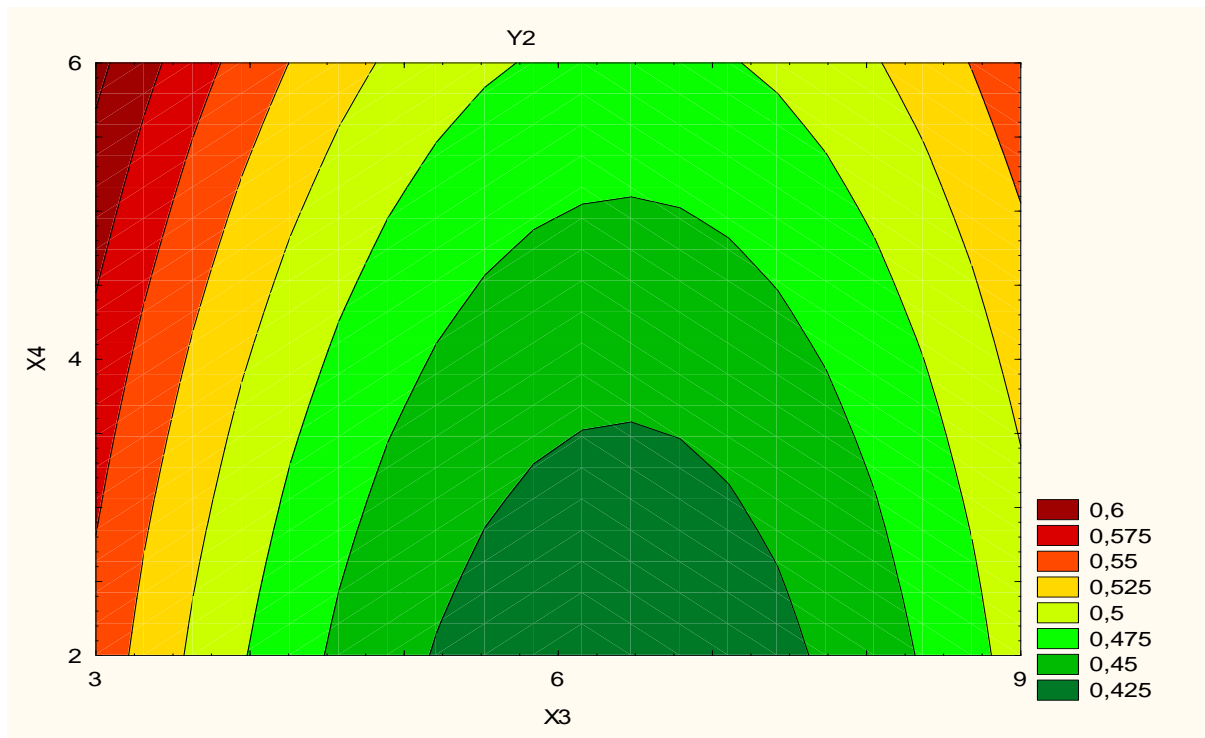


Рисунок 3.22 - Сечение поверхности энергоёмкости на плоскость X_1 и X_2

Анализ сечения поверхности на рисунке 3.22, показывает, что при оптимальной энергоёмкости 0,475 кВт·ч/кг, число рядов молотков 4 шт, диаметр отверстий сепарирующего решета составит 5 см.

В процессе исследований установлено, что наиболее существенное влияние на процесс измельчения имеют следующие факторы:

- линейная скорость молотков;
- влажность материала;
- диаметр отверстий сепарирующего решета;
- число рядов молотков.

Исходя из анализа вышеперечисленных зависимостей, определены рациональные значения параметров измельчителя, при которых модуль помола составит 1,3 см, затрачиваемая энергоёмкость 0,472 кВт·ч/кг, тогда линейная скорость молотков составляет 100 м/с, влажность материала варьируется от 14 до 15 %, диаметр отверстий сепарирующего решета составляет 4 см, а число рядов молотков составит 4 шт.

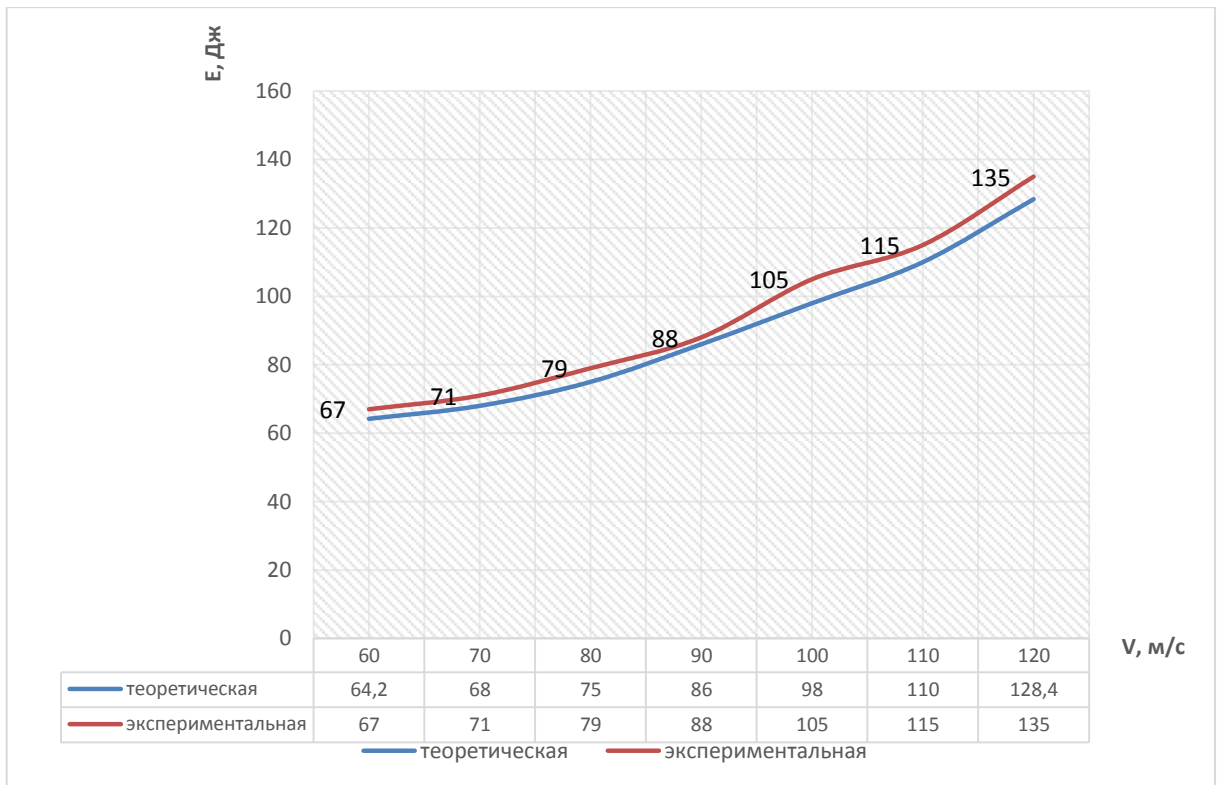


Рисунок 3.23 – Влияние линейной скорости молотков на затраты полной энергии для измельчения материала.

Анализ зависимостей показывает, что с увеличением линейной скорости молотков с 60 м/с до 120 м/с энергия на измельчение материала увеличивается с 67 Дж до 135 Дж. Зависимости, построенные по предложенной формуле (2.48) хорошо согласуются с экспериментальными. Расхождение результатов не превышает 4,5 – 6 % в зависимости от влияющего фактора.

3.5 Выводы

1. В результате экспериментальных исследований установлено, что наиболее существенное влияния на процесс измельчения имеют линейная скорость молотков, влажность материала, диаметр отверстий сепарирующего решета, число рядов молотков.

2. Найдены компромисс между двумя критериями оптимизации: модуль помола M и энергоёмкость N при этом рациональными значениями являются:

линейная скорость молотков $v =$ от 100 м/с, влажность материала $W = 14 \%$; диаметр отверстий сепарирующего решета $d = 4$ см; число рядов молотков $n = 4$.

3. Согласно графиков, построенных в результате исследований, видно, что с увеличением линейной скорости молотков с 60 м/с до 120 м/с энергия на измельчение материала увеличивается с 67 Дж до 135 Дж.

4 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

4.1 Экономическая эффективность применения проектируемого измельчителя стебельных кормов

Экономическая эффективность средств подготовки кормов к скармливанию зависит от множества факторов:

- рацион кормления;
- способ приготовления и кратности кормления;
- расстояние транспортировки кормов;
- производительность оборудования ПТЛ;
- надежность работы измельчителя;
- сорта кормов.

Испытания сельскохозяйственной техники проводятся для определения надежности работы определения функциональных характеристик и оценки эффективности.

Сбои в работе, недостатки, определенные в процессе испытаний, доводятся до изготовителя, что дает возможность производителям, ученым изменять конструкции машин и оценивать эффективность их работы.

Испытание опытного образца стебельных кормов с измельчителем молотково-сегментного типа проведены в фермерских хозяйствах, лаборатории и заводском полигоне.

Во время проведения испытаний измельчителя проверялись работоспособность и качественные показатели, определены технико-экономические результаты измельчения стебельных кормов. Работу выполняли согласно ГОСТ Р54783-2011 Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения; ГОСТ Р52777-2007 Техника сельскохозяйственная. Методы энергетической оценки; ГОСТ Р 52778-2007 Испытания сельскохозяйственной техники Методы эксплуатационно-технологической

оценки (ГОСТ 24055-2016); ГОСТ Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная
Методы экономической оценки (ГОСТ 34393-2018).

Испытанию подвергались стебельные корма, свойства которых приведены в
таблице 4.1.

Таблица 4.1 - Физико-механические свойства кормов

Корма	Физико-механические свойства		
	Объемная масса, кг/м ³	Влажность, %	Средняя длина частиц, мм
Солома:			
рулон	200	17	350
тюк	180	18	240
россыпью	50	16	400
Сено, рулон	210	17	290
тюк	170	16	210
россыпью	39	17	380

В качестве базового варианта принят вариант, в состав оборудования
технологической линии входят автономный погрузчик модели ПЭ-0,8Б,
измельчитель КР-02 и раздатчик-смеситель модели РСР-10.

Расчет на амортизацию и текущий ремонт по данному варианту и
предложенному инновационному приведен в таблице 4.5.

Согласно рекомендациям экономическую оценку будем проводить
следующим показателям: годовой экономический эффект, срок окупаемости
дополнительных капиталовложений и верхний предел цены новой техники [17].
Для проведения экономической оценки расчета использовали формулы, которые
представлены в рекомендациях и ГОСТ 53056 [17, 39].

В таблице 4.2 приведены данные, полученные расчетом на основании
известных методик [45, 46, 87]. Экономические показатели по технике
кормоизмельчения определяют в расчете на 1 т.

Затраты труда на единицу *i*-го вида работы $Z_{тpи}$, чел.-ч/ед. наработки
вычисляют по формуле:

$$Z_{тpи} = \frac{\lambda_{мexi}}{W_{cmi}} \quad (4.1)$$

где $\lambda_{\text{мех}i}$ – количество основного и вспомогательного персонала; $W_{\text{см}i}$ – производительность кормоизмельчителя

Прямые эксплуатационные затраты денежных средств, приходящие на получение 1 тонны корма $Z_{\text{экс}i}$ определяются по формуле:

$$Z_{\text{экс}i} = Z_{\text{от}i} + Z_{\text{эл}} + Z_{\text{р}i} + A_i + I_{\text{вм}i} \quad (4.2)$$

$Z_{\text{от}i}$ – затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала, руб/1 т корма; $Z_{\text{эл}}$ – затраты денежных средств на оплату электроэнергии, руб/1 т корма; $Z_{\text{р}i}$ – затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание, руб/1 т корма; A_i – амортизационные отчисления, руб/1 т корма; $I_{\text{вм}i}$ – издержки денежных средств на вспомогательные технические материалы, руб/1 т корма

Затраты денежных средств на оплату труда обслуживающего персонала $Z_{\text{от}i}$ вычисляют по формуле:

$$Z_{\text{от}i} = \frac{\sum_{k=1}^{n_{\text{мех}}} \lambda_k \tau_k K_3}{W_{\text{см}}} \quad (4.3)$$

λ_k – количество обслуживающего персонала k -й квалификации, чел; τ_k – часовая оплата труда обслуживающего персонала k -й квалификации, руб/чел.-ч; K_3 – коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством РФ; $n_{\text{мех}}$ – число обслуживающего персонала, чел.

Затраты денежных средств на оплату электроэнергии вычисляют по формуле:

$$Z_{\text{эл}} = g_{\text{эл}} \Pi_{\text{эл}} K_{\text{см.м}} \quad (4.4)$$

$g_{\text{эл}}$ – удельный расход электроэнергии, кВт·ч/1 т корма; $\Pi_{\text{эл}}$ – цена электроэнергии, руб/кВт·ч; $K_{\text{см.м}}$ – коэффициент учета цены смазочных материалов

Затраты денежных средств на ремонт и техническое обслуживание техники $Z_{\text{р}i}$ вычисляют по формуле:

$$Z_{\text{р}i} = \frac{\sum_{i=1}^{n_{\text{м}}} B_{\text{м}} K_{\text{р}}}{W_{\text{эк}}} \quad (4.5)$$

n_m – число техники, входящей в МТА, шт; B_m – цена техники (без НДС), руб; K_p – значение отчислений на ремонт и ТО от цены техники на 100 ч ее работы, принятый в РФ, %; $W_{эк}$ – производительность j -й техники на i -м виде работы за 1 ч эксплуатационного времени, 1 т корма

Производительность j -й техники на i -м виде работы за 1 ч эксплуатационного времени $W_{эк}$ вычисляют по формуле:

$$W_{эк} = W_{0i} \left(\frac{1}{K_{cmi}} + \frac{1}{K_{ri}} - 1 \right)^{-1} \quad (4.6)$$

W_{0i} – производительность j -й техники за 1 ч основного времени за период контрольных смен, 1 т. корма; K_{cmi} – коэффициент использования сменного времени j -й техникой за период контрольных смен; K_{ri} – коэффициент готовности j -й техники по оперативному времени

Амортизационные отчисления A_i вычисляют по формуле

$$A_i = \frac{1}{W_{эк}} \sum_{i=1}^{n_m} \frac{B_m}{R_m} \quad (4.7)$$

R_m – значение амортизационного ресурса j -й техники, ч

Издержки денежных средств на вспомогательные технологические материалы вычисляют по формуле:

$$I_{вм} = \sum_{f=1}^{n_{вм}} g_f \Pi_{вмf} \quad (4.8)$$

g_f – удельный расход f -го вспомогательного технологического материала, шт; $\Pi_{вмf}$ – цена единицы f -го вспомогательного технологического материала, руб/шт; $n_{вм}$ – число наименований вспомогательных материалов, шт

Годовую экономию совокупных затрат денежных средств в расчете на годовой условный объем i -го вида работы, руб, вычисляют по формуле:

$$\mathcal{E}_{гр} = \mathcal{Z}_{сов.тех}^{га} - \mathcal{Z}_{сов.тех}^{гн} \quad (4.9)$$

$\mathcal{Z}_{сов.тех}^{га}$, $\mathcal{Z}_{сов.тех}^{гн}$ – совокупные затраты денежных средств в расчете на годовой условный объем i -й работы по аналогу и новой технике соответственно, руб.

Снижение себестоимости выполнения i -й работы, %, вычисляют по формуле:

$$m_c = \frac{З_{сов.тех}^{ГН} - З_{сов.тех}^{Га}}{З_{сов.тех}^{Га}} 100 \quad (4.10)$$

Срок окупаемости капиталовложений j -й техники для выполнения годового условного объема i -го вида работы, лет, вычисляют по формуле:

$$S_K^H = \frac{F_y^H N_{Г.М}}{W_{ст}^H \Delta_{Гр}} \left(\frac{B_{3Н}^H}{R_{3Н}^H} + \frac{B_{схт}^H}{R_{схт}^H} n_{схм} \right) \quad (4.11)$$

$W_{ст}^H$ – производительность новой j -ой техники на i -м виде работы за 1 ч сменного времени, 1 т/ч; $B_{3Н}^H$ – цена нового энергосредства, руб; $B_{схт}^H$ – цена новой сельхозмашины, руб; $R_{3Н}^H$ – амортизационный ресурс нового энергосредства, ч; $R_{схт}^H$ – амортизационный ресурс новой сельхозмашины, ч

Затраты труда на приготовление 1 т корма определяется по формуле:

$$ЗТ = T_K / W_{год} = 1200 / 450 = 2,7 \text{ чел. ч/т} \quad (4.12)$$

где $W_{год}$ – годовой объем приготовления кормов, т;

$$W_{год} = q \cdot N \cdot D_c = 0,009 \cdot 300 \cdot 250 = 450 \text{ т}$$

где q – суточная дача корма одному животному, т; N – поголовье скота, гол.; D_c – стойловый период, дней.

Затраты на приготовление 1 т корма базовым комплектом определяются по формуле:

$$И_{зб} = И_б / W_{год} = 335811 / 450 = 746 \text{ руб./т}; \quad (4.13)$$

Затраты на 1 т корма предлагаемым комплектом определяются:

$$И_{зн} = 235903 / 450 = 524 \text{ руб./т} \quad (4.14)$$

Удельные капиталовложения определяются:

$$K_{удн} = 475000 / 450 = 1055,5 \text{ руб./т} \quad (4.15)$$

Годовая экономия эксплуатационных издержек определится:

$$З_и = (И_{зб} - И_{зн}) \cdot W_{год}, \text{ руб.} \quad (4.16)$$

$$З_и = (746 - 524) \cdot 450 = 99900 \text{ руб.} \quad (4.17)$$

Приведенные затраты определяются по формуле:

$$ПЗ = И_н + E_n \cdot K_{уд}, \text{ руб./т} \quad (4.18)$$

где E_n – нормативный коэффициент, $E_n = 0,15$

$$ПЗ_б = 746 + 0,15 \cdot 1445 = 963 \text{ руб./т}$$

$$ПЗ_н = 524 + 0,15 \cdot 1055,5 = 682 \text{ руб./т} \quad (4.19)$$

Годовой экономический эффект определяются:

$$\text{Эг} = (\text{ПЗ}_6 - \text{ПЗ}_н) \cdot \text{W}_{\text{год}}, \text{ руб.} \quad (4.20)$$

$$\text{Эг} = (963 - 682) \cdot 450 = 126450 \text{ руб.}$$

Таблица 4.2 – Показатели экономической оценки кормоизмельчения

Наименование показателя	Единица измерения	Значение показателя по	
		аналогу	новой технике
Вид механизированной работы		Измельчение кормов	Измельчение кормов
Марка техники		КР-02	Кормораздатчик-измельчитель молотково-сегментного типа
Производительность	т/ч	0,25	0,3
Удельный расход электроэнергии	кВт·ч/1 т корма	21,0	14,7
Совокупные затраты денежных средств всего	руб/1 т корма	223,87	128,82
Затраты на оплату труда	руб/1 т корма	120	60
Затраты на электроэнергию	руб/1 т корма	88,2	90
Затраты на ремонт и ТО	Руб	5146	2822
Амортизационные отчисления	Руб	4340	2380
Затраты на вспомогательные материалы	руб/1 т корма	4,0	4,0
Затраты труда	чел.-ч/1 т корма	4	3,3

Таблица 4.3 – Показатели ресурсосбережения

Наименование показателя	Значение показателя по	
	аналогу	новой технике
Совокупные затраты денежных средств на годовой фактический объем работы новой техники, руб	81712,55	47019,30
Годовой условный объем измельчения корма, т	450	450
Совокупные затраты денежных средств на годовой условный объем работы новой техники, руб	81712,55	47019,30
Потребность в капиталовложениях, руб	30000	17000
Потребность в обслуживающем персонале, чел	2	2
Потребность в электроэнергии, кВт·ч	5475,0	5366,0

Таблица 4.4 – Показатели сравнительной экономической эффективности на условный объем измельчения кормов

Наименование показателя	Значение показателя по новой технике
Годовая экономия совокупных затрат денежных средств, руб.	34693,25
Снижение себестоимости выполнения работы, %	32,46
Срок окупаемости капиталовложений, лет	0,6
Снижение потребности в обслуживающем персонале, %	-
Снижение потребности в электроэнергии, %	29,5

При этом источником получения экономического эффекта является снижение материалоемкости и энергоемкости.

Лимитную цену определим по выражению:

$$C_{л} = \frac{0,8 \cdot C_{1Б} \cdot E \frac{b_2}{b_1} \cdot (P_1 + E_H) + b_1 \cdot (I_1 - I_2)}{(P_2 + E_H)} \quad (4.21)$$

где $C_{1Б}$ – оптовая цена базовых технических средств; b_1, b_2 – годовой объем работ по предлагаемому и базовому вариантам; P_1, P_2 – доля отчислений от балансовой стоимости машин базового и предлагаемого вариантов; E – коэффициент перевода оптовой цены в балансовую стоимость; I_1, I_2 – издержки потребителя по базовому и предлагаемому вариантам.

При годовом объеме работ

$$G_{\text{год}} = 2000 \cdot 9 \cdot 250 = 450 \text{ тонн/год}$$

Таблица 4.5 – Расчет затрат на амортизацию и текущий ремонт по базовому и предлагаемому вариантам

Оборудование	Количество	Стоимость, руб.	Отчисления на амортизацию, %	Отчисления на текущий ремонт, %	Сумма амортизационных отчислений, руб.	Сумма затрат на текущий ремонт, руб.
Базовый вариант						
Трактор типа МТЗ-80	1	950000	15	22	142500	209000
Погрузчик типа ПЭ-0,8Б	1	450000	14,2	14	63900	63000
Измельчитель типа КР-02	1	37000	16,6	14	6142	5180
Раздатчик типа РСР-10	1	470000	16,6	14	78020	65800
Итого		1907000			290562	342980
Предлагаемый вариант						
Трактор типа МТЗ-80	1	950000	15	22	142500	209000
Погрузчик типа ПЭ-0,8Б	1	450000	14,2	14	63900	63000
Измельчитель молотково-сегментного типа	1	25000	16,6	14	4150	3500
Раздатчик типа РСК-2,8	1	350000	16,6	14	58100	49000
Итого		1775000			268650	324500

Проведя анализ результатов расчетов экономической эффективности внедрения в производство измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа экономия совокупных затрат денежных средств составит 77 руб/т., что позволяет получить годовой экономический эффект в размере 34 тыс. руб. на один комплект оборудования при его нормативной загрузке. При этом дополнительные капиталовложения в размере 17 тыс. руб. окупятся за 0,6 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги выполненного исследования

1. На основании проведенного анализа тенденций развития технических средств измельчения стебельных кормов, применимых в хозяйствах малых форм собственности, усовершенствована классификация измельчителей кормов, которая позволила наметить перспективные направления в разработке конструктивно-технологической схемы измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа. Новизна технических решений подтверждена патентом РФ на изобретение № 2639326.

2. В результате проведенного теоретического анализа технологического процесса измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа определены аналитические выражения, которые позволили определить конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов, влияющие на энергоемкость: линейную скорость молотков (v), диаметр барабана (b), с учетом массы подаваемого материала (m) и коэффициентом упругости корма (k), число рядов молотков (n).

3. Теоретическими исследованиями установлены рациональные конструктивно-технологические параметры измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа: линейная скорость молотков $v = 100$ м/с, влажность материала $W = 14$ %; диаметр отверстий сепарирующей решета $d = 1,5$ см; число рядов молотков $n = 4$, диаметр барабана $b = 0,3$ м, коэффициент упругости корма $k = 0,07$, постоянный коэффициент работы, затрачиваемой на образование новых поверхностей $C = 0,23$ Удельная энергоемкость технологического процесса составляет от 0,425 до 0,475 кВт·ч/кг.

4. В результате экспериментальных исследований процесса измельчения стебельных кормов измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа определено, что основными факторами, влияющим на удельную энергоемкость и модуль помола, являются линейная скорость

молотков v ; влажность материала W ; диаметр отверстий сепарирующего решета d ; число рядов молотков n .

Рациональными конструктивно-технологическими параметрами при которых удельная энергоемкость составляет от 0,425 до 0,475 кВт·ч/кг, а модуль помола 1,3 мм являются: линейная скорость молотков $v = 95 - 115$ м/с; влажность материала $W = 14\%$; диаметр отверстий сепарирующего решета $d = 1,5$ мм; число рядов молотков $n = 4$.

Сходимость теоретических и экспериментальных результатов составляет 94-95,5 %.

5. Реализация предлагаемого измельчителя стебельных кормов в прессованном виде в сравнении с существующим КР-02 позволяет снизить удельные энергозатраты на 29,5 % и получить годовой экономический эффект в сумме 34000 рублей. Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений составляет 0,6 года.

Рекомендации производству

Предложенная в работе конструктивно-технологическая схема измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа, а также параметры его рабочих органов могут быть использованы конструкторскими организациями при разработке технических средств для механизации животноводства в условиях МФХ.

Перспективы дальнейшей разработки темы

Перспективным направлением совершенствования измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа является перевод его на мобильную основу, с разработкой в нем устройств для самозагрузки материала в бункер измельчителя и регулировки длины фракций измельченного материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. - М. : Наука, 1976.- 280 с.
2. Алешкин В. Р., Рошин Н. М. Механизация животноводства / В.Р. Алешкин, Н.М. Рошин. - М.: Агропромиздат, 1985. -346 с.
3. Алешкин В.Р. Повышение эффективности процесса и технических средств механизации измельчения кормов: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01/ Алешкин Владимир Романович: - Санкт-Петербург-Пушкин, 1995. -38 с.
4. Алешкин, В. Г. Измельчитель грубых кормов / В.Г. Алешкин, В.Г. Мохнаткин // Механизация и электрификация сельского хозяйства. -1989.- № 11-С. 41-42.
5. Башков А.Ф. Обоснование параметров и совершенствование рабочих органов двухроторного измельчителя грубых кормов открытого типа: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01/ Башков Александр Федорович: - Рязань, 1985. -17 с.
6. Безин, А. С. Измельчение грубых кормов / А.С. Безин, Р.П. Пацер, Е.И. Резник // Механизация и электрификация сельского хозяйства. - 1985.-№ 9 - С. 45-47.
7. Белянчиков Н. Н., Смирнов А. И. Механизация животноводства / Н.Н. Белянчиков, А.И. Смирнов - М.: Колос, 1983,- 360 с.
8. Веденяпин Г.В. Тяговые расчеты машинно-тракторного парка: [Учебное пособие для фак. механизации с.-х.] / Г. В. Веденяпин; Сталинградский с.-х. ин-т. - Сталинград: [б. и.], 1951. - VI.
9. Гарбарец, Б. В. Измельчение кормов животного происхождения / Б. В. Гарбарец. – Магадан: Магаданское кн. изд-во, 1968. – 55 с
10. Горячкин, В. П. Земледельческие машины и орудия / В. П. Горячкин. - М. : Кн-во студентов Петров. с.-х. акад., 1923. - 181 с. : ил., табл., черт.

11. Горячкин В. П. Теория соломорезки и силосорезки. Собрание сочинений / В.П. Горячкин .- М.: Колос, 1968.- Т.1.-508 с.
12. ГОСТ Р. 54783-2011. Испытания сельскохозяйственной техники. Основные положения [Текст]. – Введ. 2011–12–13. – М. : Изд-во стандартов, 2012. – 23 с.
13. ГОСТ 53056-2008. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки [Текст]. – Введ. 2009–01–01. – М. : Изд-во стандартов, 2009. – 20 с
14. Дегтерев Г. П. Справочник по машинам и оборудованию для животноводства / Г.П. Дегтерев (2-е изд., перераб. и доп.) - М.: Агропромиздат, 1986. - 224 с., илл.
15. Дегтерев Г.П. Технологии и средства механизации животноводства: учебное пособие / Г.П. Дегтерев. - М.: Столичная ярмарка, 2010.-384 с.
16. Доценко, С.М. Раздатчик-измельчитель грубых кормов / С.М. Доценко, В.Ю. Фролов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1989.- №3 С. 56.
17. Желиговский В.А. Экспериментальная теория резания лезвием / В.А. Желиговский. – М, 1941. – 27 с
18. Завалишин Ф. С., Манцев М. Г. Методы исследования по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Манцев - М.: Колос, 1982. - 231 с.
19. Завражнов А. И. Технологическое проектирование ферм и комплексов./ А.И. Завражнов. - Алма-Ата.: Казнар. 1982.- 282 с.
20. Завражнов А. И., Николаев Д. И. Механизация приготовления и хранения кормов / А.И. Завражнов А. И., Д.И. Николаев - М.: Агропромиздат, 1990.- 335 с.
21. Зингашин Б.Г. Повышение эффективности технических средств приготовления кормов в животноводстве на основе расширения технологических возможностей измельчителей: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01/ Зингашин Булат Гусманович: - Казань, 2004. -33 с.

22. Измельчитель-смеситель кормов Trioliet Solomix 1,5 ZK // <https://agroservers.ru/> URL <https://agroservers.ru/b/smesitel-kormorazdatчик-trioliet-solomix-1-5zk-668732.htm>
23. Какабаев Овезгелди Повышение эффективности работы измельчителя-смесителя кормов: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01/ Какабаев Овезгелди: - Саратов, 1992. -24 с.
24. Карпом А.М., Сулима М.А. Новый метод оценки качества измельчения стебельчатых кормов. Записки. Ленинградский СХИ. - Л.: Колос, 1967.
25. Каталог инновационных проектов // <https://kubsau.ru/> URL: https://kubsau.ru/science/office_science_and_innovation/department-of-strategy-of-science/innovative-projects/ (дата обращения 10.01.2016).
26. Коваленко В.П. Механизация технологических процессов в животноводстве / В.П. Коваленко, И.М. Петренко. - Краснодар. Агропромполиграфист, 2013. – 348 с.
27. Коваленко В.П. Механизация молочных ферм / В.П. Коваленко, И.М. Петренко. - Краснодар. КубГАУ, 2013. – 348 с.
28. Коваленко В.П. и др. Механизация животноводства: учеб. пособие / В.П. Коваленко, В.Ю. Фролов, Т.А. Сторожук, Д.П. Сысоев. – Краснодар, 2012. – 190 с.
29. Корбанев С.В. Совершенствование процесса смешивания кормов и обоснование параметров измельчителя-смесителя: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01/ Корбанев Сергей Владимирович: - Благовещенск, 1999. -20 с.
30. Кормораздатчик КТ-6 // <https://rosagro2010.ru/> URL: <https://rosagro2010.ru/kt-6>
31. Кормораздатчик КРФ-10 // <http://www.belrusagro.com> URL <http://www.belrusagro.com/techno/catalog/537/407/>
32. Короткий В.П. Хвойная энергетическая добавка – источник энергии и биологически активных веществ в рационах коров / В.П. Короткий, Н.В.

Боголюбова, Е.С. Рыжова, В.А. Рыжов // АПК News, 2018 - <https://apknews.su/article/213/1621/>

33. Косолапов, Е.В. Совершенствование и повышение эффективности технологического процесса приготовления и раздачи грубых кормов на фермах крупного рогатого скота / П.Н. Солонщиков, Е.В. Косолапов // Вестник НГИЭИ.- 2018.- №5(84).- С.54-66.

34. Кузнецов В.И. Оптимизация параметров измельчителя стебельных кормов с рабочим органом молотково-сегментного типа / Кузнецов В.И., Морозова Н.Ю., Фаршанев С.П., Фролов В.Ю. // Вестник НГИЭИ. – 2019. - №10

35. Кукта Г.М. Машины и оборудование для приготовления кормов / Г. М. Кукта. - М. : Агропромиздат, 1987. - 302

36. Кулаковский И.В. и др. Машины и оборудование для приготовления кормов. Ч.II: Справочник/ И.В. Кулаковский, Ф.С. Кирпичников, Е.И. Резник. - М.: Росагропромиздат , 1988.-286 с.: ил.

37. Лебедев, А.Т. Ресурсосберегающие направления повышения надежности и эффективности технологических процессов в АПК: монография / Ставрополь.-2012.-376 с.

38. Леонтьев П. И. и др. Технологическое оборудование кормоцехов / П.И. Леонтьев и др. - М.: Колос, 1984.- 157 с., илл.

39. Матусевич Б. Е. Машины и оборудование ферм для откорма крупного рогатого скота / Б.Е. Матусевич. - М.: Россельхозиздат, 1983.- 63 с.

40. Мейлахс И.И. Показатель оптимизации кормоизмельчающих аппаратов. Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1975, № I, с. 15-17.

41. Мельников С. В. Поточные линии в животноводстве и кормопроизводстве: Учебное пособие для слушателей ФПК/ С.В. Мельников. - Л.: СХИ, 1981.- 46 с.

42. Мельников С. В. Технологическое оборудование животноводческих ферм и комплексов. - 2-е изд., перераб., доп./ С.В. Мельников. - Л.: Агропромиздат. Ленингр. Отд-ние, 1985.- 640 с.

43. Мельников С. В. и др. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. /С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. - 2-е изд., перераб, и доп. -Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1980. - 168 с, илл.

44. Методика определения экономической эффективности использования в сельском хозяйстве результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. - М.: ВНИИВИ, 1983,- 150 с.

45. Методика экономической оценки технологий и машин в сельском хозяйстве. Под ред. Драгайцева В.И. Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства.- Москва, 2010, -146 с.

46. Методические рекомендации по расчету и проектированию технологического и машинного переоснащения предприятий по производству молока и говядины // file:///L:/Vinnikov_Recomendacii_2009.pdf (дата обращения 27.06.2018).

47. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений / А. К. Митропольский. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Наука, 1971. - 576 с

48. Морозова Н.Ю. Применение кормораздатчика «ПИСК-12» на молочной ферме / Морозова Н.Ю., Белик А.В./ Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 71-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2015 год. – Краснодар: КубГАУ, 2016. С. 190-193.

49. Морозова Н.Ю. Технологический процесс раздачи кормов / Морозова Н.Ю., Гаврилов М.Д. / Новая наука: Стратегии и векторы развития. – 2016. - № 5-2 (82). С. 162-164.

50. Морозова Н.Ю. Оборудование измельчения грубых кормов / Морозова Н.Ю., Сысоев Д.П., Касимов А.С./ Новая наука: опыт, традиции, инновации. – 2016. - №6-1 (89). С. 20-23.

51. Морозова Н.Ю. Обзор патентов средств раздачи кормов на фермах / Морозова Н.Ю., Белик А.В. / Новая наука: опыт, традиции, инновации. – 2016. - №6-1 (89). С. 41-43.

52. Морозова Н.Ю. К вопросу обоснования конструктивно-режимных параметров рабочего органа молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю., Сысоев Д.П. / Инновационные энерго-ресурсосберегающие технологии и техника 21 века. Материалы Всероссийской молодежной научной конференции. – 2017. С. 103-105.

53. Морозова Н.Ю. Обоснование технологического процесса кормораздатчика-измельчителя стебельных кормов молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. / Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 72-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2016 год. – 2017. С. 208-210.

54. Морозова Н.Ю. Измельчитель стебельных кормов молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. / Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам XI Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 95-летию Кубанского ГАУ и 80-летию со дня образования Краснодарского края. – 2017. С. 412-413.

55. Морозова Н.Ю. Классификация молотковых дробилок / Морозова Н.Ю., Хижняков Е.Н., Фролов В.Ю. / Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И.С. Косенко. – 2017. С. 596-597.

56. Морозова Н.Ю. Инновационная техника для раздачи кормов / Морозова Н.Ю., Ботошан Р.В., Военушкин А.В. / Новая наука: техника и технологии. – 2017. - № 3. С. 37-39.

57. Морозова Н.Ю. Обоснование технологического процесса измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. / В книге: Инновационные технологии отечественной селекции и семеноводства. Сборник тезисов по материалам II научно-практической конференции молодых ученых Всероссийского форума по селекции и семеноводству. – 2018. С. 138-140.

58. Морозова Н.Ю. Анализ факторов, влияющих на процесс измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Морозова

Н.Ю., Фролов В.Ю. / Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам 73-й научно-практической конференции студентов по итогам НИР за 2017 год. – 2018. С. 389-391.

59. Морозова Н.Ю. Оптимизация конструктивно-режимных параметров измельчителя стебельных кормов молотково-сегментного типа / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. / Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам Международной конференции. – 2018. С. 69.

60. Морозова Н.Ю. Рабочие органы кормораздатчика-измельчителя / Фролов В.Ю., Кузнецов В.И., Морозова Н.Ю. / Институциональные преобразования АПК России в условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам II Международной конференции. – 2018. С. 72.

61. Морозова Н.Ю. Раздатчик-измельчитель грубых кормов / Морозова Н.Ю., Фролов В.Ю. / Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. – 2018. С. 74.

62. Морозова Н.Ю. К вопросу снижения энергоемкости раздатчика-измельчителя при подготовке стебельных кормов к скармливанию / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. / Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. – 2018. – С. 76.

63. Морозова Н.Ю. Обоснование технологического процесса измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. / Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2018. Т.2 - №2. С. 149-151.

64. Морозова Н.Ю. Измельчитель стебельчатых кормов / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. / Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Сборник тезисов по материалам III Национальной конференции. / 2019. С. 100.

65. Морозова Н.Ю. Экспериментальные аспекты процесса измельчения стебельных кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю., Лонгве К.Д. / Институциональные преобразования АПК России в

условиях глобальных вызовов. Сборник тезисов по материалам III Международной конференции. 2019. С. 110.

66. Морозова Н.Ю. Подготовка кормов в фермерском хозяйстве / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. / Научно-технологическое обеспечение агропромышленного комплекса России: проблемы и решения. Сборник тезисов по материалам IV Национальной конференции. 2019. С. 84.

67. Морозова Н.Ю. Эксплуатация раздатчиков кормов на фермах Кубани / Морозова Н.Ю., Сивовалов Е.М. / Проблемы развития технического потенциала и направления его повышения. Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 90-92.

68. Морозова Н.Ю. Механизации процессов раздачи кормов на малых фермах крупного рогатого скота / Морозова Н.Ю., Сивовалов Е.М. / Динамика взаимоотношений различных областей науки в современных условиях. Сборник статей Международной научно-практической конференции. 2019. С. 109-111.

69. Морозова Н.Ю. К вопросу механизации технологического процесса приготовления кормов на предприятиях малых форм хозяйствования / Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю./ Эффективное животноводство. - 2019. № 3 (151). С. 62-63.

70. Морозова Н.Ю. Теоретические аспекты процесса измельчения кормов рабочим органом молотково-сегментного типа / Фролов В.Ю., Кузнецов В.И., Морозова Н.Ю., Виноградов А.В./ Сельский механизатор. – 2019. №6. С.22-23.

71. Мохнаткин В. Г. Совершенствование конструкций и оптимизация параметров измельчителей грубых кормов для поточных линий кормоперерабатывающих предприятий: автореф. дис. ...канд. техн. наук 05.20.01 Мохнаткин Владимир Григорьевич. - Киров, 1986.-25 с.

72. Назаров С. И. и др. Измельчитель тюков. Описание изобретения к а. с. N 912113. - Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки. Официальный бюлл. Госкомизобретений. ЦНИИПИ, 1982, № 39.

73. Новая техника для агропромышленного комплекса. - М.:Информагротех., 1994,- 316 с.

74. Организация производства и предпринимательской деятельности в АПК: [Текст] учебник / В. И. Нечаев, П. Ф. Парамонов. – Краснодар.: КубГАУ, 2007 – 466 с

75. Оськин С.В. Автоматизированный электропривод Учебное пособие / С.В. Оськин. - М: СХИ, 2014.- 346 с.

76. Пат. 2639326 Российская Федерация МПК А01F 29/00 Кормораздатчик-измельчитель [Текст] / Фролов В.Ю., Сысоев Д.П., Морозова Н.Д., Морозова Н.Ю.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина" № 2017105954/17; заявл. 21.02.2017; опуб. 21.12.2017, Бюл. № 36.

77. Пат. 2490880 Российская Федерация МПК А01F 29/00.Раздатчик-измельчитель стебельчатого корма [Текст] / Н.В. Повалихин, В.К. Скоркин, В.Н. Кустова; заявитель и патентообладатель Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт механизации животноводства Российской академии сельскохозяйственных наук (ГНУ ВНИИМЖ Россельхозакадемии). № 2012107556/13; заявл. 28.02.2012; опуб.27.08.2013, Бюл.№24. С. 3.

78. Пат. 2311752 Российская Федерация МПК А01F 29/00.Измельчитель-раздатчик стебельчатых материалов [Текст] /В.И. Стяжкин; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью Научно-технический центр "ФЕРММАШ" (ООО "НТЦ ФЕРММАШ"). № 2005127452/12,; заявл. 28.02.2012; опуб. 10.12.2007 Бюл. № 34. С. 3.

79. Пат. 2114525 Российская Федерация МПК А01F 29/00. Измельчитель кормов [Текст] / М.А. Тищенко, А.Г. Сергиенко, В.И. Суворов; заявитель и патентообладатель Всероссийский научно-исследовательский и проектно-технологический институт механизации и электрификации сельского хозяйства. № 95117272/13; заявл. 10.10.1995; опуб. 10.07.1998. С. 3.

80. Пат. 163827 Российская Федерация МПК А01F 29/00.Режущий сегмент измельчителя кормов [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И.

Туманова и другие; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №2015154361/13; заявл.17.12.2015; опуб.10.08.2016, Бюл.№22.

81. Пат.2542120 Российская Федерация МПК А01К 5/02.Раздатчик-измельчитель рулонных тюков [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Кубанский ГАУ. №2013147262/13; заявл.22.10.2013; опуб.20.02.2015, Бюл.№5. С. 3.

82. Пахомов В.И. и др. Проектирование и расчет технологических линий подготовки и раздачи кормосмесей дифференцированного состава многофункциональными агрегатами. Изд. 2-е, перераб. и доп. Зерноград: ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакад., 2013,219 с.

83. Переверзев И.А. Характеристика основных объектов электропотребления в сельскохозяйственном производстве //Переверзев И.А., Султанов Г.А//Новые технологии №3, 2013, с 78-85.

84. Постановление главы администрации (губернатора) Краснодарского края от 05.10.2015 N 944 "Об утверждении государственной программы Краснодарского края "Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия" // <http://www.consultant.ru/> /URL: <http://www.consultant.ru/regbase/cgi/online.cgi?req=doc&base=RLAW177&n=140195&dst=107591#09658959824587199> (дата обращения: 05.10.17).

85. Пospelов В. Г. и др. Анализ эффективности средств механизации технологических линий на откормочных площадках крупного рогатого скота на 20 тыс. голов/ В.Г. Пospelов и другие // Пути совершенствования механизации животноводства. Сб. научн. тр. ВНИПТИМЭСХ. Зерноград, 1981, с. 3-12.

86. Проблемы комплексной механизации производства, приготовления и раздачи кормов: // Сб. научн. тр. / ВНИПТИМЭСХ: Редкол. М. С. Рунчев, Э. И. Липкович, В. П. Коваленко и др. Зерноград. 1984, с. 169, илл.

87. Протождьяконов М.М., Тедер Р.И. Методика рационального планирования экспериментов. – М.: Наука, 1970. – 76 с.

88. Ревенко, И. И. Оценка качества работы машин для измельчения кормов И.И. Ревенко и др. // Сб. научн. тр. /Всесоюзн. н.-иссл. ин-т мех. жив.-ВНИИМЖ, 1981.- С. 215-230.
89. Резник Н.Е. Теория резания лезвием и основы расчета режущих аппаратов /Н.Е. Резник. - М.: Россельхозиздат, 1975.-230 с.
90. Резник Е.Н. Машины и оборудование для обработки грубых кормов (Библиотечка механизатора-животновода).М.:Россельхозиздат,1984.- С.12-13.
91. Резник Е.И. и др. Предпосылки к разработке погрузчика-измельчителя грубых кормов с повышенной степенью измельчения. - Тезисы научно-технической конференции ВНИИКОМЖ. М.: ОНТИ, 1982, с. 53.
92. Резник Е. И., Алябьев Е. В. Механизация приготовления кормов на животноводческих фермах и комплексах / Е.И. Резник, Е.В. Алябьев - М.: ВНИИТЭИСХ, 1983.- 60 с.
93. Резник Е. И. Малым фермам - совершенную кормоприготовительную технику / Е.И. Резник //Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1986.- № 8.- с.16
94. Резник, Е. И. Основные тенденции развития конструкций бункерных измельчителей кормов / Е.И. Резник //Тракторы и сельскохозяйственные машины.- 1985.- N 6.- С. 51-55.
95. Резник, Е. И. Оценка качества измельчения грубых кормов / Е.И. Резник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. -1987. -№4, с. 28-29.
96. Резник Е. И. Универсальная техника для обработки кормов / Е.И. Резник // Кормопроизводство.- 1986.-№5.- С. 40-44.
97. Рыжков С. В. Комплект оборудования кормоцеха КОРК-15 / С.В. Рыжков - М.: Агропромиздат, 1985. -128 с.
98. Рыжков С. В. Механизация переработки соломы на корм / С.В. Рыжков - М.: Колос, 1983.- 234 с.
99. Сергиенко А.Г. Совершенствование процесса подготовки грубых кормов и подстилки измельчителем с наклонным вращающимся бункером:

автореф. дис. ... канд.тех.наук: 05.20.01/ Сергиенко Александр Григорьевич.-
Зерноград, 2001.-19 с.

100. Сарбатова Н.Ю. Совершенствование процесса приготовления и
раздачи грубых кормов рулонной заготовки: автореф. дис. ... канд.тех.наук:
05.20.01/ Сарбатова Наталья Юрьевна.- Нальчик, 2006.-22 с.

101. Скоркин В.К., Результаты исследований многофункционального
измельчителя-раздатчика кормов / В.К. Скоркин, В.П. Карпов, Н.В. ПОВАЛИХИН,
В.П. Аксенова, О.Л. Андрухина, Т.Н. Колесникова. – Вестник Всероссийского
научно-исследовательского института механизации животноводства, 2012. - №2
(6). С. 156-163.

102. СТО АИСТ 19.2-2008 Сельскохозяйственная техника. Машины и
оборудование для приготовления кормов. Порядок определения функциональных
показателей. – Мн: Минсельхозпрод, 2010. –Введ. 10.12.2010г. – 48 с.

103. Сыроватка В. И., Демин, А. В. Джалилов А. Х. Механизация
приготовления кормов / В.И. Сыроватка, А.В. Демин, А. Х. Джалилов - М.:
Агропромиздат, 1985.- 340 с.

104. Совершенствование технологий и технических средств производства
в животноводстве. - Сборник научных трудов. - Зерноград. ВНИПТИМЭЭСХ.
1988.- 220 с.

105. Стратегия социально-экономического развития до 2020 года //
[URL:http://2020strategy.ru/data/2012/03/14/1214585998/1itog.pdf](http://2020strategy.ru/data/2012/03/14/1214585998/1itog.pdf) (дата обращения
15.11.16).

106. Сысоев Д.П. Параметры раздатчика-смесителя кормов для малых
ферм крупного рогатого скота: автореф. дис. ... канд.тех.наук: 05.20.01/ Сысоев
Денис Петрович.- Ростов-на Дону, 2011.-25 с.

107. Тареев Г.М. Классификация и анализ измельчающих аппаратов
кормоуборочных машин / Г.М. Тареев – Саратов: Труды, 1982.-236 с.

108. Текучев И. К. Принципы создания новой техники для молочного
скотоводства // МЭСХ №8-2002, Всероссийский НИИМЖ.

109. Технологические линии и оборудование для приготовления кормов в хозяйствах. - М.: Информагротех, 1992, -52 с.

110. Тимофеев М.Н. Анализ технических средств для измельчения кормов и их классификация / Тимофеев М.Н., Фролов В.Ю., Морозова Н.Ю. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. - №132.

111. Трубилин, Е.И., Белоусов, С.В., Лепшина, А.И. Экономическая эффективность отвальной обработки почвы разработанным комбинированным лемешным плугом. / Е.И. Трубилин, С.В. Белоусов, А.И. Лепшина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №103. С. 35 – 39. – IDA [article ID]: 1031409040. – Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2014/09/pdf/40.pdf>

112. Туманова М.И. Совершенствование измельчающих рабочих органов машин по приготовлению и раздаче кормов [Текст] // Молодой ученый.- 2016. № 1 (105). - С.279-282.

113. Туманова, М.И., Сысоев, Д.П., Фролов, В.Ю., Повышение эффективности процесса измельчения грубых кормов / М.И Туманова, Д.П. Сысоев, В.Ю. Фролов // В сборнике: Инновационная деятельность в модернизации АПК материалы Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 частях. 2017. С. 376-378.

114. Тупицын В.Е., Обоснование параметров и режимов работы мобильного измельчителя-раздатчика грубых корм с ножевым барабаном: автореферат дис. к.т.н.: 05.20.01. – Киров, 2007. – 22 с.

115. Федоренко И.Я., Садов В.В. Ресурсосберегающие технологии и оборудование в животноводстве: учебное пособие /И.Я. Федоренко, В.В. Садов.- СПб: «Лань», 2012. -296 с.

116. Федоренко И.Я., Садов В.В. Техника и технологии в животноводстве учебное пособие /И.Я. Федоренко, В.В. Садов.- Барнаул: АГАУ, 2014. -214 с.

117. Фицев А. И., Воронкова Ф. В. Современные тенденции в развитии кормопроизводства / А.И. Фицев, Ф.В. Воронков - М.: Информагротех, 1994.- 12с.

118. Фоменко, Д.П. Аналитические зависимости, полученные в результате исследований и их анализ / Д.П. Фоменко, М.И. Туманова // В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Сборник статей по материалам X Всероссийской конференции молодых ученых, посвященной 120-летию И. С. Косенко. Отв. за вып. А. Г. Кощяев. 2017. С. 644-645.

119. Фролов В.Ю., Коваленко В.П., Сысоев Д.П. «Комплексная механизация свиноводства и птицеводства»: учебное пособие / В. Ю. Фролов, В.П. Коваленко, Сысоев Д.П.– СПб.: Издательство «Лань», 2016 г. – 176 с.

120. Фролов В.Ю. Анализ факторов, влияющих на оптимальные конструктивно-режимные параметры раздатчика-измельчителя/ Фролов В.Ю., Туманова М.И.// В сборнике: Научное обеспечение агропромышленного комплекса. Ответственный за выпуск: А.Г. Кощяев. 2016. С. 260-261.

121. Фролов, В.Ю. Классификация раздатчиков -измельчителей кормов / В.Ю. Фролов, Д.П. Сысоев, М.И. Туманова // Техника и оборудование для села. - 2015. -№ 7, -С.18-20.

122. Фролов, В.Ю. Раздатчик-измельчитель грубых кормов [Текст] / В.Ю. Фролов, Д.П.Сысоев, М.И. Туманова // Сельский механизатор. – 2014. - № 3(61). – С.24-25.

123. Фролов, В.Ю. К вопросу приготовления и раздачи грубых кормов рулонной заготовки / В.Ю. Фролов, М.И. Туманова // Труды КубГАУ. -2013.- №2. -С.179-182.

124. Хазанов Е.Е., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. «Технология и механизация молочного животноводства: учебное пособие / Е.Е. Хазанов, В.В. Гордеев, В.Е. Хазанов – СПб.: «Лань», 2016 г. - 352 с.

125. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия): Учебное пособие. / В.Б. Шашков. - Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. - 363 с.

126. Экономическая оценка конструкторской части дипломных проектов, выполняемых на факультете механизации // <https://kubsau.ru> URL: /https://kubsau.ru/upload/iblock/5c4b46547b41e764fccb096df2a25802.doc (дата обращения: 05.10.17).

127. Элли А.Я. Совершенствование технологического процесса и обоснование параметров рабочего органа для измельчения стебельных кормов при их консервировании. – автореферат диссертации. – 1984 г.

128. Haltunga - teknik filr dir Rinder - und Sweine - Preduktlen. Agrartechnik, N 12, 1984, p 544-550.

129. Hanraham T. Anti-nutrition factors in feed ingredients // Pig Internat. 1987. Vol. 17. 3. P. 40-41.

130. Leibetseder J. Uber die Bedeutung der Mahlfeinheit und Pelletgrosse fur Futteraufnahme, Verdaulichkeit und Gesundheitsstatus bei Shin und Geflugel //Ubers Tierernahr.1987. Bd 15. 2. P. 135-151.

131. Morozova N.Yu. THEORETICAL ASPECTS OF THE PROCESS GRINDING STALK FEED CHOPPER WITH A DISK WORKING BODY / Tumanova M.I., Frolov V.Yu, Sysoev D.P., Morozova N.Yu./ Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. - 2019. T. 6. № 6. С. 13440.

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

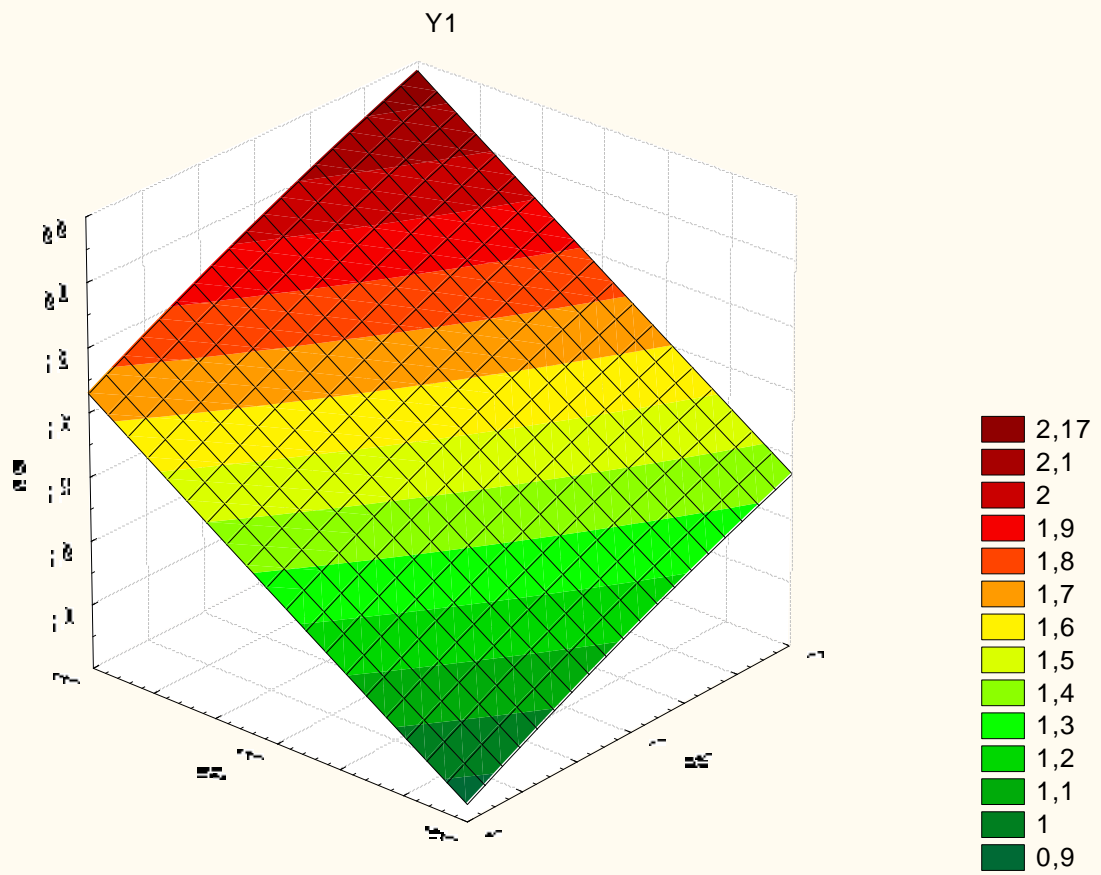
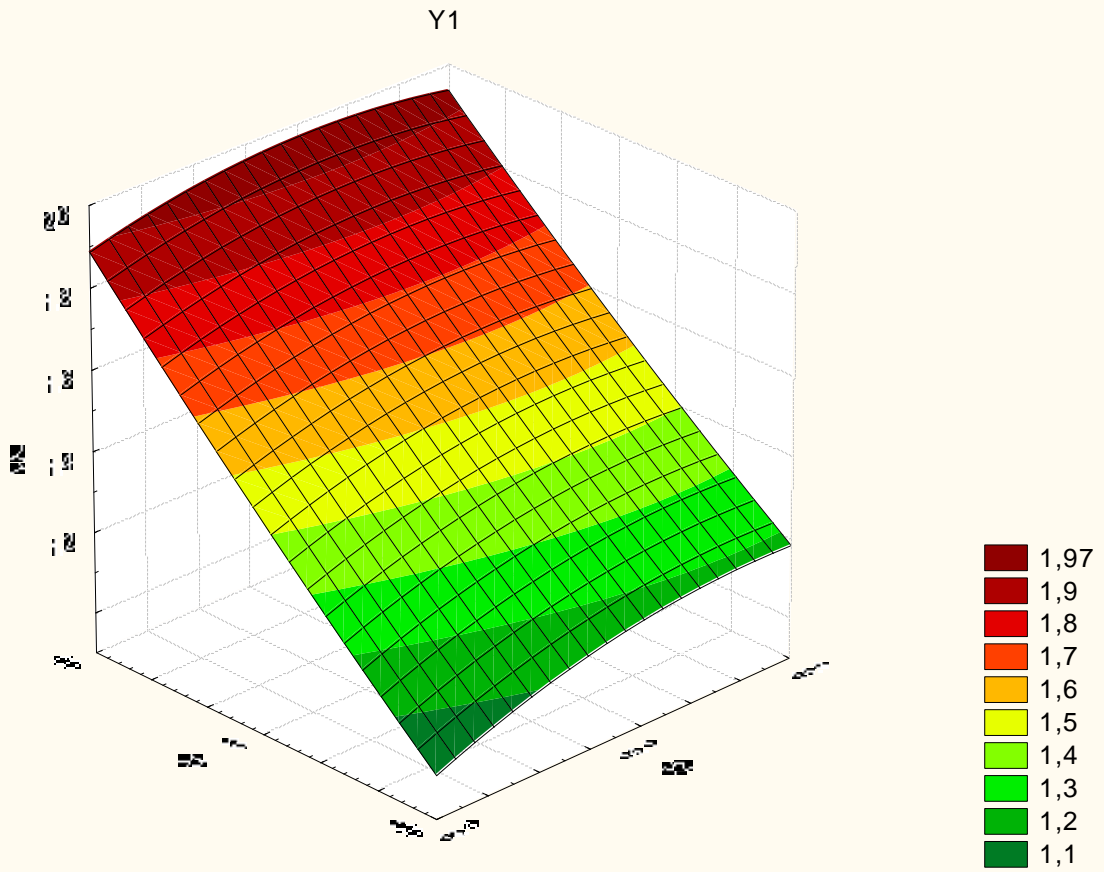
133. Frolov V.Yu., Sysoev D.P., Tumanova M.I. Improvement of the livestock production efficiency // British Journal of Innovation in Science and Technology. 2016. T. 1. № 1. P. 25-34.

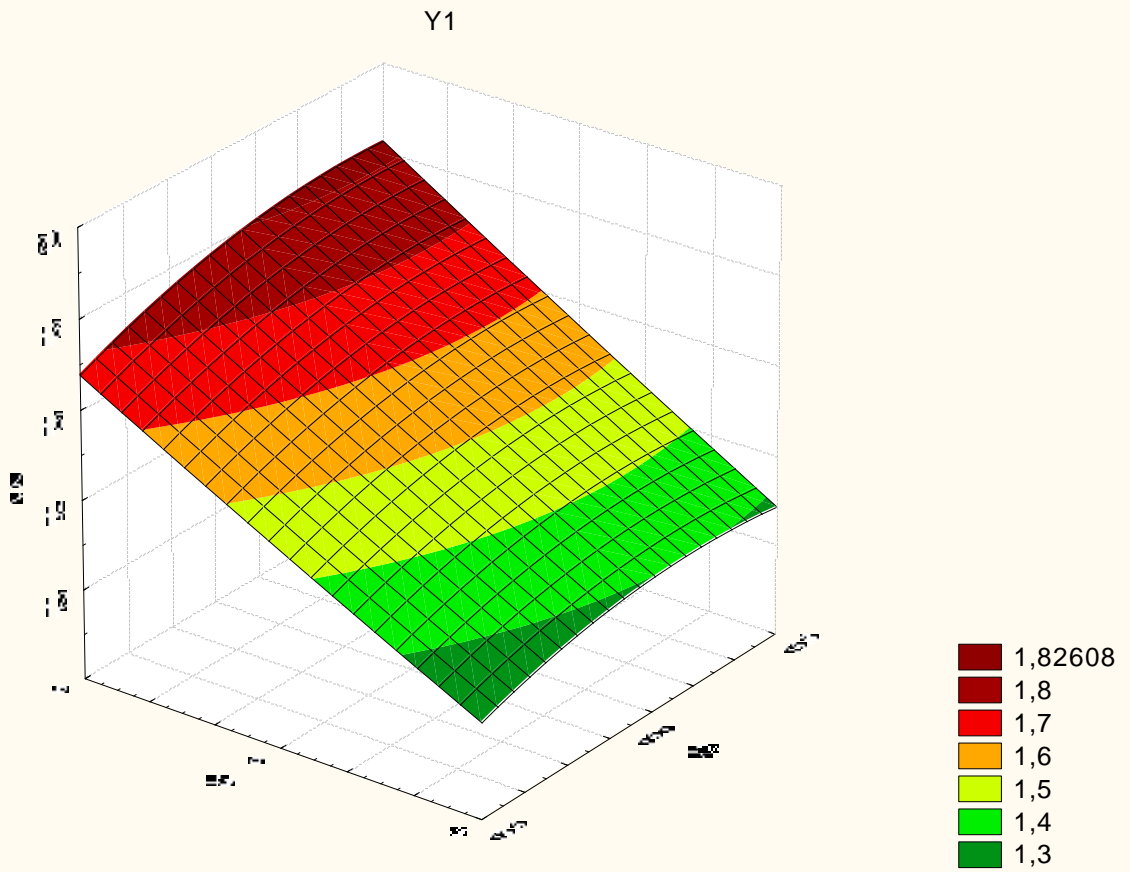
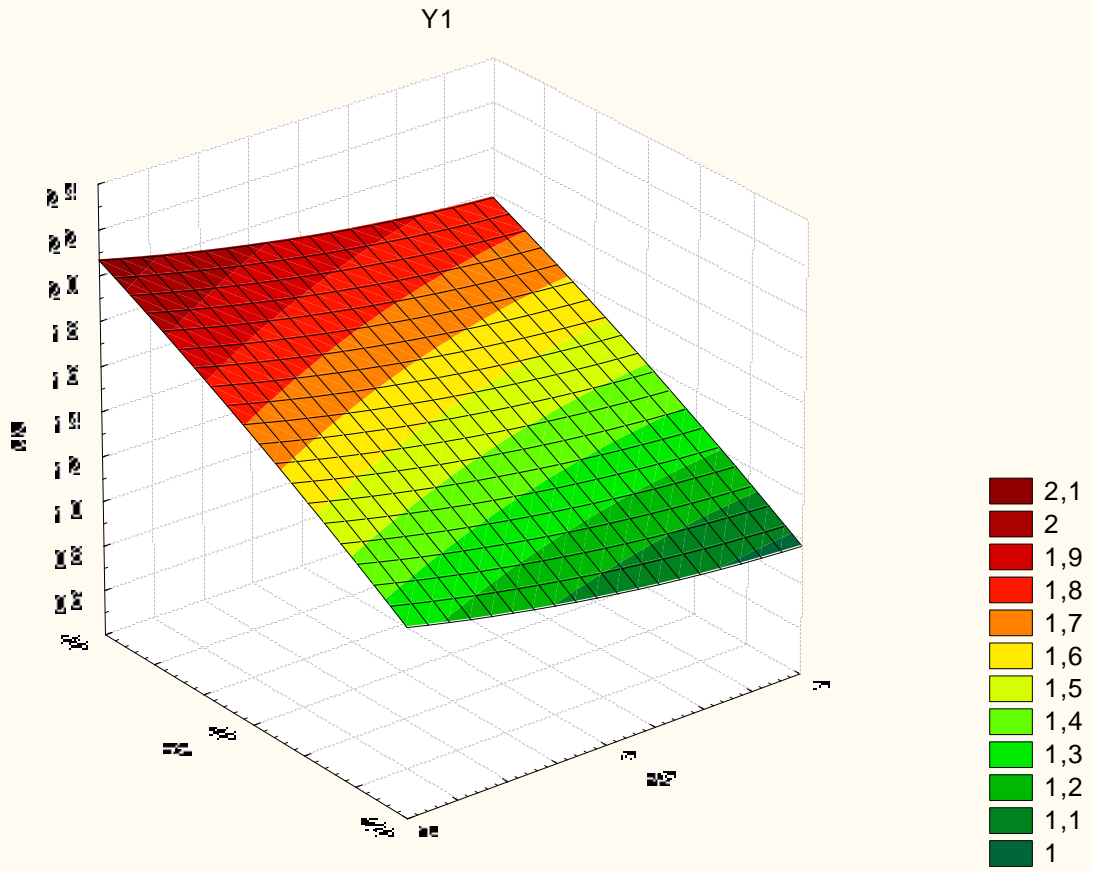
134. Efficient Feeding <http://www.delaval.ru/> URL: www.delaval.ru/Global/PDF/Efficient-feeding.pdf/ (дата обращения 08.08.2016).

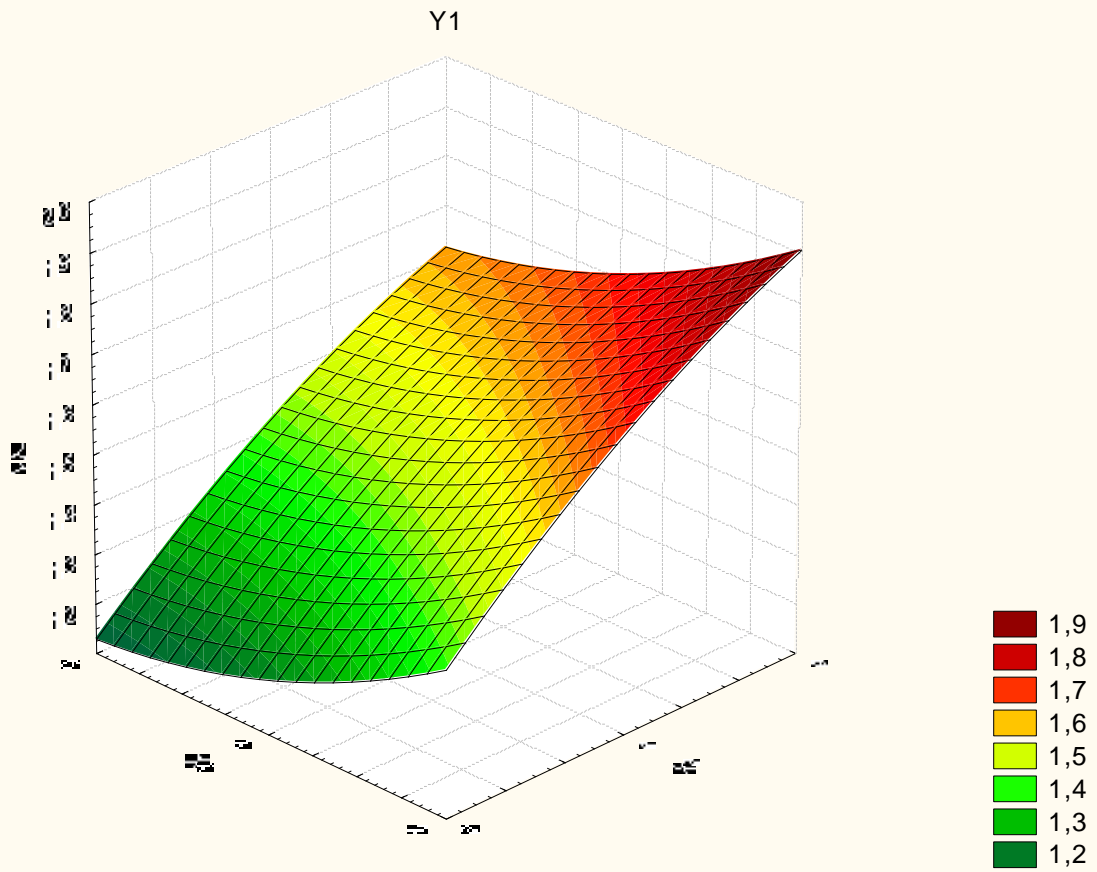
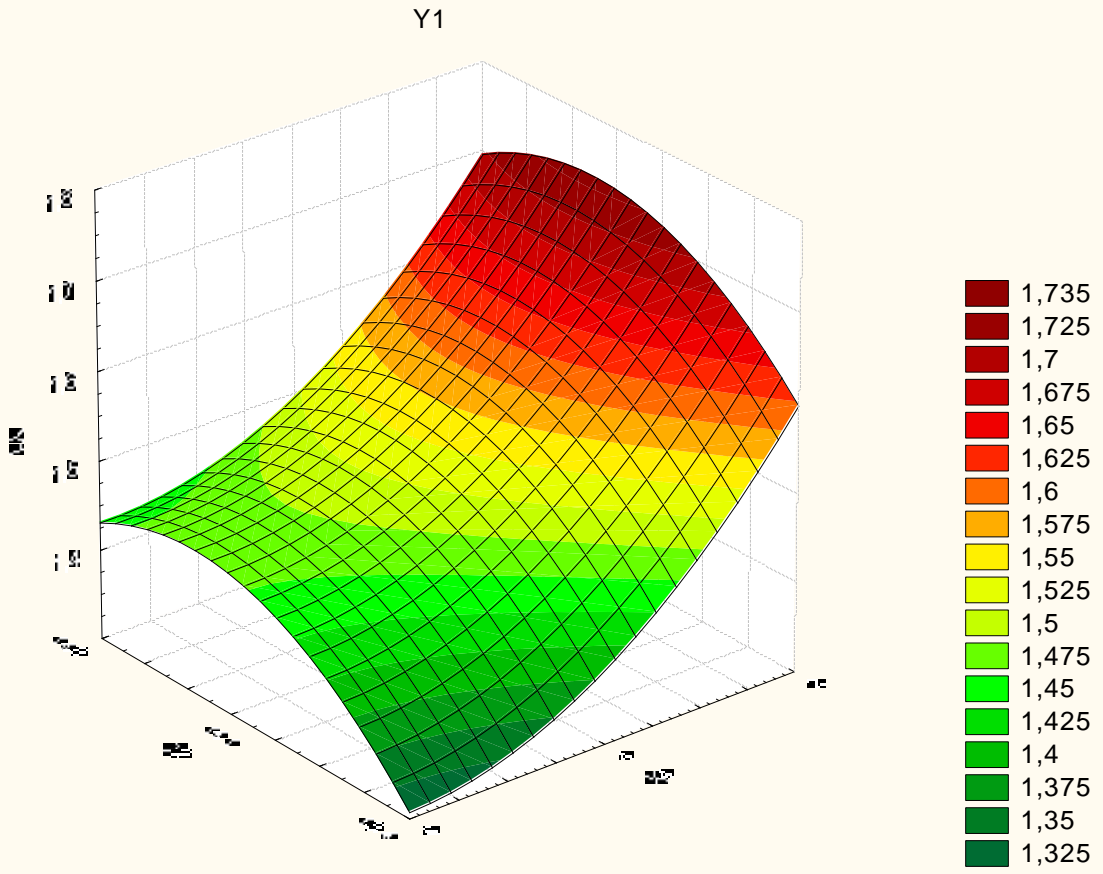
135. Feeding Cows for Profit // <http://jlmissouri.com/> URL: <http://jlmissouri.com/wp-content/uploads/2013/03/Feeding-Cows-for-Profit.pdf>(дата обращения 08.08.2016).

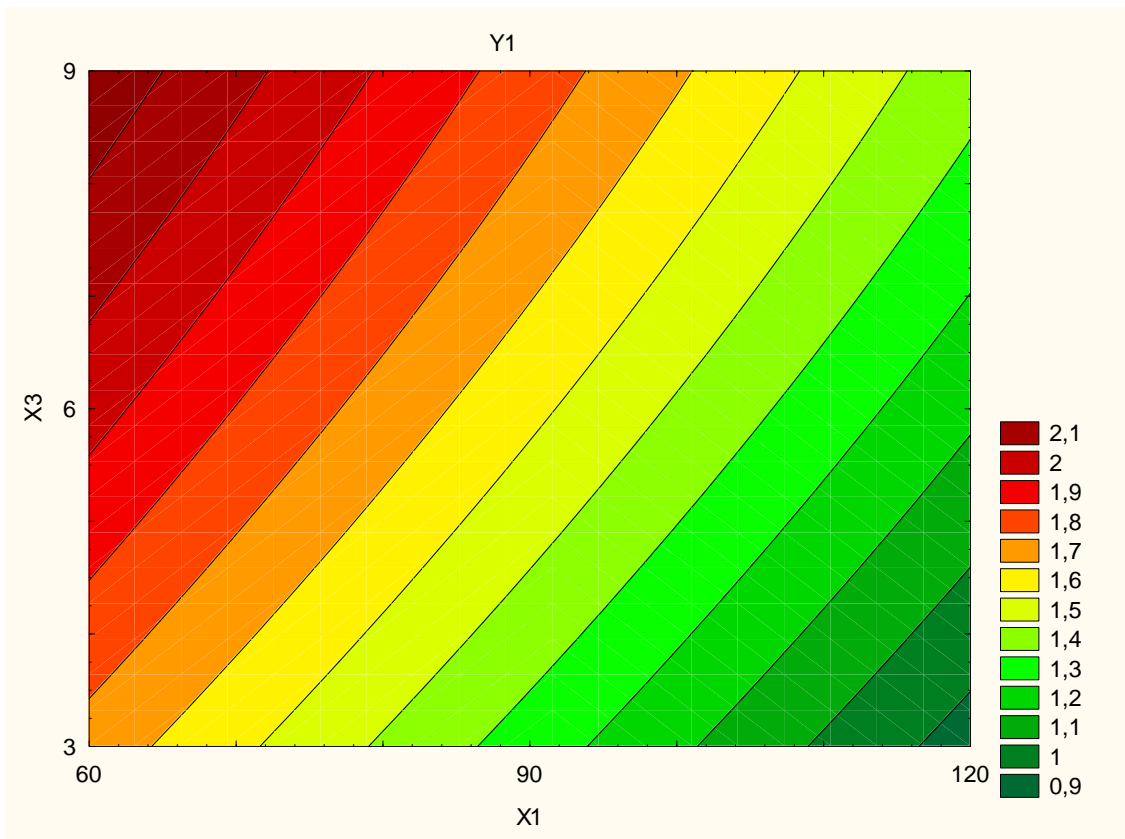
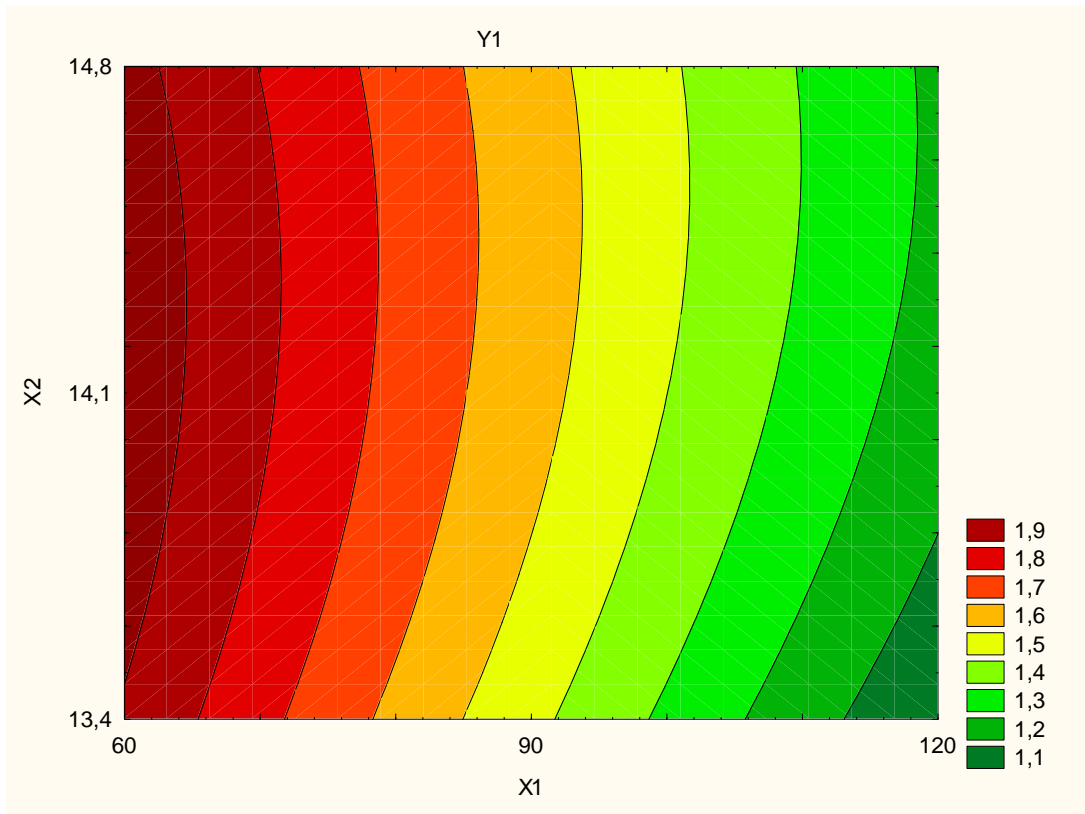
136. https://krsdstat.gks.ru/agriculture_kk - Управление Федеральной службы государственной статистики по Краснодарскому краю и республике Адыгея

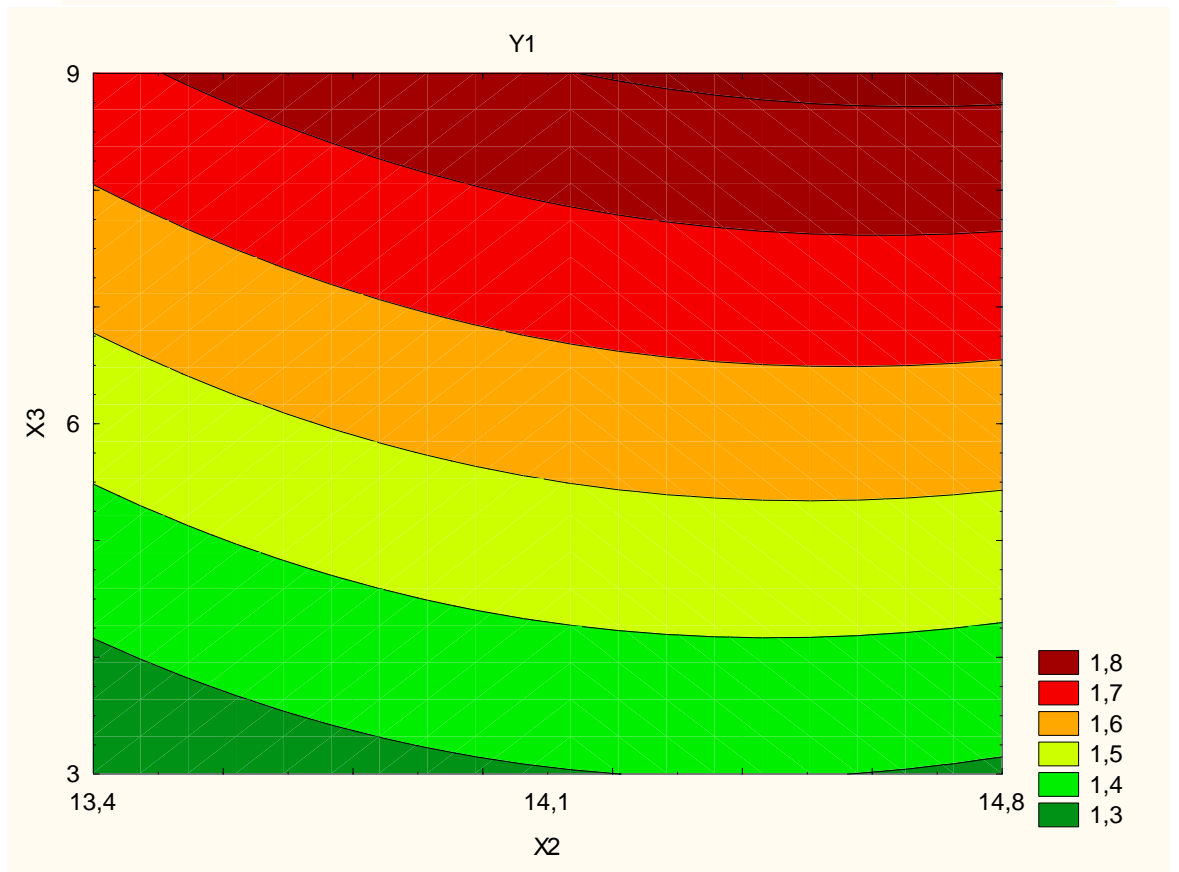
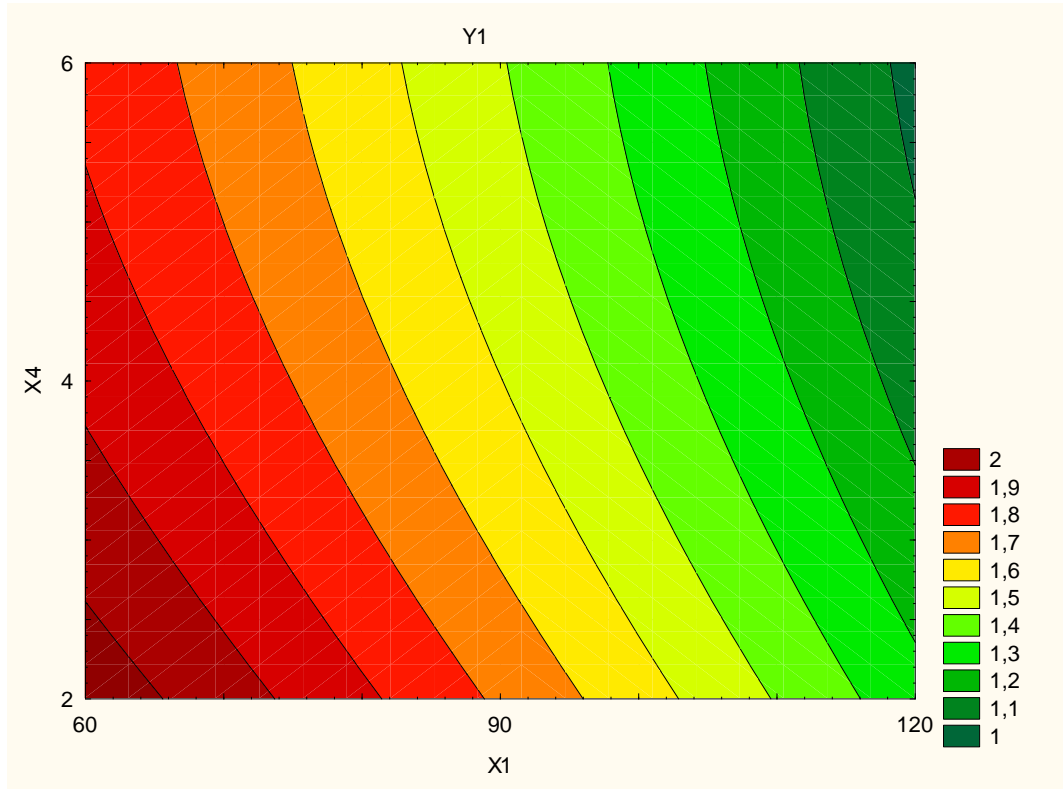
ПРИЛОЖЕНИЯ

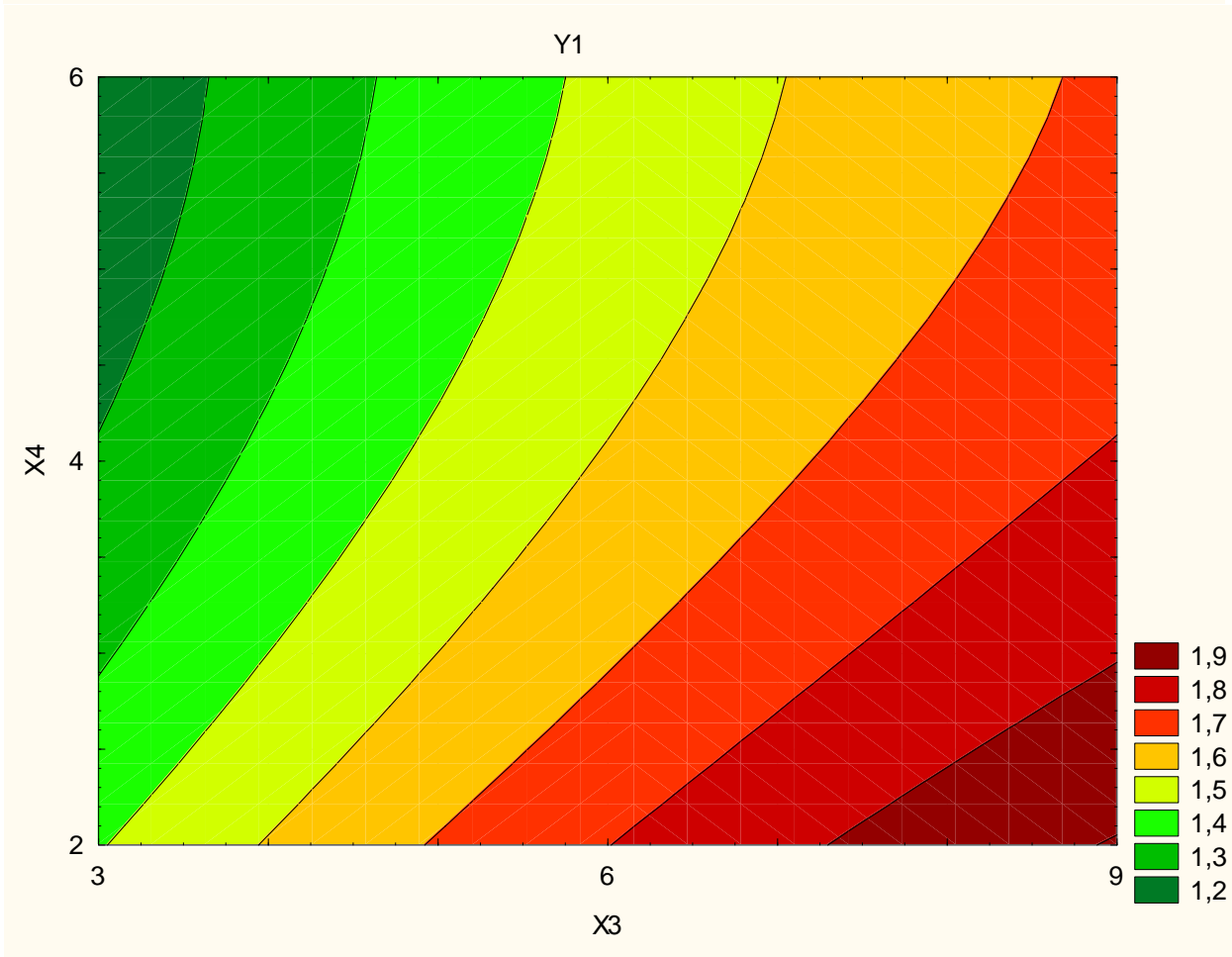
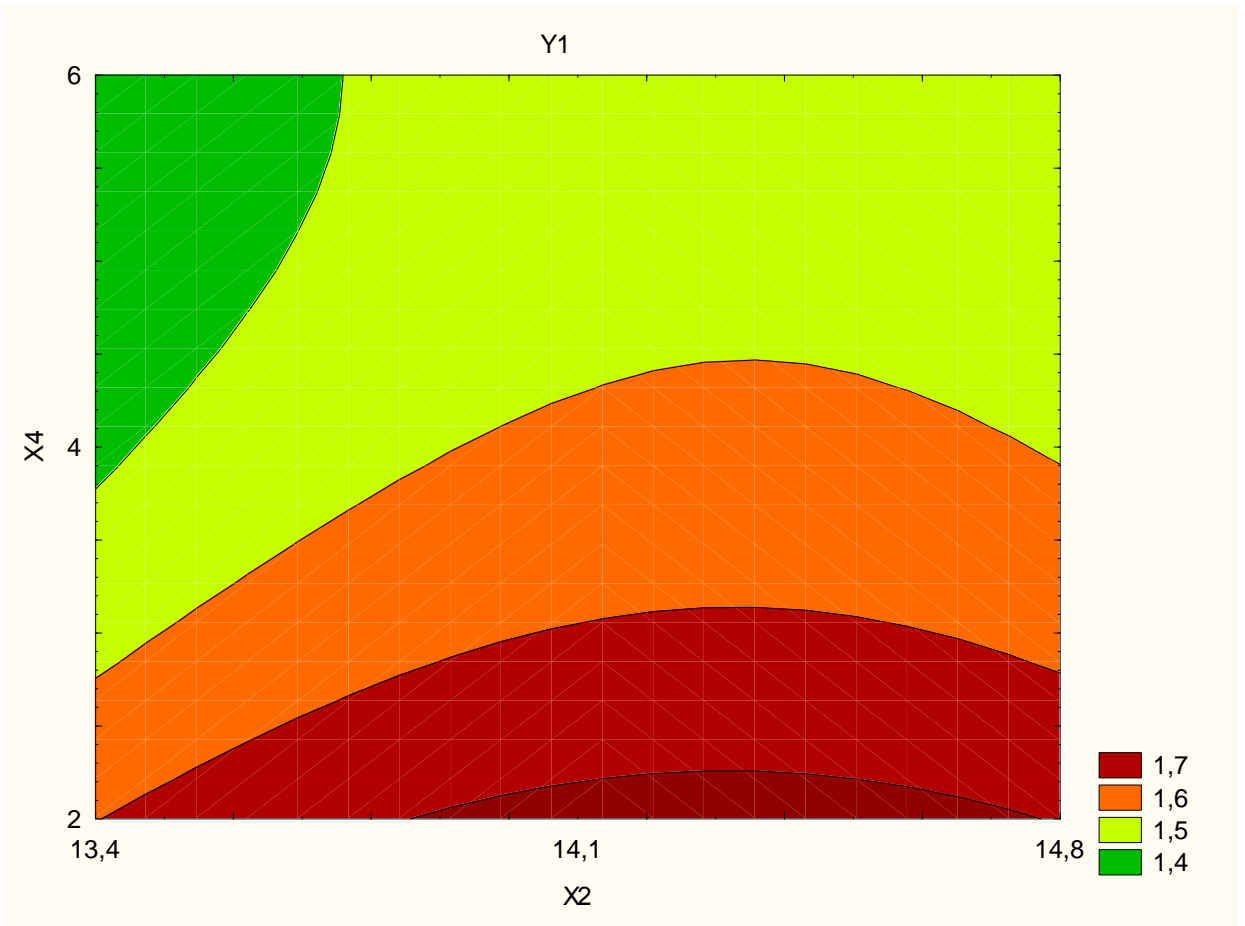


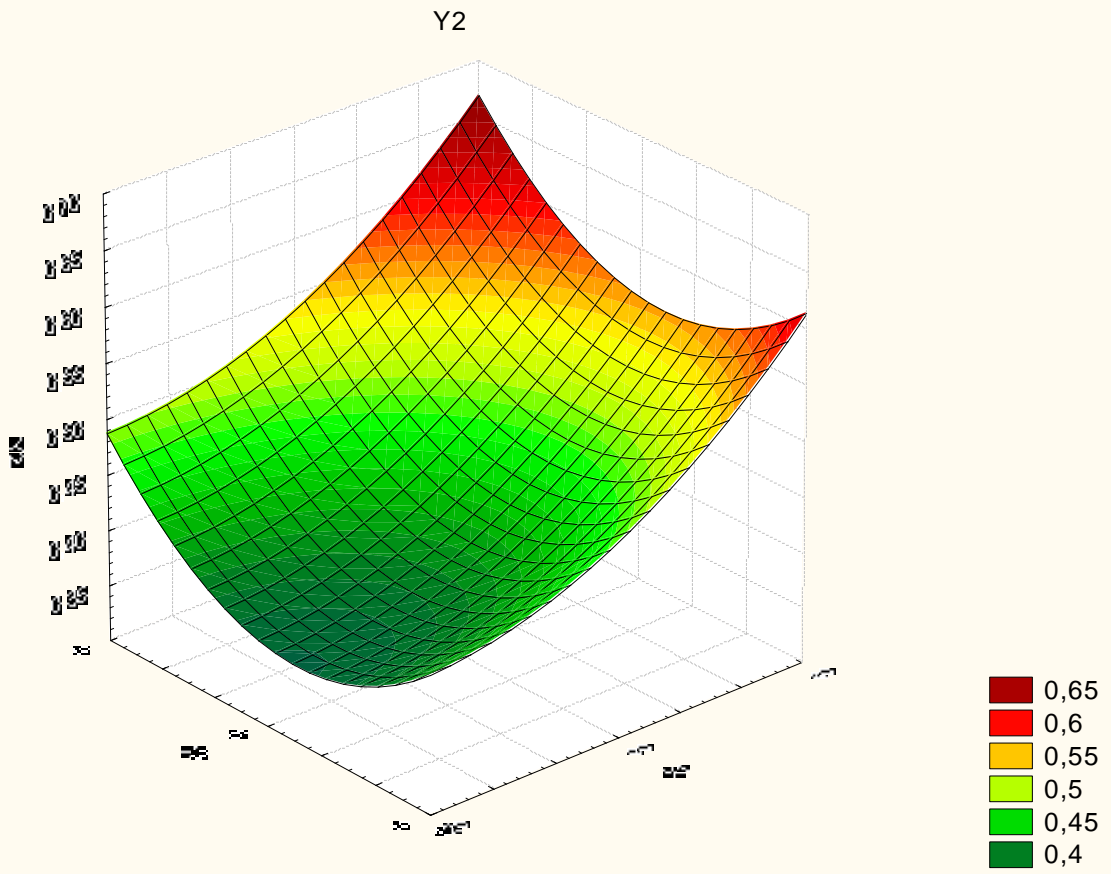
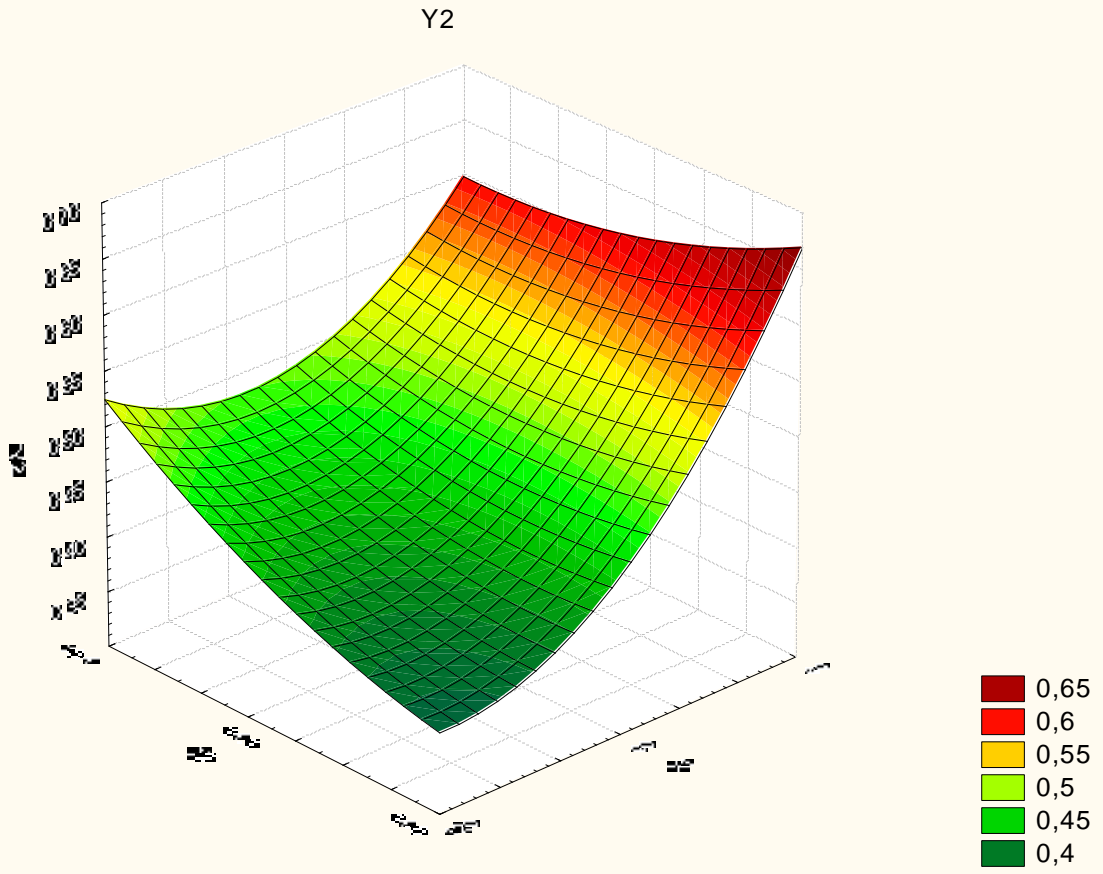


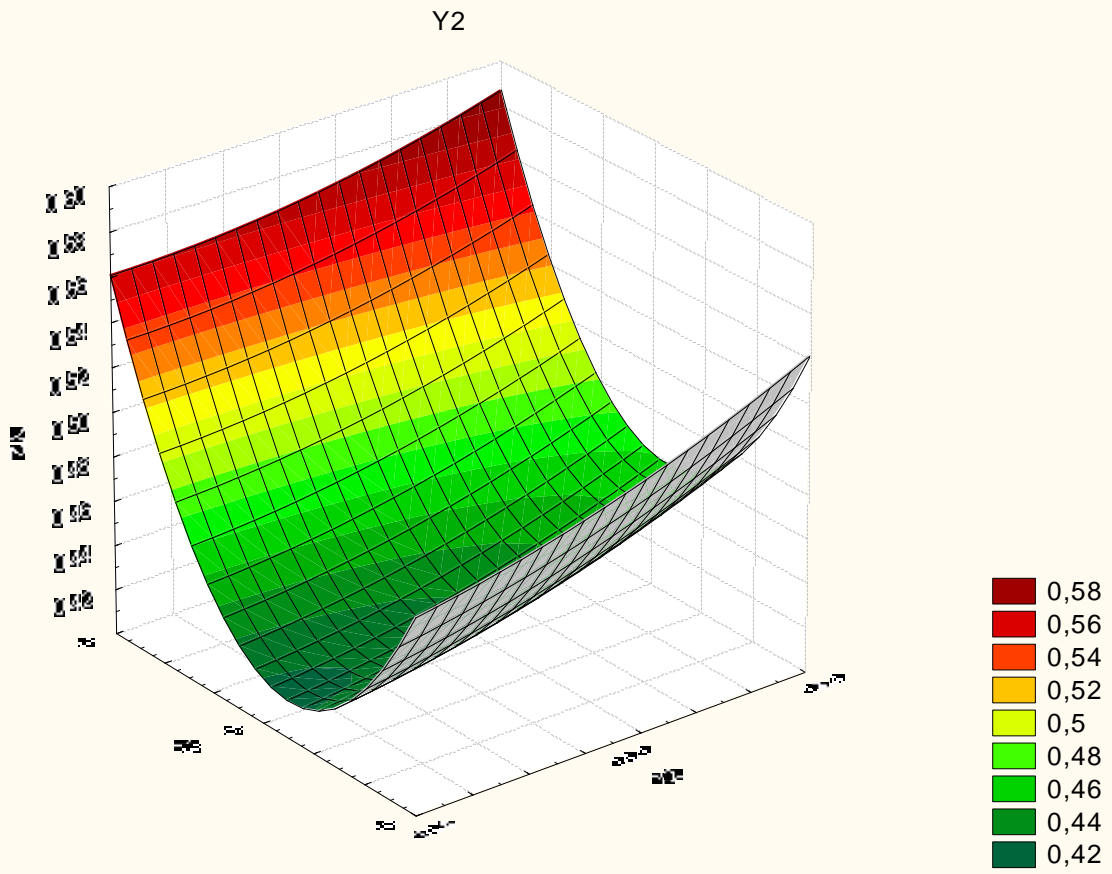
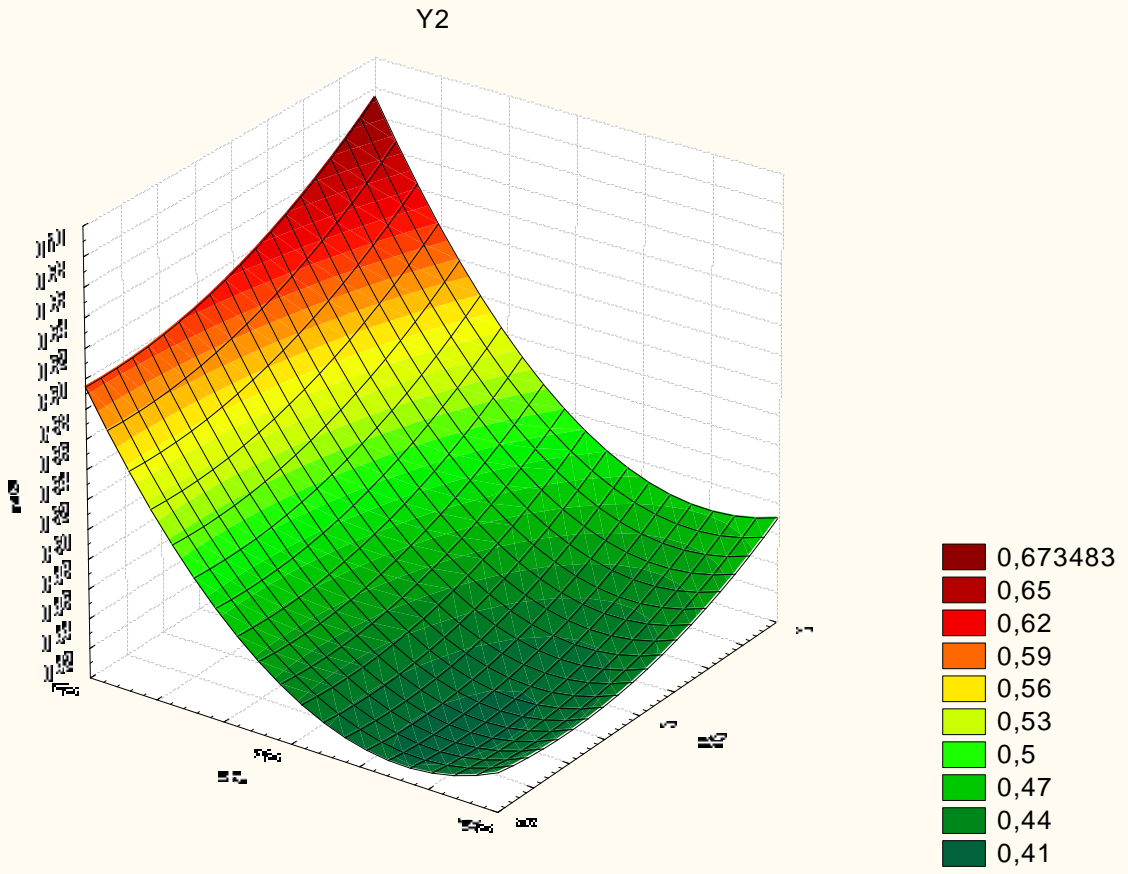


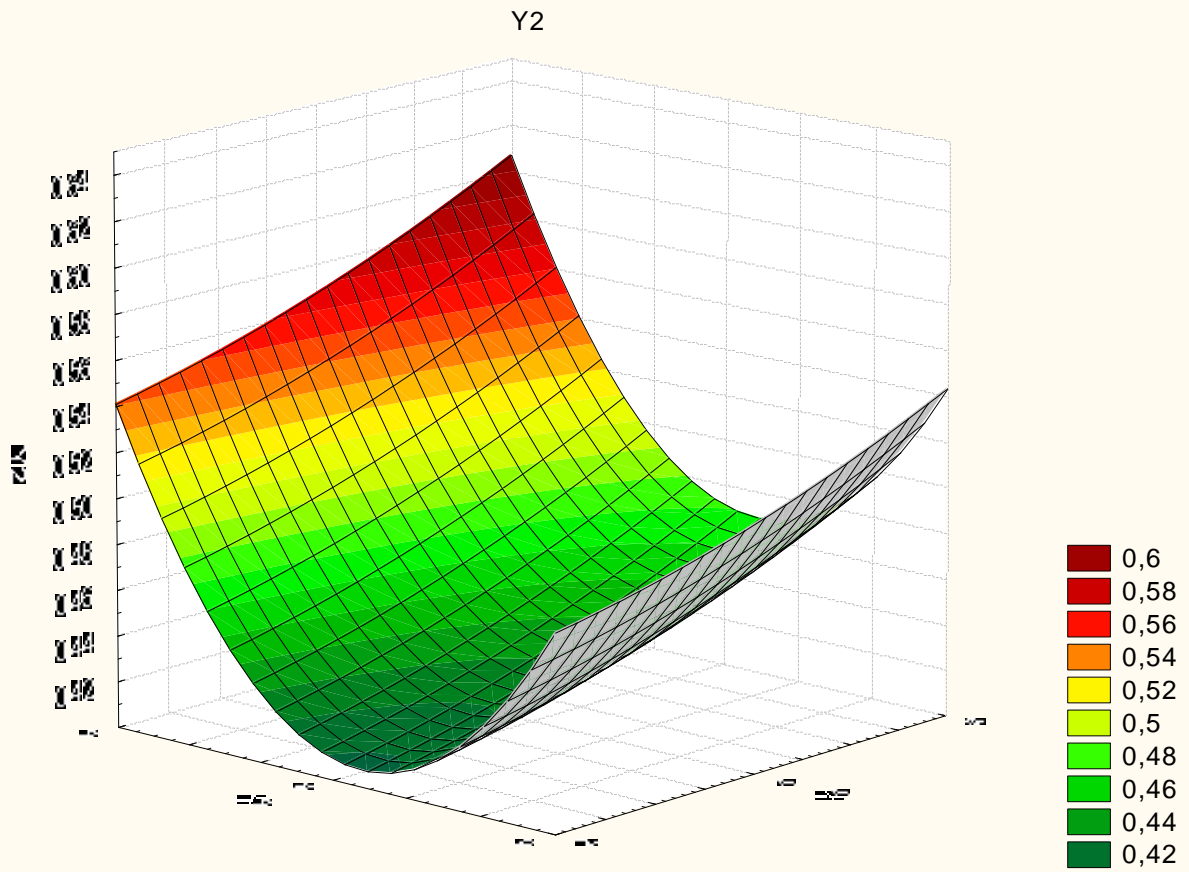
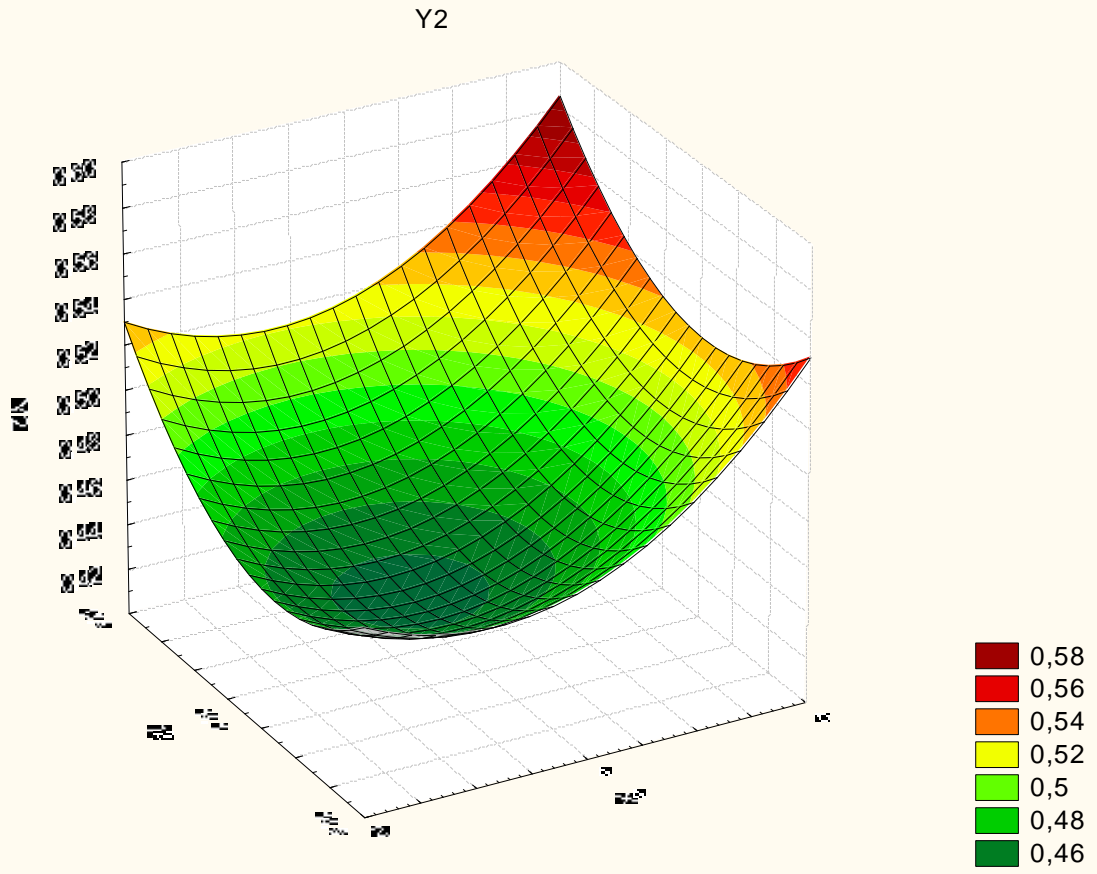


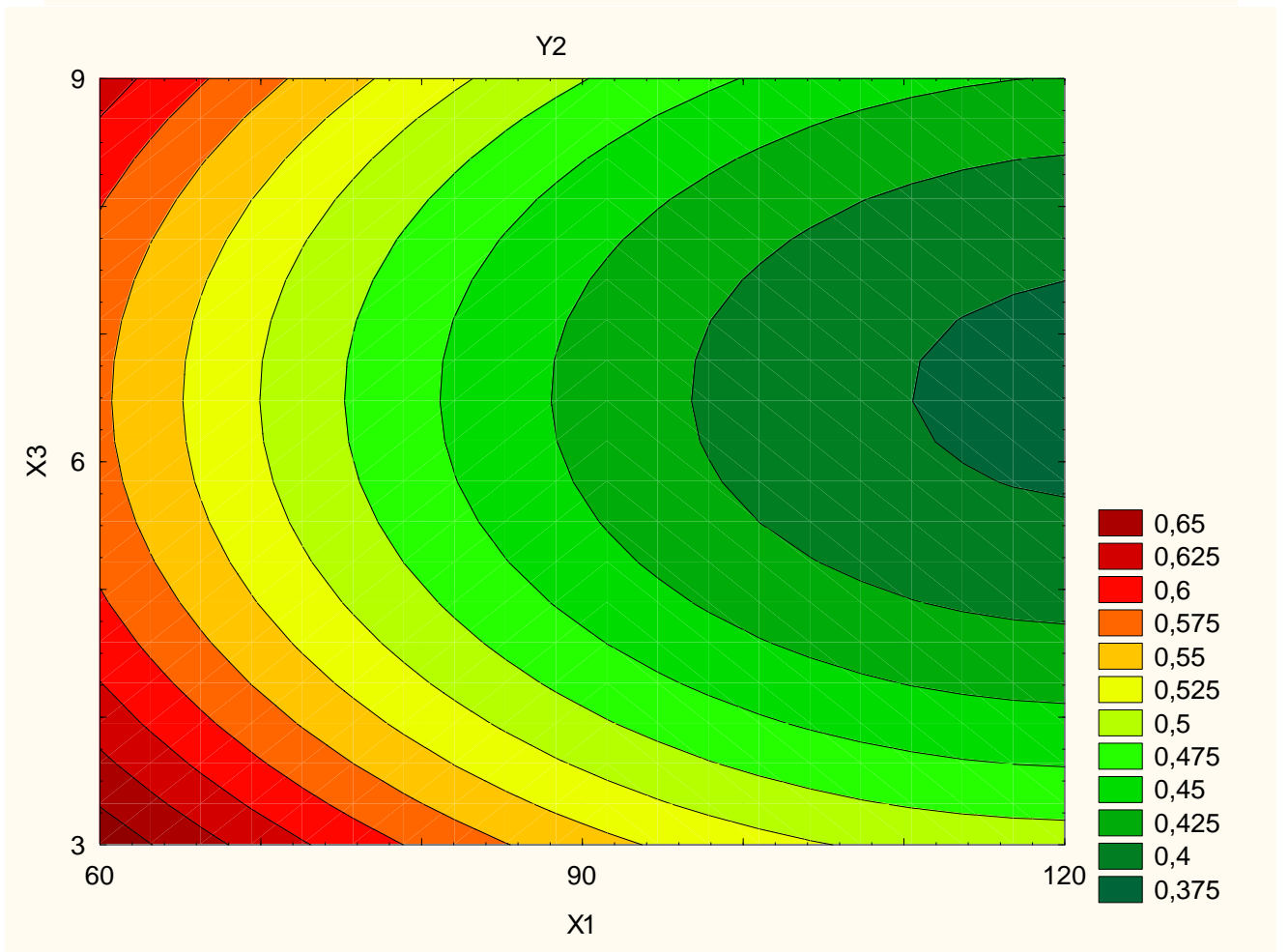
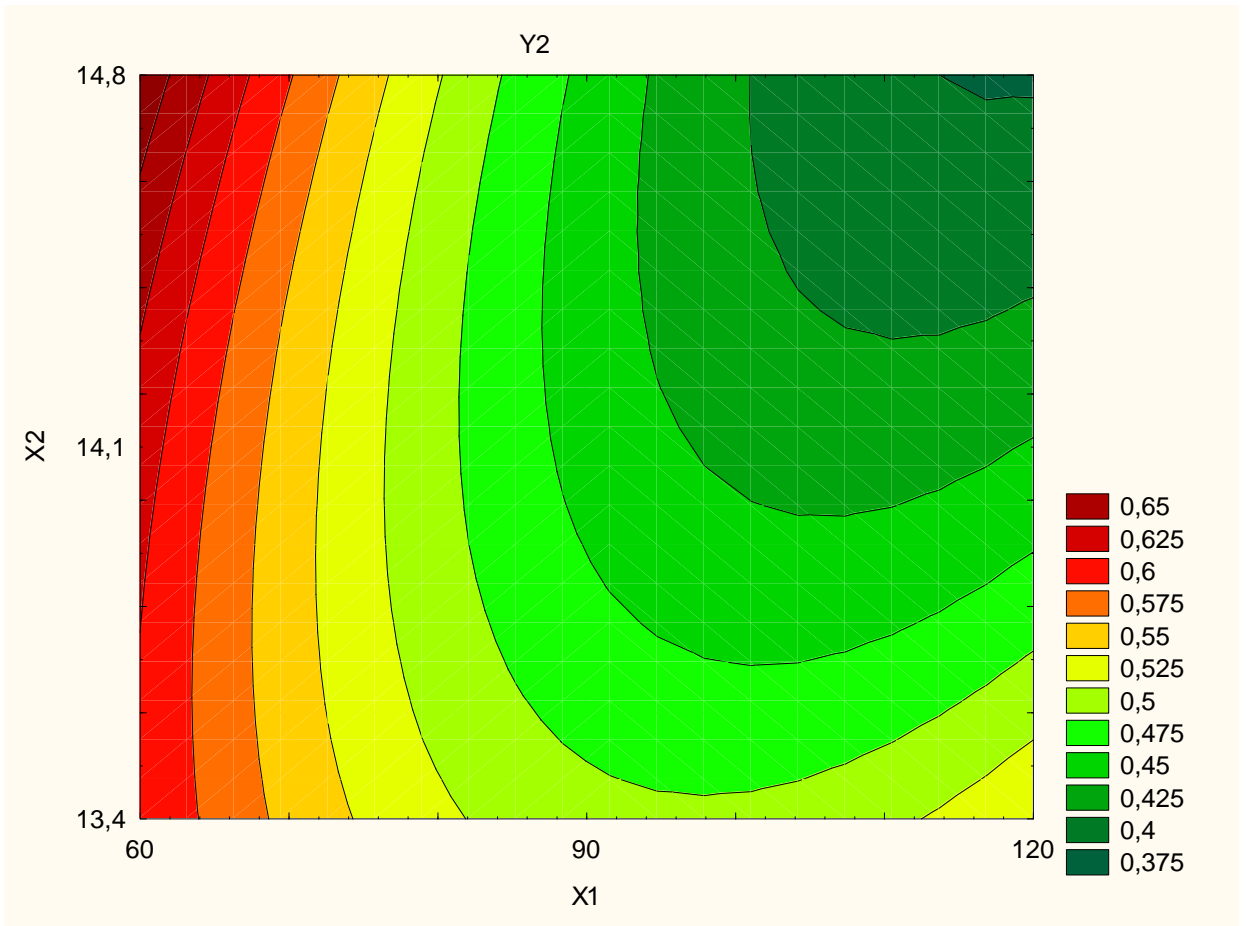


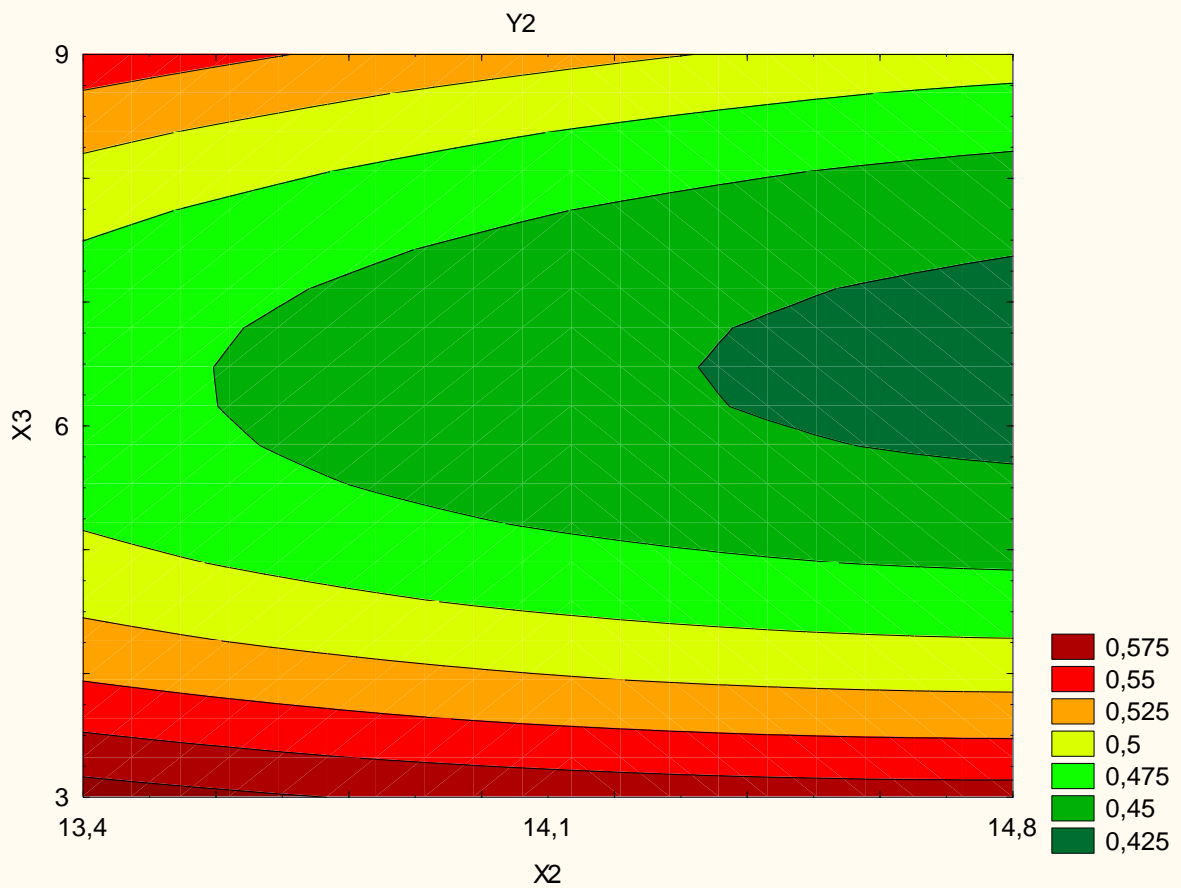
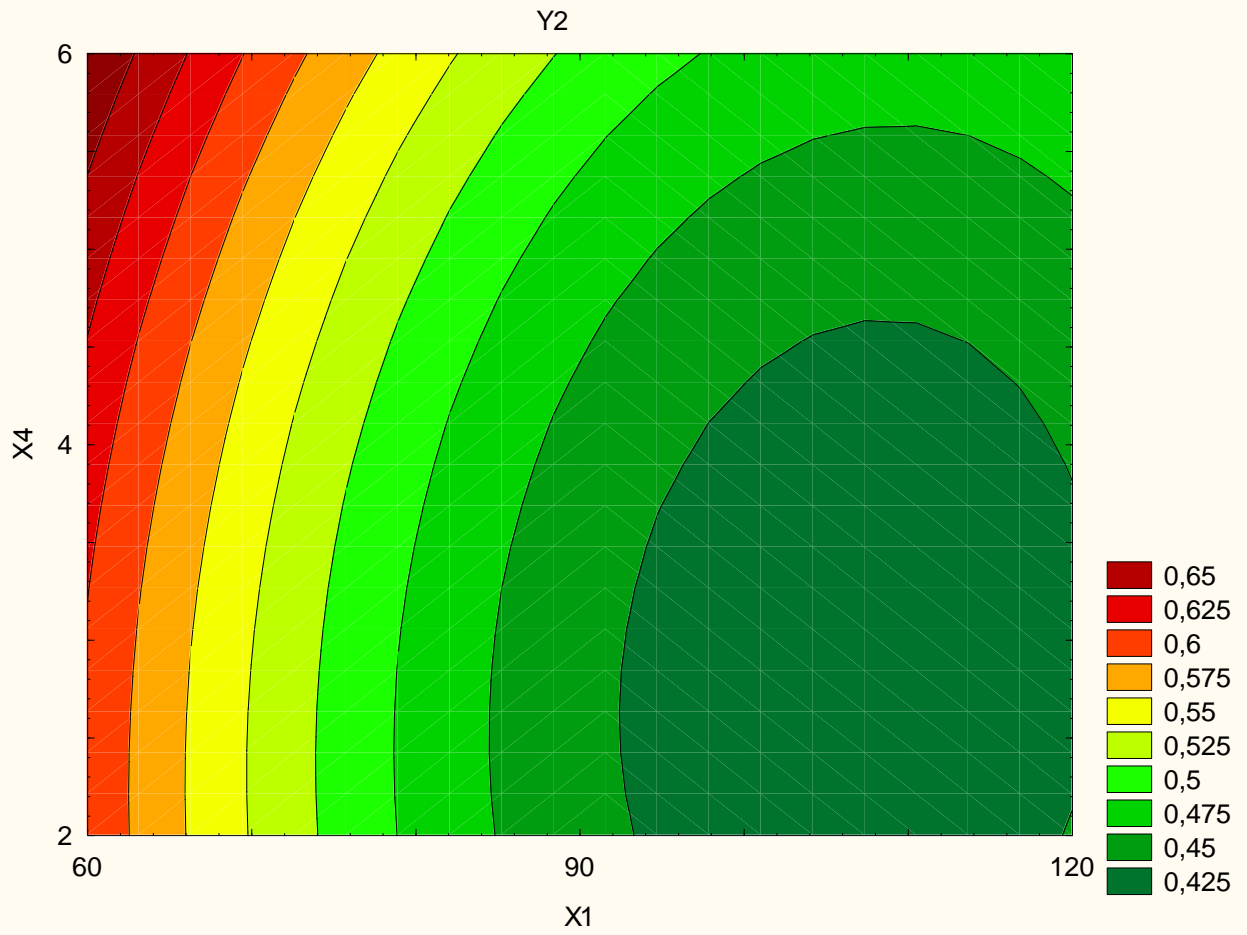


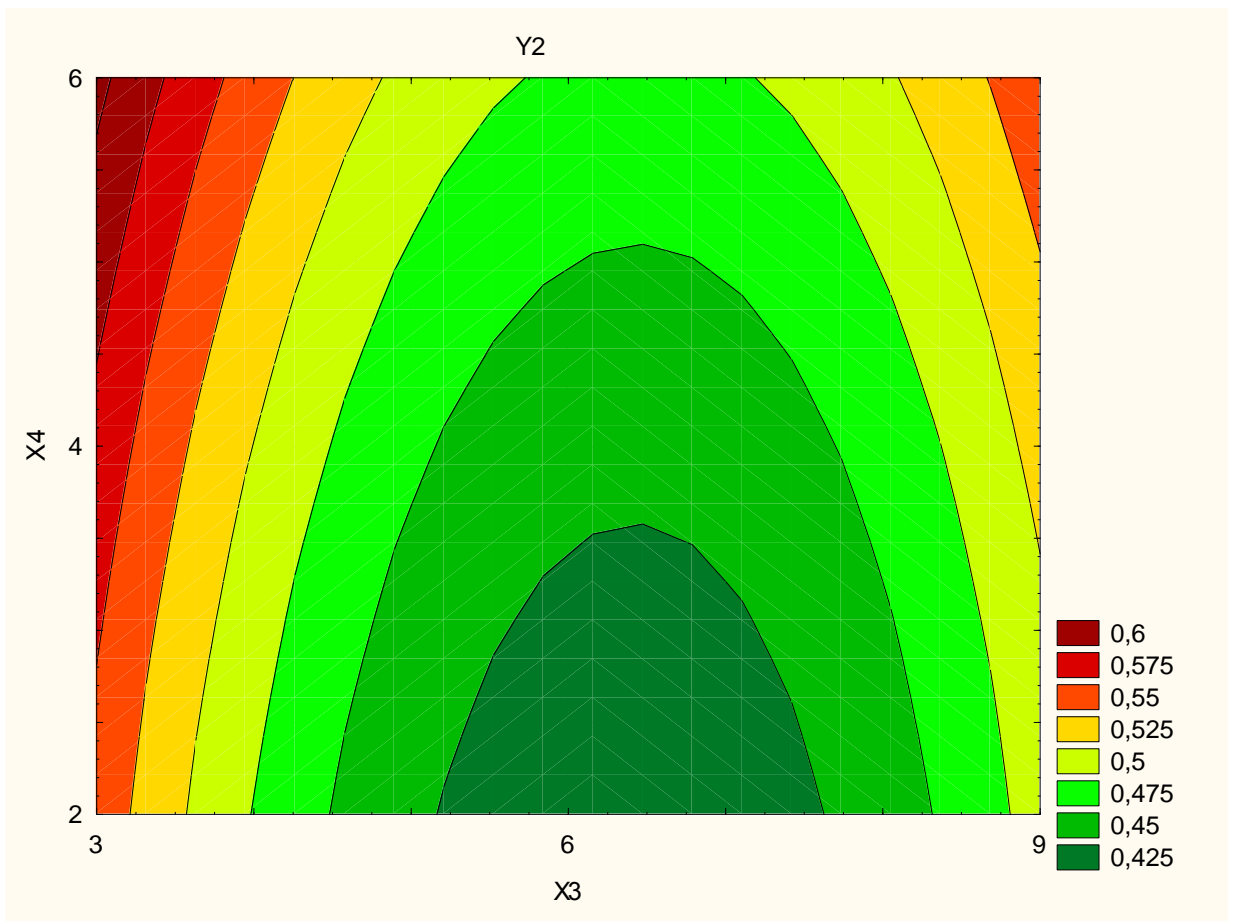
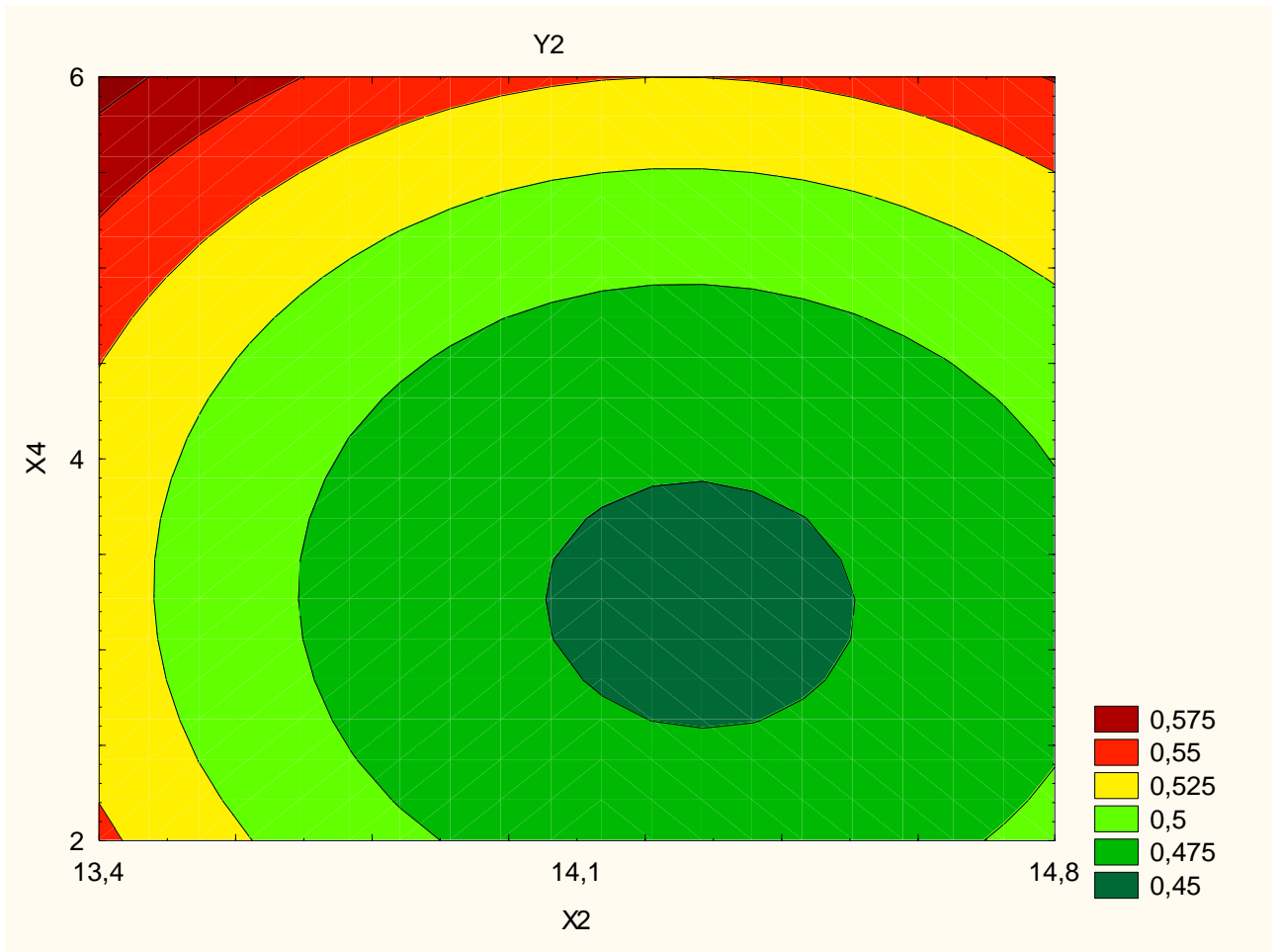














АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технических работ в высших учебных заведениях

Заказчик КУБАНЬЭЛЕКТРОМАШ

РЕЗНИК ОЛЕГ ФЕДОСЕЕВИЧ
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ
(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(Наименование ВУЗа)

стоимость БЕЗ ОПЛАТЫ
(Цифрами и прописью)

внедрены КУБАНЬЭЛЕКТРОМАШ
(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
(Эксплуатация изделий, работы, технологии производство изделий, работы, технологии;
КОРМОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ
функционирование системы)

2. Характеристика масштаба внедрения
ЕДИНИЧНОЕ
(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Методика (метод) РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ
ПРИНЦИПИАЛЬНО-НОВЫЕ (патент № 2639326)
(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)

5. Опытно-промышленная проверка _____
(Указать номер и дату актов)

КУБАНЬЭЛЕКТРОМАШ
испытаний, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

- в промышленное производство _____ СЕЛЬСКОЕ
ХОЗЯЙСТВО

- в проектные работы _____
(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект ожидаемый _____ 94000

_____ /ДЕВЯНОСТО ЧЕТЫРЕ ТЫСЯЧИ
РУБЛЕЙ/ _____ руб.
(от внедрения в проект)

фактический _____ руб.

в том числе доленое участие _____ руб.
_____ руб.
(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов

_____ 1 РУБ./2 РУБ.50 КОП/ _____ руб./руб.

9. Объем внедрения _____ 7500 /СЕМЬ ТЫСЯЧ ПЯТЬСОТ/ РУБЛЕЙ

что составляет _____ 30 /ТРИЦАТЬ/ _____ % от объема
внедрения

положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта,
рассчитанного по окончании НИР ($\Delta_{ГАР} =$ _____ руб.), а при этапном
внедрении $\Delta_{ГАР} =$ _____ руб. при заключении договора.

10. Социальный и научно-технологический эффект _____

_____ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

(Охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий
труда, совершенствование структуры управления, научно-технических
направлений, специальные направления и т.д.)

От ВУЗа

Руководитель НИР
_____ В.Ю. ФРОЛОВ

Исполнители НИР
_____ Н.Ю. СТРИГУНОВА

От предприятия

Директор



_____ О.Ф. Резник



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ИП ГЛАВА КФХ КАСЬЯНОВ Ю.В.
Касьянов Юрий Витальевич
(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы
ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ
(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
(Наименование ВУЗа)

стоимость БЕЗ ОПЛАТЫ
(Цифрами и прописью)

внедрены В КФХ КАСЬЯНОВ Ю.В., БЕЛОГЛИНСКОГО РАЙОНА
(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ
(Эксплуатация изделий, работы, технологии производство изделий, работы, технологии;
КОРМОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ
функционирование системы)

2. Характеристика масштаба внедрения
ЕДИНИЧНОЕ
(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Методика (метод) РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ _____

ПРИНЦИПИАЛЬНО-НОВЫЕ (патент № 2639326)
(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)



АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технических работ в высших учебных заведениях

Заказчик ИП КФХ ШУЛЬЦЕВ

ШУЛЬЦЕВ В.В.

(Ф.И.О. руководителя организации)

Настоящим актом подтверждается, результаты работы ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЯ СТЕБЕЛЬНЫХ КОРМОВ

(Наименование темы, № гос. регистрации)

выполненной КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

(Наименование ВУЗа)

стоимость БЕЗ ОПЛАТЫ

(Цифрами и прописью)

внедрены ИП КФХ ШУЛЬЦЕВ

(Наименование предприятия, где осуществлялось внедрение)

1. Вид внедренных результатов ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРИГОТОВЛЕНИЯ

(Эксплуатация изделий, работы, технологии производство изделий, работы, технологии, функционирование системы)
КОРМОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕМ

2. Характеристика масштаба внедрения

ЕДИНИЧНОЕ

(Уникальное, единичное, партия, массовое, серийное)

3. Форма внедрения:

Методика (метод) РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ

ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИНИЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ

4. Новизна результатов научно-исследовательских работ

ПРИНЦИПИАЛЬНО-НОВЫЕ (патент № 2639326)

(Пионерские, принципиально-новые, качественно-новые, модификация, модернизация новых разработок)

5. Опытнo-промышленная проверка _____
(Указать номер и дату актов)

ИП КФХ ШУЛЬЦЕВ

испытаний, наименование предприятия, период)

6. Внедрены:

- в промышленное производство СЕЛЬСКОЕ ХОЗЯЙСТВО

- в проектные работы _____
(указать объект, предприятие)

7. Годовой экономический эффект ожидаемый 94000

/ДЕВЯНОСТО ЧЕТЫРЕ ТЫСЯЧИ РУБЛЕЙ/ руб.
(от внедрения в проект)

фактический _____ руб.

в том числе доленое участие _____ руб.
(%, цифрами и прописью)

8. Удельная экономическая эффективность внедренных результатов

1 РУБ./2 РУБ.50 КОП/ руб./руб.

9. Объем внедрения 7500 /СЕМЬ ТЫСЯЧ ПЯТЬСОТ/ РУБЛЕЙ

что составляет 30 /ТРИДЦАТЬ/ % от объема внедрения

положенного в основу расчета гарантированного экономического эффекта, рассчитанного по окончании НИР ($\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб.), а при этапном внедрении $\mathcal{E}_{\text{ГАР}} =$ _____ руб. при заключении договора.

10. Социальный и научно-технологический эффект _____

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО НАПРАВЛЕНИЯ

(Охрана окружающей среды, недр; улучшение и оздоровление условий труда, совершенствование структуры управления, научно-технических направлений, специальные направления и т.д.)

От ВУЗа

Руководитель НИР

В.Ю. ФРОЛОВ

Исполнитель НИР

Н.Ю. СТРИГУНОВА

От предприятия

Руководитель



Шульцев

Шульцев

Виталий Викторович



ДИПЛОМЫ, СЕРТИФИКАТЫ, ГРАМОТЫ
ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ АПРОБАЦИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА НАУЧНЫХ КОНФЕРЕНЦИЯХ И ФОРУМАХ



МИНИСТЕРСТВО
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



КубГАУ
Кубанский государственный
аграрный университет

ДИПЛОМ

НАГРАЖДАЕТСЯ

**Морозова
Надежда Юрьевна**

студентка 2 курса факультета механизации

за активное участие в работе 73-й научно-
практической конференции студентов по итогам НИР
в 2017 году

Ректор, профессор
А. И. Трубилин



2018 г.

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
 «Кубанский государственный аграрный университет»
 им. И. Т. Трубилина



Почетная грамота

награждается

Морозова

Надежда Юрьевна

студентка факультета Механизации
 группа МХ-1641

за активное участие в работе
 студенческого научного общества

Декан факультета механизации
 профессор

Заместитель декана
 по научной работе
 профессор



С. М. Сидоренко

Е. И. Трубилин

2018 г.



Ассоциация производителей сельскохозяйственной
техники и оборудования АПК
Краснодарского края

Благодарственное письмо

Морозовой

Надежде Юрьевне

За участие в научно-практической конференции,
организованной Ассоциацией производителей
сельскохозяйственной техники и оборудования АПК
Краснодарского края

**«Концепция системы машин и оборудование для
реализации инновационных технологий и производства
сельскохозяйственной продукции»**

Председатель ассоциации производителей
сельскохозяйственной техники и оборудования
агропромышленного комплекса
Краснодарского края

В. В. Абаев



В. В. Абаев

Краснодар, 2018г.





OMEGA SCIENCE
INTERNATIONAL CENTER
OF INNOVATION RESEARCH



OMEGA SCIENCE
МЕЖДУНАРОДНЫЙ ЦЕНТР
ИННОВАЦИОННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

СЕРТИФИКАТ

настоящим удостоверяется, что

Морозова Надежда Юрьевна

принял(а) участие в

Международной научно-практической конференции
«ДИНАМИКА ВЗАИМООТНОШЕНИЙ РАЗЛИЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ
НАУКИ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ»

4 февраля 2019 г., г. Тюмень,
Российская Федерация
Дата и место проведения



S. Heef

Директор ИЦИИ «Омега Сайнс»
Сукнасян А.А.

