

ФГБОУ ВО «Казанский государственный аграрный университет»

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

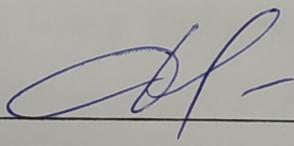
Направление подготовки 35.04.06 Агроинженерия

Магистерская программа: Технологии и средства механизации сельского хозяйства

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

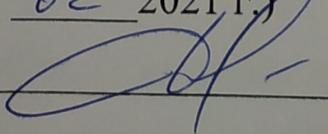
Тема: Исследование параметров и режимов работы малогабаритной плющилки зерна

Студент магистратуры _____  Хадиев М.Р.

Научный руководитель,
к.т.н., доцент _____  Халиуллин Д.Т.

Обсужден на заседании кафедры и допущен к защите

(протокол № 7 от «01» 02 2021 г.)

Зав. кафедрой, доцент _____  Халиуллин Д.Т.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	
1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
1.1. Зоотехнические требования к качеству плющения концентрированных кормов.....	
1.2. Физико-механические свойства зерна фуражных культур.....	
1.3. Технология приготовления концентрированных кормов с применением плющения зерна.....	
1.4. Обзор существующих конструкций плющилок зерна	
1.5. Задачи научного исследования.....	
2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ	
2.1 Анализ теоретических исследований процесса плющения зерна.....	
2.2 Расчет и выбор основных параметров вальцовой плющилки	
2.2.1 Расчет вальцов	
2.2.2 Расчёт производительности плющилки.....	
2.3 Разработка малогабаритной плющилки зерна	
3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЮЩИЛКИ ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ.....	
3.1. Программа экспериментальных исследований.....	
3.2. Разработка и изготовление устройства для дозирования зернового материала	
3.3. Методика проведения экспериментов	
3.3.1. Общая методика исследований.....	
3.3.2. Методика определения влажности зерна и гранулометрического состава плющеного продукта.....	
3.4. Выбор критериев оптимизации и основных факторов процесса плющения	
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	
4.1. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров и режимов работы дозирующего устройства на оценочные показатели рабочего	

процесса плющения	
4.2. Исследование влияния влажности материала и межвальцового зазора на рабочий процесс плющилки зерна	
ОБЩИЕ ВЫВОДЫ	
ЛИТЕРАТУРА	
ПРИЛОЖЕНИЕ А	

АННОТАЦИЯ

К магистерской диссертации Хадиева Марата Радиковича тему «Исследование параметров и режимов работы малогабаритной плющилки зерна».

Магистерская диссертация состоит из введения, 4 разделов, выводов и включает ___ рисунков и ___ таблицы. Список использованной литературы содержит _____наименований.

В первой главе рассмотрены состояние вопроса и определены задачи исследований.

Во второй главе приведены теоретические исследования малогабаритной вальцовой плющилки.

В третьей главе приведена методика экспериментальных исследований.

В четвертой главе представлены результаты экспериментальных исследований и их анализ.

Диссертация завершается общими выводами по работе.

ABSTRACT

To the master's thesis of Khadiev Marat Radikovich the topic "Research of parameters and operating modes of a small-sized grain conditioner".

The master's thesis consists of an introduction, 4 sections, conclusions and includes _____ figures and ___ tables. The list of used literature contains _____ titles.

The first chapter discusses the status of the issue and identifies research objectives.

The second chapter presents theoretical studies of a small-sized roller conditioner.

The third chapter describes the experimental research methodology.

The fourth chapter presents the results of experimental studies and their analysis.

The dissertation concludes with general conclusions on the work.

ВВЕДЕНИЕ

Одно из важнейших условий высокоэффективного производства животноводческой продукции - обеспечение животных полноценными кормами, сбалансированными по питательным веществам в соответствии с зоотехническими требованиями.

Корма в структуре себестоимости производства мяса, молока и других продуктов животноводства составляют более 60%. От качества и подготовки их к скармливанию во многом зависит эффективность работы животноводческих ферм и комплексов.

Большое значение приобретает организация приготовления полнорационных кормов и более рациональное использование фуражного зерна в виде сбалансированных по основным питательным элементам комбикормов.

Из общего количества расходуемого фуражного зерна только половина перерабатывается в полноценные комбикорма и кормосмеси, а остальная часть скармливается в измельченном виде.

Многочисленными опытами установлено, что 20...25% энергии корма животные превращают в продукцию и 30...40% выщеляют с отходами. Снизить потери корма возможно за счет улучшения их качества с помощью современных способов и приемов подготовки. При сушке зерна с влагой теряется часть питательных веществ и, чем интенсивнее высушивается зерно, тем меньше их в нем остается.

Один из способов сохранения питательности и увеличения переваримости зерна - использование технологии плющения и консервирования зерна, хранение его в герметичных башнях и траншеях, охлаждение зерна, а также хранение в открытых хранилищах после обработки химическими консервантами при высокой влажности. Применение этого способа обеспечивает снижение затрат на хранение на 20...30% и повышение привесов животных на 5.. .10%.

Поэтому предлагаемая работа направлена на разработку сушильной установки и исследование процесса ИК сушки зерна, позволяющего получать зерно, соответствующее агротехническим требованиям с минимальными энергозатратами.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

1.1. Зоотехнические требования к качеству плющения концентрированных кормов

Подготовленный для скармливания сельскохозяйственным животным корм должен отвечать зоотехническим требованиям соответствующих стандартов или технических условий на корма [1,8,15, 27, 29]. Эффективность корма будет тем выше, чем больше он соответствует по своим физико-механическим свойствам и содержанию питательных веществ потребностям животных [14, 55, 56].

Концентрированные корма, содержащие большое количество питательных веществ (зернофуражных злаков, бобовых культур, жмыха и др.), перед скармливанием подвергаются механической обработке — измельчению. Благодаря измельчению сырья существенно повышается общая поверхность частиц корма, что способствует лучшему пищеварительному процессу в организме сельскохозяйственных животных. Кроме этого, у зерновых и зернобобовых культур разрушается оболочка, которая препятствует воздействию пищеварительных ферментов на остальные части зерна.

Мартынов С.В. утверждает, что переваримость плющеного ячменя на 25...33% больше, чем целого, а привесы при кормлении бычков хлопьями толщиной 0,7 мм были на 5% больше, чем при скармливании хлопьев толщиной 2 мм [13]. Максимальная переваримость достигается при кормлении животных измельченным зерном с абсорбционным числом (степенью измельчения) 0,9... 1,0. Последнее определяется как отношение количества воды, абсорбированного 100 г зерна, помещенного в 200 г воды и перемешанного в течение 10 мин, к количеству сухого вещества, содержащегося в зерне.

Ромалийским В.С. [10, 25] для оценки степени плющения была принята абсорбционная характеристика хлопьев, то есть абсорбционное число,

которое потом было использовано при разработке исходных требований на плющилки и внесено в руководящий документ на испытание таких машин. Максимальная переваримость достигается при кормлении животных плющеным зерном с абсорбционным числом 0,8... 1,0 (минимальное значение - 0,5).

Мерко А., Мельников Е., Сергеева Е., Ушакова А. [11] исследовали влияние подготовки зерна на качество хлопьев. При плющении зерна в хлопья последние должны быть одинаковой толщины, содержать минимальное количество крошки и мучки, быть достаточно прочными, чтобы не крошиться при хранении, перевозках, перезатаривании в мелкую тару.

Получение хлопьев нужной толщины определяется величиной рабочего зазора между вальцами, но эти величины неоднозначны. Толщина хлопьев, вышедших из вальцов, постепенно увеличивается в результате релаксации напряжений, вызванных прессованием. Опытным путем могут быть определены коэффициенты восстановления толщины хлопьев K_v , представляющие собой отношение толщины хлопьев после ее восстановления H и величины межвальцового зазора h . Коэффициент восстановления зависит не только от свойств исходного продукта и способов подготовки, но и величины межвальцового зазора. С уменьшением зазора коэффициент восстановления повышается.

При различных способах подготовки возможна неравномерная обработка отдельных зерен, вызванная не только их разным качеством, но и неравномерным увлажнением, которое выравнивается в процессе отволаживания, неравномерным пропариванием и т. д.

В представленных экспериментальных исследованиях определялись некоторые показатели, характеризующие изменение структурно-механических свойств шелушенного зерна ячменя, пшеницы и ржи, подготовленного разными способами и подвергнутого плющению.

Были исследованы следующие способы подготовки:

1) зерно увлажняли до 25 %, отволаживали в течении 16 ч, пропаривали

при давлении пара 0,1 МПа в течение 3 мин, подсушивали, снимая 2...3 % влаги, шелушили до выхода 80 % у ячменя и 90 % у пшеницы и ржи;

2) зерно пропаривали при таких же параметрах, слегка подсушивали, шелушили до такого же выхода;

3) зерно увлажняли и отволаживали как в первом способе, но не пропаривали, подсушивали, снимая также 2... 3 % влаги, шелушили до такого же выхода.

При производстве хлопьев из зерна ржи последнюю в вариантах подготовки 2 и 3 увлажняли до 20 %.

Зерно плющили при разных зазорах между вальцами плющильного станка. Хлопья подсушивали до влажности 13... 14%. Определяли размерный состав хлопьев, их крошимость и толщину (табл. 1.1 и 1.2).

Таблица 1.1 – Размерный состав и крошимость хлопьев, полученных при межвальцовом зазоре 0,2 мм

Культура	Вариант гидро-термической обработки	Сход с сита, %		Проход сита, %; отверстия Ø 2,5 мм	Крошимость, % (проход сита с отверстиями Ø 2,5 мм)
		Отверстия			
		Ø 5,5 мм	Ø 2,5 мм		
Ячмень	1	52,8	41,0	8,2	24,0
	2	80,0	17,8	2,2	2,4
	3	86,7	9,4	3,9	9,6
Рожь	1	48,8	42,0	9,2	7,1
	2 (25%)	29,8	65,7	4,5	2,1
	2 (20%)	65,5	31,8	4,3	3,9
	3 (25%)	55,2	27,2	17,6	6,9
	3 (25%)	79,6	15,1	5,3	10,2
Пшеница	1	5,4	54,1	20,5	29,1
	2	24,7	68,1	7,2	4,8
	3	56,9	27,4	15,7	19,5

Результаты исследований показали весьма существенное влияние на структурно-механические свойства зерна и крупы пропаривания и увлажнения, особенно при высоких значениях (25 % и выше) последней операции.

Таблица 1.2 – Толщина и коэффициент восстановления хлопьев, полученных при разных межвальцовых зазорах

Культура	Вариант гидро-терм. обработки	Толщина хлопьев H (мм) и величина коэффициента их восстановления K_g , при зазоре h (мм)					
		$h = 0,4$		$h = 0,2$		$h = 0,1$	
		h	K_g	h	K_g	h	K_g
Ячмень	1	0,67	1,7	0,58	2,9	0,30	3,0
	2	0,60	1,5	0,30	1,5	0,25	2,5
	3	0,52	1,3	0,28	1,4	0,22	2,2
Рожь	1	1,05	2,5	0,79	4,0	0,53	5,3
	2	0,50	1,3	0,35	1,7	0,30	3,0
	3	0,54	1,3	0,31	1,5	0,24	2,4
Пшеница	1	1,61	4,0	1,03	5,0	0,51	5,1
	2	0,50	1,3	0,40	2,0	0,31	3,1
	3	0,48	1,2	0,36	1,8	0,25	2,5

Так, пропаривание сухого зерна не приводит к изменениям, положительно сказывающимся при последующем плющении крупы в хлопья. Структура ядра остается хрупкой, что приводит к разрушению значительного количества ядер при плющении, о чем свидетельствует большое количество крошки и мучки. Неразрушенные ядра образуют непрочные хлопья, крошимость которых велика.

Более существенное влияние на образование крупных хлопьев оказывает увлажнение зерна с длительным последующим отволаживанием, содержание которых выше, чем при других способах подготовки. Но одновременно при плющении образуется много крошки и мучки, хотя и меньше, чем при одном пропаривании. Кроме того, крупные хлопья весьма непрочны и обладают повышенной крошимостью. В этом случае ядро приобретает высокую пластичность, но не высокую прочность. Следует отметить различие в свойствах зерна разных культур. Если свойства зерна пшеницы и ржи достаточно близки, то свойства ячменя несколько отличны. Коэффициент восстановления ячменных хлопьев ниже, чем у хлопьев из зерна других культур. Это свидетельствует о более низкой упругости и более высокой пластичности зерна ячменя, подготовленного

рассмотренными выше способами.

Мельников Е., Ильницкая О. [12] утверждают, что разные виды зерновых продуктов существенно отличаются структурно-механическими свойствами. Это определяет разные варианты подготовки зерна к основной операции - плющению в хлопья. Именно недостаточная подготовка к плющению приводит к получению неравномерных по толщине и крупности хлопьев, а также к наличию в них большого количества крошки и мучки.

1.2. Физико-механические свойства зерна фуражных культур

При изучении зерна различают свойства отдельных зерен и зерновой массы, так как в технологических процессах кормоприготовления они приобретают важное значение.

Определяющей характеристикой величины зерен являются их линейные размеры, а также объем, так как с ним связаны насыпная масса, плотность, скважность и другие физико-механические свойства [14,55].

По своей структуре зерно является неоднородным телом. Оно состоит из эндосперма, оболочек и зародыша. Причем соотношение масс анатомических частей зерна заметно меняется в зависимости от сорта, крупности и других факторов. Эти части зерна обладают различными механическими свойствами. Эндосперм зерна характеризуется сравнительной хрупкостью, тогда как оболочки зерна обладают значительной вязкостью. Величина разрушающих напряжений оболочек в зависимости от сорта и влажности зерна составляет 9,5...31,5 МПа, тогда как разрывное напряжение эндосперма — лишь 1,7...3,3 МПа [27]. Стекловидный эндосперм обладает более высокой прочностью, чем полустеклоидный и мучнистый того же сорта зерна.

Первые экспериментальные исследования прочности зерна были проведены в 1876 г. профессором Афанасьевым П.А. [40]. Для определения сопротивления зерен сжатию он подвергал сдавливанию 200...250 зерен, помещенных в один слой между двумя стальными пластинками. На основе

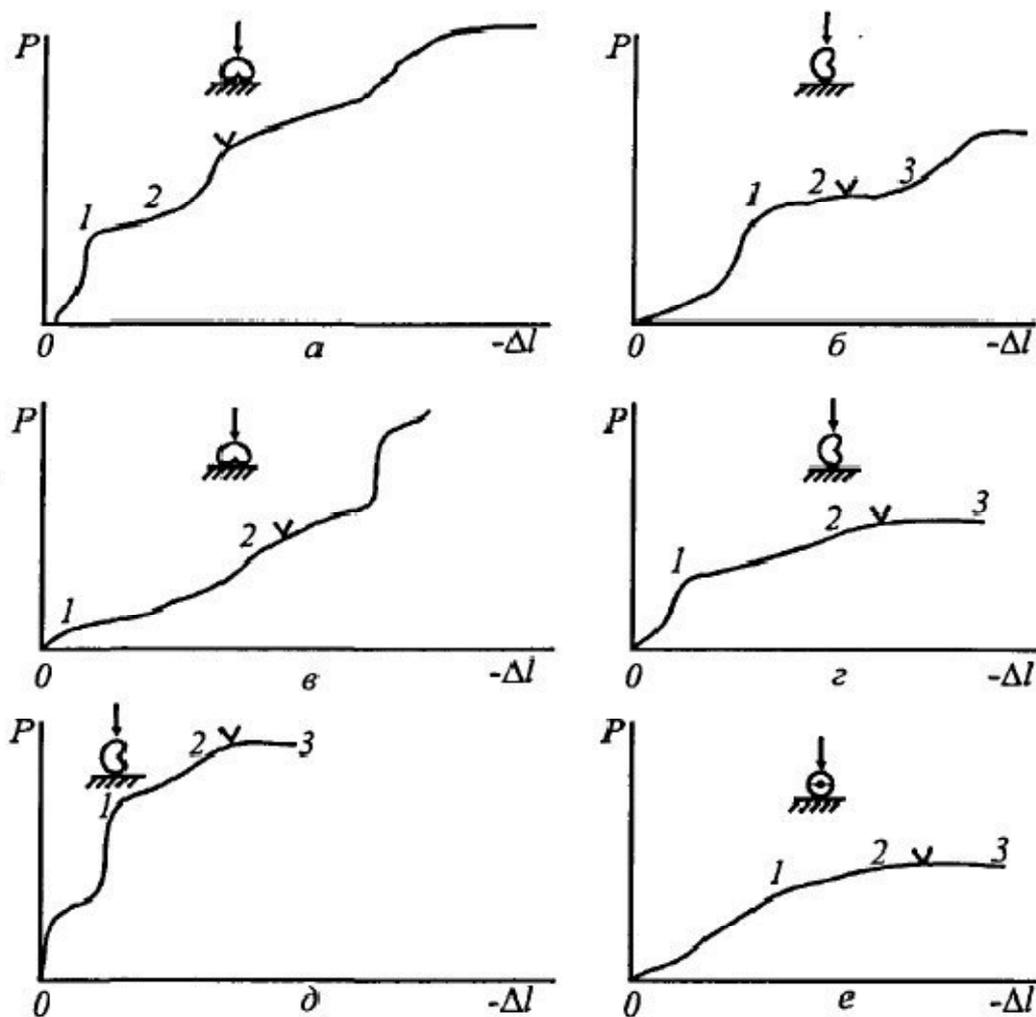
этих исследований Афанасьев П.А. установил, что относительное сжатие зерна до его разрушения пропорционально нагрузке и что предел пропорциональности изменяется в зависимости от влажности. В сухом зерне пропорциональность между давлением и сжатием нарушается раньше, чем во влажном.

Чистов С.А. при помощи специального приспособления определял величину сил, разрушающих зерно пшеницы различной влажности при деформациях сжатия, среза и изгиба. Он установил, что разрушающие усилия при деформации сжатия в 2...3 раза больше, чем при срезе [9].

Исследованиями в этой области также занимались Зворыкин К.А., Тарутин П.П., Орлов Н.М., Куприц Я.Н., Наумов И.А., Егоров Г.А., Казаков Е.Д., Хусид С.Д. и ряд других исследователей [1, 11, 13, 15, 46].

Мельниковым С.В. были [8] впервые получены рабочие диаграммы сжатия для зерен фуражных культур в координатах: усилие — деформация и построенные на их основе диаграммы напряжений в координатах: истинное напряжение - относительная деформация.

Диаграммы (рисунок 1.1) внешне напоминают кривые для мягких металлов. Они отмечают три наиболее характерных этапа в развитии деформаций. Начальный этап характеризуется относительно крутым подъемом кривой (0-1), при котором преобладающее значение играют упругие деформации в материале зерна. Второй этап отмечает резкое изменение направления кривой (1-2) и характеризуется плавным подъемом ее, что свидетельствует о быстром развитии пластических деформаций в зерне. Внешне эта часть кривой похожа на кривую текучести металлов.



а, б - ячмень в - овес без пленок; г - рожь; д - пшеница; е - горох

Рисунок 1.1 – Кривые сжатия зерен различных культур

Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к третьему, конечному этапу (2-3), который характеризуется разрушением оболочек зерна, то есть нарушением его внешней целостности и образованием наружных трещин.

Опыты, проведенные Мельниковым С.В., показали, что наибольшей твердостью из злаковых обладают зерна ячменя, а наименьшей - овса. По прочности среди злаковых первое место занимает ячмень.

Для сравнительной оценки механических свойств зерна разных культур Куприц Я.Н. предложил "шкалу твердости", в которой за меру сравнения выбраны показатели твердости пшеницы [14].

В таблице 1.3 приведены сравнительные характеристики прочности и твердости зерен сельскохозяйственных культур при влажности 12... 14%.

Таблица 1.3 – Сравнительные характеристики прочности и твердости зерен сельскохозяйственных культур

Культура	Вдавливание	Сжатие	Размол
	твердость, %	прочность, %	твердость (по Куприцу), %
Ячмень	100	100	100
Пшеница	84	91	83
Рожь	66	83	117
Горох	83	65	-
Овес	22 (без пленок)	54 (без пленок)	36 (в пленках)

В технологии кормоприготовления наибольшее значение имеют свойства фуражных культур, поэтому за единицу сравнения (100 %) приняты показатели механических свойств ячменя как наиболее прочного. В соответствии с этим данные Куприца Я.Н. пересчитаны на ячмень.

Куприц Я.Н. впервые изучал механические свойства не отдельных зерен, а их совокупности (навески, образца), пользуясь лабораторным ротационным электродинамометром с автоматической записью величины крутящего момента. Измельчению подвергалось зерно различных культур, сортов и влажности.

Изучив влияние культуры, сорта и влажности на прочность зерна, Куприц Я.Н. сделал следующие выводы:

— прочность различных сортов зерна неодинакова и при одной и той же влажности может значительно отличаться;

— прочность зерна является свойством, зависящим не только от сорта, но и от района произрастания;

- расход энергии на измельчение 1 кг зерна без учета суммарной поверхности частиц получаемых продуктов не может служить показателем прочности, так как не учитывает степени измельчения зерна;

- с повышением равномерно распределенной по всему объему зерна

влажности прочность при прочих равных условиях увеличивается.

Хусид С.Д. [46] отмечает, что величина влажности измельчаемого продукта - важнейший фактор технологии мукомольного производства. От выбора этой величины зависят основные показатели работы мельниц. Механические свойства зерна в значительной мере определяются его влажностью.

Ребиндер П.А. открыл явление понижения сопротивления твердых тел упругим и пластическим деформациям, а также механическому разрушению под влиянием адсорбции поверхностно-активных веществ из окружающей среды. Его работами установлено, что под влиянием адсорбции эффективность диспергирования повышается, так как число микрощелей, раскрывающихся в единице объема диспергируемого твердого тела, значительно возрастает. Это приводит к образованию высокодисперсного продукта, что имеет большое значение, особенно при тонком измельчении.

Хусидом С.Д. проведены исследования прочности зерна при измельчении его в зависимости от влажности. Анализируя экспериментальные данные, Хусид С.Д. установил, что с увеличением влажности независимо от структуры, сорта и района произрастания зерна величина прочности его при измельчении возрастает, однако степень возрастания обуславливается сортом и районом выращивания.

Он также исследовал микротвердость основных частей зерна (эндосперма и оболочек) в зависимости от влажности и установил, что с увеличением влажности микротвердость снижается. Хусид С.Д. пришел к выводу, что чем больше микротвердость зерна, тем больше его сопротивление пластической деформации и, наоборот, чем меньше микротвердость, тем меньше сопротивление зерна изменению его объема, тем оно мягче и пластичнее. При низкой влажности (10... 12%) твердое и стекловидное зерно в процессе измельчения ведет себя как тело с хрупким характером разрушения и поэтому микротвердость относительно велика. С повышением влажности зерна (до 17... 18 %) резко меняются его

механические свойства и при измельчении оно ведет себя как пластическое тело. Однако в связи с увеличением пластической деформации при измельчении зерна с высокой влажностью работа диспергирования заметно повышается.

Мельников С.В. [8] указывает на три основные формы связи влаги с материалом: химическая, физико-химическая и механическая. Для технологии измельчения зерна наибольшее практическое значение имеет механическая форма связи, которая характеризуется наличием в материале, главным образом, капиллярной (гигроскопической) влаги и влаги смачивания.

Куприц Я.Н. [14] разработал технологическую гидрограмму зерна (рисунок 1.2), на которой отмечены характерные границы и критические точки влагосодержания в зерне пшеницы. При этом в зависимости от преобладающей формы связи влаги с коллоидными материалами зерна, автор различает воду связанную и свободную.

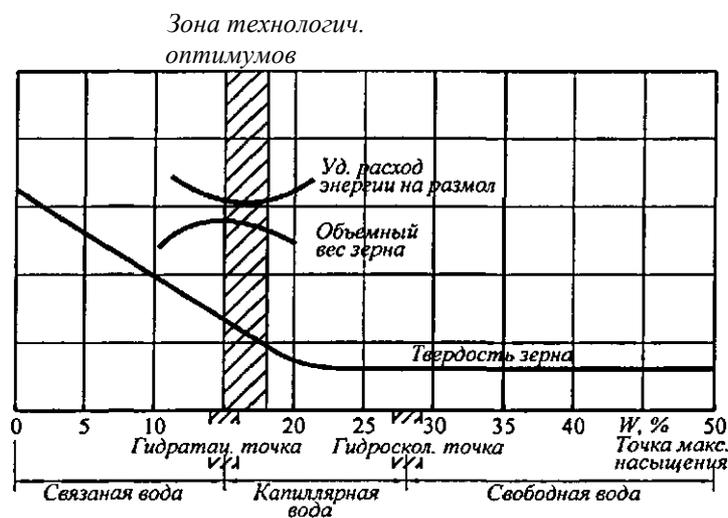


Рисунок 1.2 – Технологическая гидрограмма зерна (по Я.Н. Куприцу)

Область связанной воды ограничивается гидротационной точкой, при которой влажность зерна составляет 14... 16 % в зависимости от сорта и культуры. Далее, по мере увеличения влажности до 27...29 %, следует область капиллярной воды, ограниченная гигроскопической точкой. Третья область представляет собственно свободную воду. Верхний предел этой области

ограничивается точкой максимального насыщения, что соответствует влажности зерна 50 %.

Для длительного хранения зерна используется область связанной воды от 15,5 % и ниже [27], а для переработки - область капиллярной воды и главным образом ее начальная часть, то есть от 15 до 18 % влажности. Эта узкая зона, как показали исследования, является зоной технологических оптимумов влажности, обеспечивающей минимум энергоемкости рабочего процесса измельчения зерна.

Якушенков С.М. определял усилия, разрушающие зерно при статической нагрузке [9], оно сдавливалось по ширине на специальном винтовом прессе, где зерно располагалось на наковальне динамометрического кольца с проволочными датчиками.

Опыты показали, что при влажности 18,21 % зерно кукурузы ВІР-156 выдерживает статическую нагрузку в среднем равную 10,8 кг, а при влажности 29,28 % нагрузка разрушения снижается до 9,1 кг. Резкое снижение прочности наблюдается у зерен с влажностью выше 28%. Если с повышением влажности с 22,45 до 27,89 % (на 5,44 %) среднее усилие разрушения зерна понизилось с 9,82 до 9,63 кг (на 2 %), то с повышением влажности с 27,89 до 29,28 % (на 1,39 %) оно понизилось с 9,63 до 9,10 кг, т.е. на 4,5 %.

Сыроватка В.И., Ромалийский В.С. установили, что при увеличении влажности зерна с 16 до 32 % удельная работа на деформацию при статическом сжатии уменьшается в 5...8 раз, а при динамическом - в 1,8...2,4 раза [10, 25,].

Хусид С.Д. исследовал влияние температуры на механические свойства зерна [46]. Он отмечает, что при изменении температуры меняются механические свойства материалов (предел текучести, временное сопротивление, твердость и др.). Однако ход изменения этих свойств неодинаков для различных материалов.

Таким образом, физико-механические свойства зерна значительно

вливают на показатели рабочего процесса измельчения и плющения: энергоемкость процесса, производительность. Они существенно меняются в зависимости от культуры, сорта, партии и района произрастания. Поэтому исследования рабочего процесса плющилок необходимо проводить в одинаковых условиях на зерне одного сорта из одной партии. При этом за эталон для сравнительной оценки плющилок можно принять зерно ячменя, обладающее наибольшей прочностью и являющееся основной фуражной культурой.

1.3. Технология приготовления концентрированных кормов с применением плющения зерна

Фуражное зерно является основным компонентом при производстве комбикормов для животных и птицы, однако, при скармливании зерна в обычном виде усвояемость его питательных компонентов пищеварительными системами составляет не более 40...60% [16].

Зерно злаковых культур наряду с другими видами питательных веществ содержит много крахмала, усвоение которого при кормлении животных и птиц происходит медленно, и при этом продуктивно используются только определенная форма в небольшом количестве. По данным ряда исследований [27, 34 и др.] усвояемость питательного потенциала крахмала в созданной природной форме не превышает 20...25 % в зависимости от вида культур. Поэтому задача новых технологий переработки зерна состоит во внедрении таких способов обработки исходного сырья, которые позволили бы перевести крахмал в удобную для усвоения организмов животных форму. Это возможно при разрушении зерновой структуры крахмала на клеточном уровне, что способствует разрыву природных связей между отдельными составляющими частями и переводу его в более простые углеводы.

Без специальной обработки трудноусвояемой является также и клетчатка, которая содержится в большом количестве в зерне и бобах, особенно в их верхних защитных слоях и оболочках. Поэтому

разрабатываемые способы углубленной переработки исходного зернового сырья должны способствовать деструкции части целлюлозно-лигнинных образований клетки в природных формах и более простые виды моносахаров и аминокислот.

Многочисленными научными исследованиями, а также широкой производственной проверкой установлено, что отрицательное действие этих барьеров, предусмотренных природой для защиты, прежде всего семян, как биологического источника постоянного воспроизводства самих злаковых и бобовых культур, может быть устранено полностью или в значительной степени подавлено [38].

Исследование процесса пищеварения [41], например, у жвачных животных, уже сейчас позволило наметить пути, по которым должно осуществляться направленное воздействие на кормовые средства. Эти воздействия должны, прежде всего, повысить переваримость клетчатки, используя эффекты деструкции и деполимеризации ее молекулярных организаций с созданием в конечном продукте молекул с более короткой углеродной цепочкой, снизить растворимость и, следовательно, протеолиз белка в рубце, не изменяя скорость гидролиза его ферментами сычуга и кишечника. Не менее важной задачей является создание свойств, обеспечивающих оптимальные скорости гидролиза крахмала за счет определенных фазовых превращений кристаллических участков его структуры в аморфные. Направленные воздействия должны вносить нарушения в функциональные особенности антипитательных веществ, не нарушая при этом целостности и свойств аминокислот, витаминов и других биологически активных образований.

При обработке кормов для моногастрических животных направленные воздействия должны изменить нативную глобулярную структуру белка с целью раскрытия активных групп, на которые действуют ферменты. Естественно, что при таком изменении структуры белка может снизиться его растворимость, в связи с этим атакуемость белка ферментами можно сохранить

путем создания в продукте микропористой структуры [41].

В мировой практике комбикормового производства существует множество методов и технологий обработки зернового сырья с целью повышения его питательности. На рисунке 1.3 представлена классификация технологий и методов обработки кормовых материалов. Однако среди перечисленных наиболее применяемыми и эффективными методами являются следующие [36, 37]:

- поджаривание ячменя (с увлажнением, пропариванием или без него),
- экструдирование зерна, зернобобовых, зерна и отрубей совместно,
- пропаривание и плющение зерна, консервация и плющение или просто плющение,
- взрыв в кипящем слое или пневмотрубе — "взорванных" хлопьев,
- микронизация - обработка инфракрасными лучами зерновых и зернобобовых компонентов с последующим плющением,
- сухая экструзия - одноразовое или двухразовое гранулирование очищенного целого зерна без увлажнения в матричных прессах с последующим измельчением гранул,
- экспандирование - кондиционирование под давлением

Каждый из упомянутых способов требует специальных аппаратов, машин, вспомогательного оборудования. Те линии, в которых применяют открытое пламя: микронизация (по одному из вариантов сжигания природного газа в самом аппарате), поджаривание и "взрыв", - выполняют в отдельных помещениях, удаленных от основного производства.

Ковальчук Ю.К. [42] предложил схему послеуборочной обработки зерна, которая нами была усовершенствована и представлена на рисунке 1.3.

производства зерновых используется на фураж. При этой технологии уборка зерновых начинается на 10... 15 дней раньше, что позволяет провести ее в оптимальные сроки, снизить потребность в комбайнах, когда ощущается их острый дефицит во многих сельскохозяйственных организациях региона.

Использование плющеного зерна по сравнению с сухим зерном позволяет получить с каждого гектара урожай зерна на 5... 10 ц больше, так как уборка осуществляется тогда, когда зерно достигло наибольшей питательности, которая по мере высыхания даже на корню в дальнейшем уменьшается за счет испарения вместе с влагой некоторой части самых легкорастворимых питательных веществ (табл. 1.4) [26].

Таблица 1.4 – Возможный выход зерна с 1 га, ц

Технологические операции	Полная спелость при влажности 26%		Восковая спелость при влажности 35%	
	в натуре	в сухом веществе	в натуре	в сухом веществе
Уборка	30,0	22,2	37,6	24,4
Предварительная очистка	27,0	19,7	33,8	22,0
Сушка	22,0	18,7	—	—
Хранение	22,0	18,7	30,5	19,8
Выход зерна к исходному, %	71,0	84,0	81,0	81,0

Из таблицы 1.4 видно, что, убирая зерновые в фазу восковой спелости, можно получать дополнительные объемы фуражного зерна при его консервировании.

Высокая питательность достигается за счет того, что при уборке зерна в это время в составе содержащихся в нем углеводов до 15 % от сухого вещества составляют сахара и до 60 % - крахмал, а сырая клетчатка представлена преимущественно хорошо перевариваемыми формами, в составе белков отмечается высокий удельный вес водо- и солерастворимых фракций.

Возможная энергетическая и протеиновая питательность фуражного зерна в зависимости от технологии приготовления приведена в таблице 1.5 [26].

Из приведенных данных видно, что плющенное консервированное зерно обладает высокой питательной ценностью. Однако достичь таких результатов в условиях рядового производства достаточно трудно. Это обусловлено рядом причин технологического и организационного характера.

В общем виде технология обработки влажного зернового вороха для использования на фураж должна включать в себя следующие технологические операции: 1) обмолот зернового вороха; 2) транспортировку; 3) плющение; 4) внесение консерванта; 5) разравнивание и трамбовку; 6) герметизацию.

Таблица 1.5 – Питательная ценность фуражного зерна

	Зерно дробленое полной спелости	Зерно плющенное восковой спелости
Содержится в 1 кг натурального корма:		
сухого вещества	0,850	0,650
кормовых единиц	1,03	1,13
Содержится в 1 кг сухого вещества:		
обменной энергии, МДж	11,11	12,19
сырой протеин, %	13,4	13,41

В зависимости от производственных условий, имеющейся и применяемой технологии, эти операции могут объединяться, некоторые меняться местами.

В общем понимании технология - это процесс превращения исходного материала в готовый продукт, обладающий иными, предварительно заданными свойствами. Применительно к послеуборочной обработке фуражного зерна - это процесс получения из влажного зернового вороха плющеного консервированного корма.

Исходя из этого, технологию обработки зернового вороха надо строить не как сумму отдельных операций, при каждой из которых изменяются только отдельные свойства, а как единый процесс, в каждой операции которого изменяется ряд свойств материала в нужную сторону.

Рассмотрим более подробно технологические операции.

Обмолот зерноуборочным комбайном хлебной массы влажностью 30...35% несколько затруднен, что сказывается на его производительности. Травмирование зерен в данном случае не играет роли, однако, потери зернового вороха возрастают вследствие недомолота из-за более прочного удержания зерен в колосе. Для эффективной работы в данных условиях необходима настройка комбайна на более "жесткий" режим частоту вращения молотильного барабана необходимо увеличить и довести до максимальной, зазоры в молотильном аппарате должны быть минимальными, следует чаще чистить подбарабанье, грохот, решета и соломотряс. При влажности зерна 40 % можно начинать уборку в том случае, если поверхность зерна и соломины сухая.

Транспортировка зерна не отличается от общепринятой. Доставленный с поля зерновой ворох разгружается на площадку временного хранения, он не должен храниться более 2...3 часов перед дальнейшей обработкой (после чего зерно начинает интенсивно нагреваться и "гореть").

При низкой культуре выращивания и уборке зерновых возникает проблема засоренности зернового вороха. Присутствующая в ворохе солома "наматывается" на подающий ротор плющилки, мелкие семена сорняков попадают в готовый корм и могут сохранять всхожесть, пройдя даже через желудок животных, могут попадать камни, почва, металлические включения при уборке зерновых. Особенно опасны металлические детали, так как приводят к деформации вальцов плющилки. Установка в технологическую линию предварительного ворохоочистителя типа ОВС-25 позволяет очистить ворох и загрузить плющилку, однако его производительность не выше 6 т/ч. Выходом из данной ситуации является повышение культуры выращивания зерновых.

Загрузка в плющилку может осуществляться погрузочными средствами различных типов и производительности, среди них, например, шнек зерновой

СК-2 производства "Брянксельмаш" производительностью по зерну до 7 т/ч, протравливатель семян ПС-10 производительностью до 5 т/ч, транспортер-загрузчик картофеля ТЗК-30, переоборудованный для зерна (его преимущество - возможность прямо из автомобиля принимать зерно и загружать в плющилку, но необходимо его дооборудование во избежание просыпания зерна), трактор с погрузчиком любого типа может использоваться на открытых площадках, но использование его в помещении затруднено из-за задымленности и габаритов, могут также использоваться другие типы транспортеров и погрузчиков непрерывного действия.

Плющение - наиболее рациональный способ переработки влажного зерна для скармливания, при котором обеспечивается высокое качество корма. Энергоемкость плющения гладкими вальцами составляет до 8 кВт-ч/т при влажности зерна 20...30 %. Более эффективны рифленые вальцы, обеспечивающие повышение производительности, снижение энергоемкости и металлоемкости плющилки в 1,3...2,0 раза. Для измельчения влажного зерна перед скармливанием можно применять и зерновые дробилки, однако, в ходе измельчения происходит залипание решет, процесс идет нестабильно. При этом затраты энергии возрастают до 20...25 кВт-ч/т при повышении влажности зерна до 28...30 %, а производительность дробилок уменьшается на 30...50 % [45].

Внесение и смешивание консерванта с зерном. Основные требования к выполнению этих технологических операций следующие: точное дозирование консерванта; равномерный поток зерна в плющилке; тщательное перемешивание консерванта с зерном.

Используемые в настоящее время в Северо-Восточном регионе РФ химические консерванты импортные. Это, в основном, смеси на основе муравьиной кислоты AIV, Amnifog и Promig с добавлением пропионовой кислоты до 20 %.

Вместо химических консервантов предоставляется возможным использование более дешевых и безопасных веществ и материалов: сахара,

кормовой патоки, молочной сыворотки и др. В настоящее время ведутся активные разработки биологических препаратов, которые можно применять в качестве консерванта для влажного зерна.

Закладка на хранение с трамбовкой и укрытием. Выполнение этих технологических операций зависит от типа хранилища, выбранного для хранения плющеного зерна. Так как денежных средств на строительство новых хранилищ, специально предназначенных для этих целей, в сельскохозяйственных организациях, как правило, нет, то можно использовать для хранения плющеного зерна сальные сараи, зерно-, картофеле-, корнеплодохранилища и т. п. [46].

Преимущества технологии консервированного зерна в плющеном виде заключается в следующем [9]:

- уборка начинается в стадии восковой спелости зерна при влажности 25...35 %, когда питательная ценность зерновых наивысшая, поэтому с 1 га площади заготавливают на 10...20 % больше корма;
- урожай убирается на 2...3 недели раньше обычных сроков, что важно для регионов с неустойчивым климатом;
- не требуется сушки зерна, следовательно, экономится 30...60 кг/т жидкого топлива;
- нет необходимости дробить зерно после сушки, т. е. исключается одна из стадий приготовления кормов;
- возможно выращивание более поздних и урожайных сортов;
- снижаются потери от осыпания и от птиц;
- погодные условия не оказывают решающего значения при комбайнировании;
- не требуется предварительная очистка вороха зерна после комбайнов;
- ранняя уборка зерновых позволяет успешнее расти травам, а в некоторых случаях, даже успевать дополнительно получать урожай других культур;
- неравномерное созревание зерна не затрудняет его обработку, используются и зеленые, и мелкие, и разрушенные зерна;

- ранняя уборка позволяет получить солому для корма лучшего качества.

Пилипенко А.Н. [21,32,42] пишет об одной из новых механизированных технологий в кормопроизводстве - закладка на хранение и переработка фуражного зерна в состоянии естественной повышенной влажности, получаемого непосредственно от уборочных машин.

До настоящего времени в нашей стране к уборке фуражного зерна по традиции предъявляются те же требования, что и для семенного и продовольственного. В увлажненных районах, в большинстве случаев, прямое комбайнирование начинается в период полной биологической спелости при влажности зерна 20...25 % [52]. В последующие 3...5 дней урожай и качество зерна на корню остаются без существенных изменений, а затем происходит их существенное снижение. У перестоявшего хлеба усиливается выпадение зерен и обламывание колосьев, что может привести к потерям 25...30 % урожая [52].

Если к зерну злаковых предъявлять требования, как к фуражному материалу, то при влажности 45 % оно становится зрелым, а максимальная урожайность зерна в целом и, в частности, протеина достигается при 40 % влажности, что позволяет на 10...15 дней раньше начать комбайновую уборку. В такой фазе зрелости зерно, обработанное консервантами, может надежно храниться в течение длительного времени не только в герметически закрытых траншеях, башнях, но и в насыпном состоянии на площадках, в закрытых помещениях.

Результаты зоотехнических исследований показывают, что при консервировании достигаются минимальные потери в процессе хранения, лучше поедается и усваивается корм. Как свидетельствуют данные лабораторных химических анализов растений, оптимальное количество питательных веществ в зерне не соответствует требованиям, предъявляемым к оптимальному качеству зерна при дроблении. С увеличением влажности материала свыше 15 % энергоемкость дробления возрастает, а надежность выполнения технологического процесса снижается. В связи с тем, что

рациональные показатели качества зерна, пригодного к дроблению, совпадают с оптимумом состояния зерна, пригодного для длительного хранения в естественных условиях, в практике сложилось и узаконилось положение, при котором оптимум свойств зерна, отвечающий дроблению, принимается неизблемым, и задача предварительной подготовки фуражного зерна сводится к приведению его до состояния сухого зерна. При этом происходят значительные потери питательных веществ и расход дополнительной энергии.

С внедрением в практику подготовки зерна плющением представляется возможным перерабатывать его при вязко-пластическом состоянии, что соответствует свойствам влажного, а также неокончательно дозревшего зерна.

Хранение влажного фуражного зерна и скармливание его скоту экономически выгодно. Консервирование его в герметичной среде по сравнению с сушкой дает возможность сократить затраты труда на хранение на 28...41 %, а также экономить электроэнергию и топливо. Себестоимость фуража снижается на 19...24 % [51].

Селезнев А.Д., Савиных В.Н., Гаврилович С.В. [18] определили экономическую эффективность заготовки и использования в кормлении крупного рогатого скота консервированного плющеного зерна. Заготовка и использование в кормлении крупного рогатого скота консервированного плющеного зерна позволяет:

- увеличить валовой сбор фуражного зерна на 8...10 % за счет снижения потерь при уборке;
- снизить энергозатраты на 23 % за счет исключения сушки, очистки и размола зерна;
- уменьшить расход жидкого топлива на 80 % в сравнении с традиционной технологией использования фуражного зерна;
- повысить усвояемость корма на 5...8 %, среднесуточные привесы крупного рогатого скота - на 9...11 %, надой - на 7...10 %.

1.4. Обзор существующих конструкций плющилок зерна

Рассмотрим некоторые конструкции плющилок зерна. Вызывает интерес плющилка валковая ПВ-ГарантАгро (рисунок 1.4) применяется для плющения зерновых, бобовых и технических сельскохозяйственных культур.



Рисунок 1.4 – Плющилка валковая ПВ-ГарантАгро

Недостатком данной конструкции является отсутствие мобильности, нет выгрузного устройства, маленькая производительность, отсутствие регулировки грубости помола.

Плющилка Murska 220 SM (рисунок 1.5) предназначена для плющения зерна. Оборудована закаленными вальцами с продольной насечкой.

Недостатком данной конструкции является отсутствие выгрузного устройства. Отсутствие регулировки тонкости помола. Установка не мобильна.

Валки изготовлены из высококачественного материала. Содержит выбрасыватель инородных частей (камней) и магнит при входном отверстии (предохраняет вальцы от попадания железных частиц). Регулирование скорости вращения вальцов.



Рисунок 1.5 – Пльоцилка Murska 220 SM

Зерноплюцилка модель Sommer «Мікро» (рисунок 1.6) предназначена для плющення злакових культур, овса, також обробки ячменя і кукурузи.



Рисунок 1.6 – Зерноплюцилка для зерна Sommer «Мікро»

Недостатком данной конструкции является отсутствие выгрузного устройства. Отсутствие регулировки тонкости помола. Установка не мобильна.

Зерноплющилка Sipma «Atlas» (рисунок 1.7) является машиной для дробления зерна всех видов зерновых и зернобобовых, льна и т.д., предназначенных для приготовления концентрированных кормов.



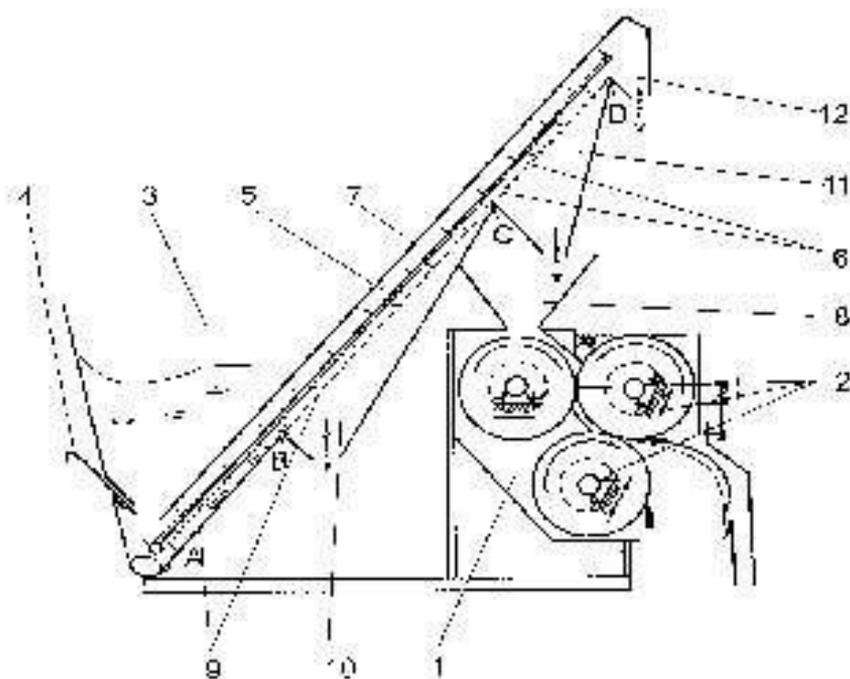
Рисунок 1.7 – Зерноплющилка Sipma «Atlas»

Плющильные машины могут быть оборудованы двумя и тремя плющильными вальцами из чугуна, зубчатым и ременным приводом. Плющилки имеют две рабочих щели, через которые поочередно проходит материал. В зерноплющилке обеспечивается постепенное расплющивание зерен (сначала в большой, потом в малой щели). При одной операции можно расплющивать крупные и мелкие зерна (например, кукурузу, бобы, горох одновременно с овсом или ячменем). Ширина первой щели (предварительной) постоянна, а ширина второй щели регулируется.

Недостатками данного устройства являются: отсутствие выгрузного шнека, отсутствие мобильности, нет регулировки тонкости помола.

Вальцовая плющилка для зерна (рисунок 1.8) состоит из камеры для плющения 1, внутри которой смонтированы параллельные вращающиеся

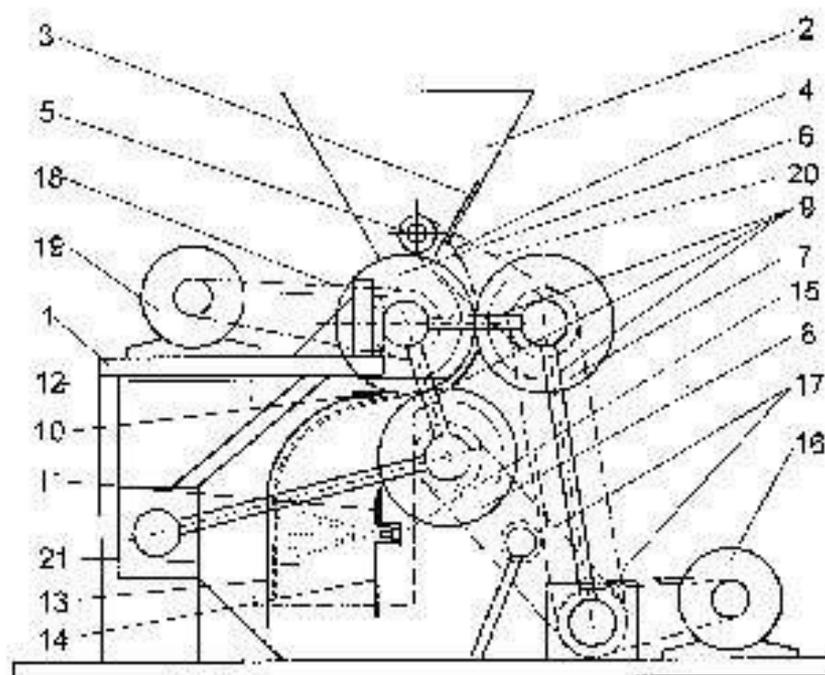
валцы 2 для измельчения (плющения) зерна, загрузочный бункер 3 с регулировочной заслонкой 4, питающее устройство, представляющее собой скребковый транспортер 5 с обрезиненными скребками 6 в корпусе 7, соединенное с камерой для плющения зерна 1 посредством питательного бункера (течки) 8, при этом нижняя стенка 9 корпуса транспортера, по которой перемещается поступивший на измельчение (плющение) зерновой материал, состоит из трех соединенных между собой участков: цельнометаллической пластины (участок АВ), решетка с мелкими отверстиями (подсеивной решетка) (участок ВС) и решетка с крупными отверстиями (колосовой решетка) (участок CD). Под решетками ВС и CD, а также под верхней кромкой нижней стенки 9 корпуса транспортера 7 смонтированы приемники фракций соответственно 10, 11, 12. На участке ВС отделяются короткие примеси, на участке CD отделяется подлежащее измельчению зерно, за участком CD отделяются длинные примеси.



1 – камера для плющения, 2 - валцы плющения зерна, 3 - загрузочный бункер, 4 - регулировочная заслонка, 5 - скребковый транспортер, 6 - обрезиненные скребки, 7 – корпус, 8 - питательный бункер, 9 - нижняя стенка корпуса транспортера, 10, 11, 12-решета.

Рисунок 1.8 – Схема плющильного агрегата АПФ-5

На (рисунке 1.9) изображена технологическая схема плющилки зерна по патенту №2477178.



1 - рама; 2 - питающий бункер; 3 - регулировочная заслонка; 4 – направляющая пластина; 5 - питающий валец; 6 - верхний основной валец; 7,8 - боковой, нижний валцы; 9 - регулировочный механизм положения валцов; 10,11,12 - очищающие ножи; 13 - направляющая пластина; 14 - пластина; 15 - форсунки; 16,19 - электродвигатель; 17,18,20 - цепные передачи; 21 - камера смешивания

Рисунок 1.9 – Схема плющилки зерна по патенту №2477178.

Вальцовый станок состоит из рамы 1, питательного бункера 2 с регулировочной заслонкой 3, криволинейной направляющей пластины 4, питающего вальца 5 с канавками, верхнего основного 6, бокового 7, нижнего 8 валцов. Верхний основной валец 6 установлен на неподвижных опорах, а боковой 7 и нижний 8 валцы установлены на регулировочном механизме положения валцов 9, обеспечивающем изменение положения бокового 7 и нижнего 8 валцов в пространстве. Регулировочный механизм 9 позволяет регулировать межвальцовые зазоры между верхним основным 6 и боковым 7, верхним основным 6 и нижним 8 валцами.

Очищающие ножи 10, 11, 12 установлены у верхнего основного 6, бокового 7 и нижнего 8 валцов. За очищающим ножом 10 смонтирована

направляющая пластина 13, за очищающим ножом 11 - пластина 14, на которой установлены форсунки 15. Привод валцов 7 и 8 осуществляется от электродвигателя 16 через цепные передачи 17, валца 6 - через цепную передачу 18 от электродвигателя 19, валца 5 - от валца 7 через цепную передачу 20. Направляющая пластина 13 и пластина 14 образуют камеру смешивания 21.

Устройство относится к комбикормовой промышленности и сельскому хозяйству. Миниплющилка относится к устройствам для плющения зерна с целью повышения его питательных свойств.

Миниплющилка для зерна состоит из рамы 1 (рисунок 1.10), электродвигателя 2, клиноременной передачи 3 для передачи вращения на обечайку 13 посредством имеющегося на ее наружной поверхности клинового паза 12. Обечайка вращается в подшипниковом узле 11. Внутри обечайки 13 консольно установлен валец 10, который вращается на валу в подшипниках, а другой конец вала закреплен на платформе 9, которая одним концом шарнирно закреплена на раме 3, а вторым концом опирается на пружину 7, жесткость которой может изменяться регулировочной гайкой 6.

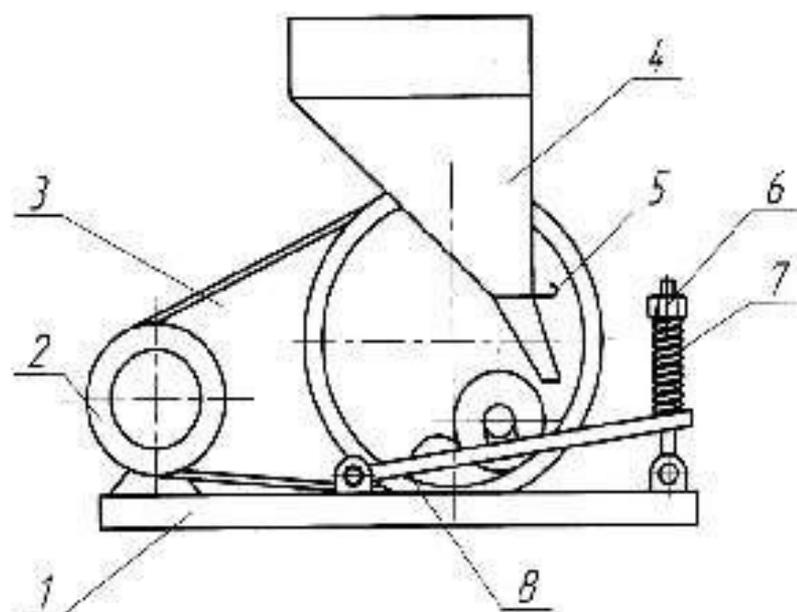


Рисунок 1.10 – Схема миниплющилки зерна по патенту № 52342

Для подачи зерна имеется бункер 4 с шиберным затвором 5, снабженный зернораспределительным устройством в виде желоба. Скребок 8 счищает

плющенное зерно с внутренней поверхности обечайки 13 и наружной поверхности вальца 10 и направляет его в емкость для сбора или хранения.

Миниплющилка работает следующим образом. Зерно засыпают в приемный бункер 4. Включают в работу электродвигатель 2. Вращающий момент через клиноременную передачу 3 приводит во вращение обечайку 13. Открывают шиберный затвор 5, подавая зерно к обечайке и валцу 10 и устанавливают необходимую толщину плющения, уменьшая или увеличивая жесткость пружины 7 гайкой 6. Пластинки зерен после плющения скребком 8 выдаются из плющилки. При попадании твердого включения в зазор между внутренней поверхностью обечайки и наружной поверхностью вальца, валец вместе с платформой 9 поднимается вверх, преодолевая сопротивление пружины 7, пропускает твердое включение и возвращается в исходное положение.

Устройство относится к области сельскохозяйственного машиностроения и может быть использовано в сельском хозяйстве, зерноперерабатывающей и комбикормовой промышленности для одновременного плющения разнокалиберного зерна.

Плющилка для плющения зерна включает раму 1 (рисунок 1.11), бункер 2 для зерна, привод 3, вальцовое плющильное устройство 4, включающее обечайку 5 внутреннего плющения, внутри обечайки 5 установлен валец 6 с возможностью качения по внутренней поверхности обечайки 5, за валцом 6 в обечайке 5 установлено выгрузное устройство 7 с чистиком 8, делящее плющенное зерно на две части, которые выводятся по разные стороны обечайки 5 в выгрузную воронку 9.

Плющилка работает следующим образом. В зависимости от требуемого качества плющения зерна между внутренней поверхностью обечайки 5 и валцом 6 устанавливают зазор от 0,2 мм до 0,4 мм. Установку зазора производят посредством перемещения вальца 6 регулировочными винтами 23, затем в бункере 2 загружают предварительно очищенное зерно и включают привод 3 плющилки, который посредством шкива 15 через клиновые ремни 14

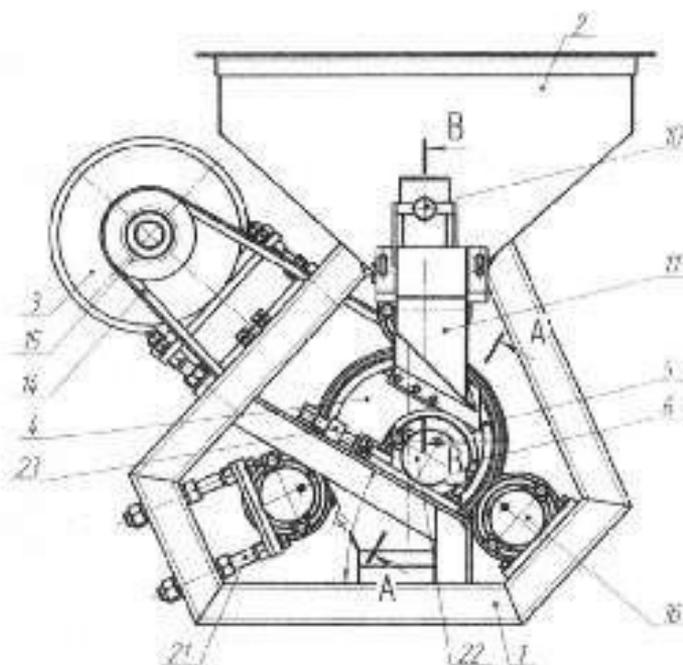


Рисунок 1.11 – Схема плющилки зерна Гера-Попова

и клиновые дорожки 13 на наружной поверхности обечайки 5 приводит ее во вращательное движение, после того как установится устойчивый режим работы плющилки, затворами 10, расположенными по торцам обечайки 5, открывают подачу зерна через распределительные точки 11 в сходящийся криволинейный канал между внутренней поверхностью обечайки 5 и вальцом б, зерно за счет трения захватывается и вовлекается в зазор, где происходит его плющение. Плющенное зерно собирается в нижней части обечайки 5, где выгрузным устройством 7 с чистиком 8 разделяется на две части и выгружается по разным сторонам обечайки 5 в выгрузную воронку 9. В процессе работы обечайка 5 своими направляющими дорожками 12 катится по роликам 17 роликовых пар 16, при этом гребни 19 роликов 17 не позволяют обечайке 5 с направляющими дорожками 12 сойти с роликовых пар 16. Регулировка зазора между направляющими дорожками 12 обечайки 5 и радиальной поверхностью роликов 17, конусность которой изменяется от 1:3,5 до 1:15 от наружного края к середине, где на краю роликов 17 она переходит в гребни 19, осуществляется регулировочными винтами 21 одной из роликовых пар 16.

Таким образом, плющение зерна (и, как следствие, улучшение качества

продукта и повышение его усвояемости животными) представляется перспективным, поэтому необходимы более тщательные исследования процесса плющения зерна с целью упрощения конструкции плющилок с одновременным повышением их пропускной способности и качества плющения, а также уменьшения энергозатрат.

1.6. Задачи научного исследования

Проведенный анализ исследований по плющению зерна показывает, что в нашей стране и за рубежом существует большое количество технологических схем и оборудования для выполнения этого процесса. Основной причиной, сдерживающей дальнейшее повышение уровня механизации приготовления кормов (плющения зерна), является высокая энергоемкость процесса плющения сухого зерна, неудовлетворительное качество их работы, низкая надежность рабочих органов.

В связи с этим дальнейшее развитие средств механизации плющения зерна должно идти, в первую очередь, в направлении разработки и использования универсальных и надежных плющилок, способных плющить зерно независимо от его вида и состояния.

На основании анализа научных работ и учитывая тенденции развития их конструкций, перед настоящим исследованием были поставлены следующие задачи:

- обосновать основные параметры и режимы работы плющилки зерна;
- разработать конструктивно-технологическую схему плющилки зерна;
- экспериментально обосновать применение схемы плющения с гладкой рабочей поверхностью валцов;
- получить математические модели рабочего процесса для определения оптимальных конструктивно-технологических параметров и режимов работы плющилки зерна.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

2.1 Анализ теоретических исследований процесса плющения зерна

Ромалийским В.С. [10] при исследовании коэффициента трения по стали на тензометрическом стенде установлено, что с увеличением нормального давления на одно зерно до 0,8 кН коэффициент трения уменьшается до определенного значения и при дальнейшем увеличении давления остается неизменным для каждой определенной влажности (например, для влажности от 20 до 32 % он равен от 0,15 до 0,1). Это объясняется выделением влаги из зерна при его сжатии [10].

Андрианов А.М., Спорькин В.В. [33] исследовали влияние влажности на сопротивляемость зерновок разрушению рифлеными поверхностями. Сопротивляемость разрушению рифлеными поверхностями фуражных культур в зависимости от влажности до настоящего времени изучена недостаточно. Эти данные необходимы для проектирования плющильных установок, предназначенных к использованию в комбинированном способе переработки зернового сырья.

Сдавливающие поверхности имели прямоугольные рифли с шагом, равным 1,8 мм. Результаты опытов, представленные на рисунке 2.1 [33], показали, что работа деформации в зависимости от влажности претерпевает существенные изменения и имеет максимальное значение в интервале от 11 до 14 %.

Обращает на себя внимание то, что изменение влажности от 13-14 до 16 % не вызывает значительного повышения работы деформации. Следовательно, если увлажнять ячмень и овес с начальной влажностью 10..11 %, это приведет к снижению расхода энергии на плющение. Когда увлажнению подвергается зерно с начальной влажностью 13..14 % (такая влажность наиболее часто встречается и называется нормальной), то увеличение влажности эндосперма не превысит 1..2 % и поэтому расход энергии на измельчение существенно не

ИЗМЕНИТСЯ.

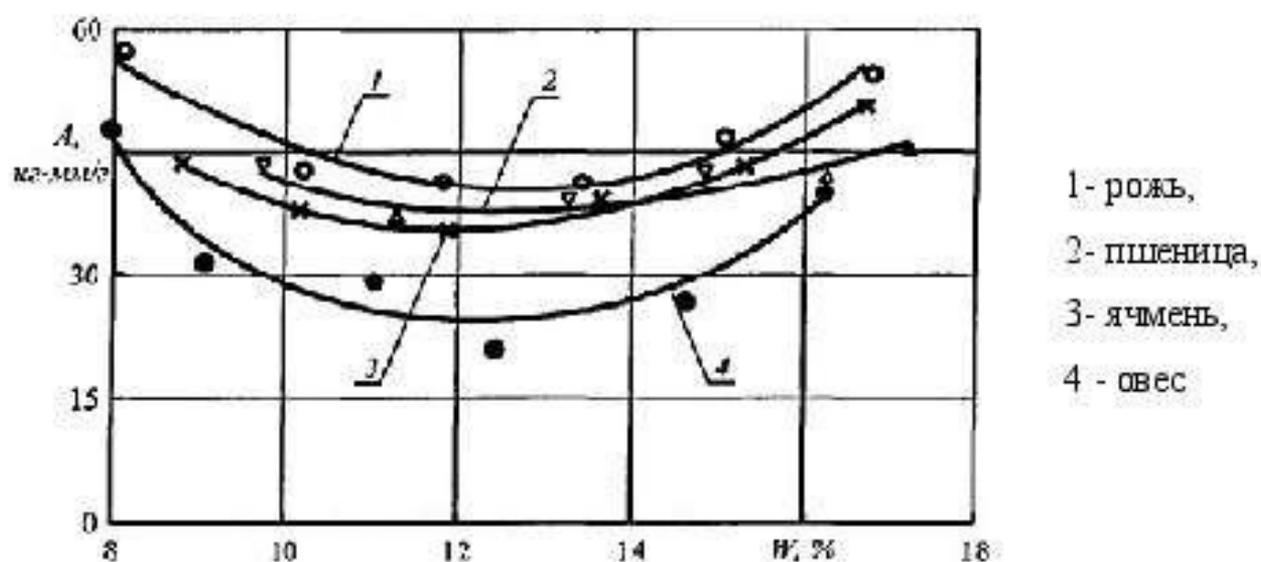


Рисунок 2.1 – Зависимость работы деформации (0,8 мм) от влажности

Проведенные опыты позволяют рекомендовать увлажнение, как средство повышения сопротивляемости пленки разрушению, то есть сохранению более цельной структуры хлопьев, что повышает качество хлопьев [33].

Известные исследования процесса плющения влажного зерна гладкими поверхностями [34] и сухого — рифлеными [35] не отражают закономерностей процесса плющения влажного зерна рифлеными поверхностями. Влажное зерно является упруго-пластичным материалом. Рассматривая плющение зерна рифлеными поверхностями как внедрение в него ряда клиньев, суммарную силу сжатия можно определить по формуле

$$P = \frac{l}{t} \cdot E \cdot \frac{h_{сж}}{h} \cdot (\operatorname{tg} \beta + f \cdot \sin^2 \beta + \mu \cos^2 \beta), \quad (2.1)$$

где l — длина зерна; t — шаг рифли; h — толщина зерна; $h_{сж}$ — величина сжатия зерна; E — модуль упругости; μ — коэффициент Пуассона; β — половина угла заострения рифли; f — коэффициент трения.

Тогда работа деформации A на единицу длины деформирующей

поверхности будет

$$A = \frac{l}{t} \cdot E \cdot \frac{h_{\text{сж}}}{3 \cdot h} \cdot (\operatorname{tg} \beta + f \cdot \sin^2 \beta + \mu \cos^2 \beta). \quad (2.2)$$

Определив удельную работу деформации в статических условиях A , величину потребной мощности на привод плющилки N можно рассчитать по формуле

$$N = k \cdot A \cdot Q + N_0 \quad (2.3)$$

где Q – пропускная способность плющилки; k – коэффициент, учитывающий скорость деформации и свойства зерна, N_0 – мощность холостого хода.

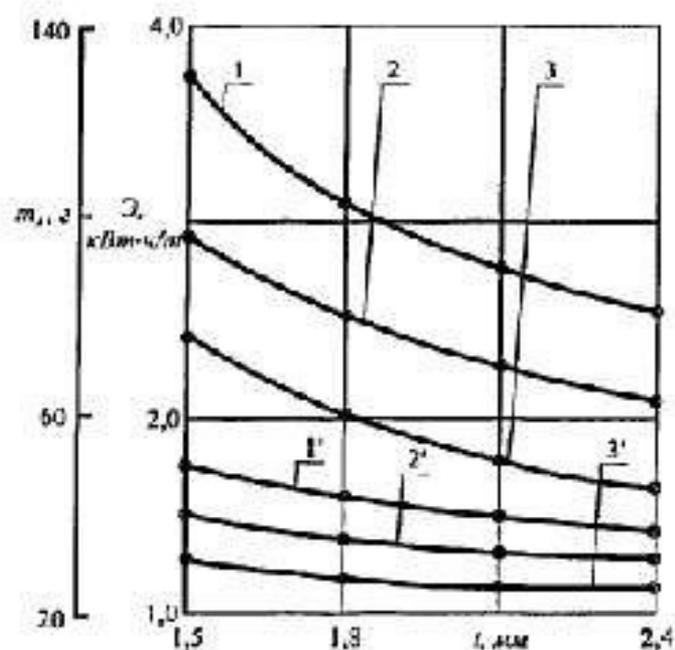
Значения, входящих в формулы (2.2) и (2.3) величин E , μ и k , берут из опытных данных [25].

В ВИЭСХ исследовано плющение влажного консервированного зерна с целью обосновать главные параметры рабочих органов и режимы работы плющилок. Для экспериментов были изготовлены установки, позволяющие определять усилия при плющении как в статических, так и в динамических условиях, а также энергоемкость процесса и качество плющения в зависимости от геометрических размеров рифленых поверхностей и режимов работы установок.

В динамических условиях процесс исследовали на экспериментальной зерноплющилке со сменными рифлеными и гладкими вальцами шириной 60 мм и диаметром 250 мм. Шаг рифлей при статическом сжатии принимали 1,2; 1,5; 1,8; 2,1 и 2,4 мм, а угол их заострения – 90, 110, 130, 150 и 180° (гладкие пластины); при динамическом плющении был равен 1,5; 1,8; 2,1; 2,4 и 2,7 мм [32].

Результаты исследований показали, что при сжатии ячменя влажностью 24% между пластинами с шагом рифлей 1,8 мм изменение угла их заострения от 90 до 150° увеличивает удельную работу на деформацию от 2,0 до 6,9 кДж/кг. Минимальный угол заострения, при котором рифли не забиваются зерном, равен 110°, поэтому дальнейшие исследования проводили на вальцах с различным шагом рифлей и углом их заострения 110°.

Затраты энергии на площение в большей степени зависят от шага рифлей (рисунок 2.2).



(1, 2, 3) и абсорбционных свойств хлопьев (1', 2', 3') от шага рифлей при межвальцовом зазоре 0,5 мм (1, 1'), 0,7 мм (2, 2') и 0,9 мм (3, 3')

Рисунок 2.2— Зависимость энергоемкости площения

При анализе данных, представленных на рисунке 2.2 можно сделать вывод, что увеличение шага рифлей от 1,5 до 2,4 мм сокращает энергоемкость \mathcal{E} на площение ячменя влажностью 24% с 3,75 до 2,50 кВт·ч/т при зазоре 0,5 мм и площение ячменя влажностью 24% с 3,75 до 2,50 кВт·ч/т при зазоре 0,5 мм и с 2,90 до 2,05 кВт·ч/т при 0,7 мм. Однако при этом уменьшается степень площения [25].

Андрианов А.М., Елисеев В.А. [26] исследовали влияние окружной скорости и диаметра валков на пропускную способность и удельный расход энергии зерноплощилки.

При проектировании зерноплощилок необходимо определить их пропускную способность и удельный расход энергии. В литературных источниках менно с повышением энергоемкости растет действующее на валцы распорное усилие, которое увеличивается в 1,3 раза при изменении и от 4 до 10 м/с [25]. В работе [36] дано выражение для определения пропускной

способности плющилки

$$Q = 0,2 \cdot \varphi \cdot \gamma \cdot L \cdot R \cdot n \cdot (2 \cdot h + P), \quad (2.4)$$

где Q – пропускная способность плющилки, φ – степень разрыхления движущегося продукта ($\varphi = 0,4$); γ – удельный вес, L – длина вала, R – радиус вала, h – зазор между валами, P – распорное усилие валков при плющении, n – число оборотов.

Согласно формуле (2.4) пропускная способность плющилки пропорциональна диаметру валков и числу их оборотов. На самом деле это не так (Аналогичные формулы приведены в работах [37, 38]). С увеличением скорости валков будут возрастать инерционные силы, приложенные к зерну и препятствующие его прохождению в зазор между валами. В результате этого пропускная способность плющилки будет возрастать медленнее, чем окружная скорость. Отставание продукта от скорости поверхности валков будет увеличиваться с уменьшением диаметра валков [26].

Следовательно, если изменение пропускной способности плющилки зависит только от изменения коэффициента разрыхления φ , то можно записать, что

$$\varphi = \varphi(v, D). \quad (2.5)$$

Для выяснения влияния окружной скорости и диаметра валцов на максимальную пропускную способность и удельный расход энергии плющилки были проведены опыты на экспериментальной установке, краткая характеристика которой представлена в таблице 2.1 [36].

Таблица 2.1 – Краткая характеристика экспериментальной плющилки

Показатели	Ед. изм.	Количество
Диаметр валков	мм	155, 220, 290, 355, 440
Длина валков	мм	60
Вид валков	Рифленные и гладкие	
Шаг рифлей	мм	1,8
Угол при вершине	град.	90
Окружная скорость поверхности валцов	м/с	6, 8, 10, 12 и 16
Мощность электропривода	кВт	20

Опыты проводили на рифленых вальках. Плющили ячмень влажностью 11... 13%. Дозирование материала осуществляли ленточным транспортером (дозатором). Высота падения зерна во время опыта оставалась постоянной. За максимальную пропускную способность плющилки принимали такую, при которой плющилка была близка к завалу. Результаты опытов (рисунок 2.4 и 2.5) соответствуют величине зазора между вальками, равной 1 мм [26].

Из рассмотрения графика (рисунок 2.3) следует, что зависимость между пропускной способностью плющилки и диаметром вальцов нелинейная. Рост пропускной способности происходит медленнее, чем увеличение диаметра вальцов. Так, с изменением диаметра вальцов от 155 до 440 мм, т. е. почти в три раза, пропускная способность плющилки увеличилась всего в два раза. Графики показывают также, что изменение окружной скорости от 6 до 12 м/с вызывает увеличение пропускной способности плющилки в 1,4... 1,5 раза. Дальнейшее увеличение окружной скорости вальцов до 16 м/с приводит к снижению пропускной способности плющилки.

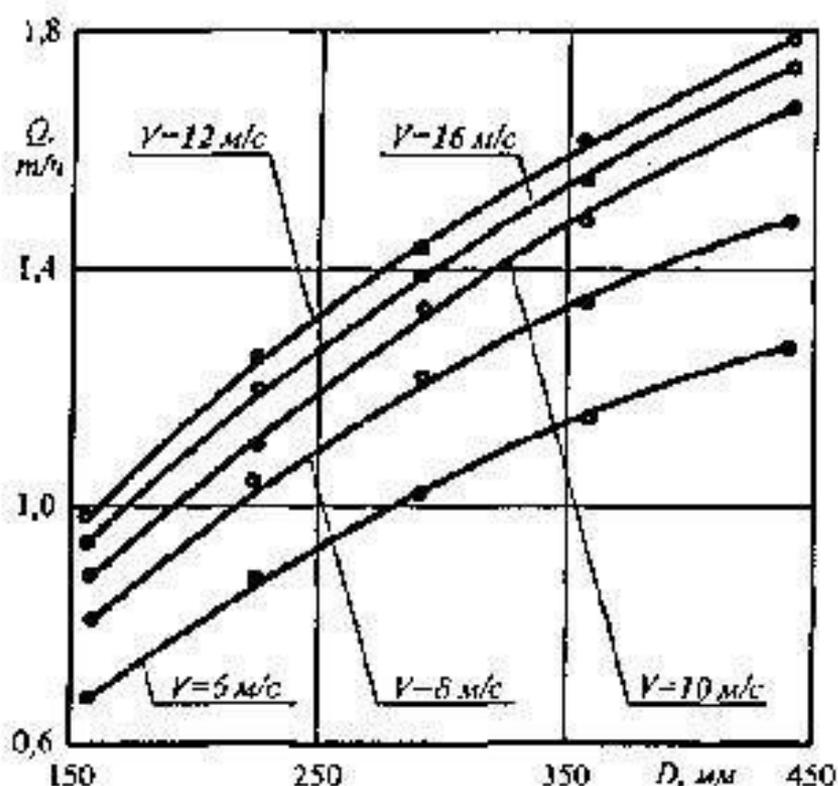


Рисунок 2.3 – Влияние диаметра вальцов D на пропускную способность плющилки Q при различных окружных скоростях V

На рисунке 2.4 представлен график изменения энергоёмкости в зависимости от диаметра вальцов. Анализ зависимости показывает, что с изменением диаметра вальцов от 150 до 440 мм энергоёмкость увеличивается на 15...20 %. Изменение же окружной скорости вальцов от 6 до 16 м/с вызывает увеличение энергоёмкости в 1,6... 1,8 раза [26].

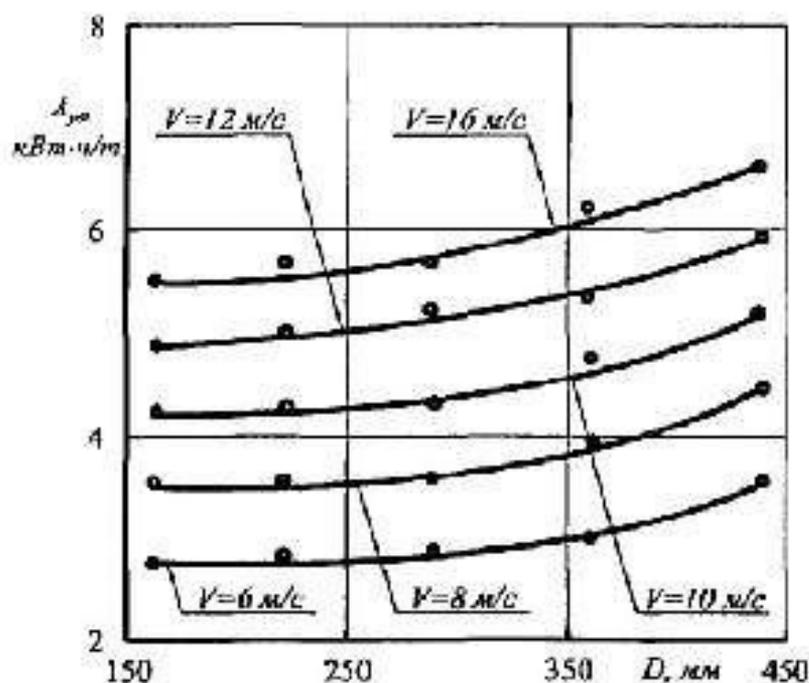


Рисунок 2.4 – Влияние диаметра вальцов D на энергоёмкость плющилки при различных окружных скоростях V

Дорофеев Н.С., Сундеев А.А. [30] исследовали технологические способы плющения влажного зерна. Зерно повышенной влажности все шире используется в рационе животных. Как показали исследования [39], при кормлении крупного рогатого скота увлажненным плющеным зерном затраты корма сокращаются на 20... 45 % по сравнению с использованием сухого дробленого продукта.

Процесс переработки фуражных культур, увлажненных до 32...35 %, в настоящее время исследован недостаточно. Отсутствие необходимых рекомендаций для создания машин по переработке увлажненного фуражного зерна сдерживает внедрение передовых приемов кормления в практику наших хозяйств.

В связи с этим изучение процесса плющения влажного зерна

проводилось в двух направлениях [31]. В первой серии опытов по статическому сжатию зерна определяли усилие и характер деформации зерна в зависимости от влажности зерновки и формы деформируемой поверхности.

Как следует из полученных результатов, при зазоре между гладкими поверхностями 0,45...0,50 мм усилия деформации снижаются с 20 до 6 кН при увеличении влажности с 15 до 35 %. Снижение усилия деформации с ростом влажности материала объясняется ростом текучести эндосперма зерновки.

В общем виде эта зависимость может быть представлена выражением

$$Q=f(S,v) \quad (2.6)$$

где Q — пропускная способность цилиндрической зерноплющилки, S — поверхность контакта валков, v — скорость перемещения поверхности контакта.

Повышение пропускной способности зерноплющилок с гладкой рабочей поверхностью валцов за счет увеличения линейных скоростей валцов малоэффективно, а увеличение поверхности контакта S сопровождается ростом диаметра валцов и, как следствие этого, возрастанием габаритных размеров и металлоемкости установки. В тоже время площадь контакта поверхности плющения S можно значительно увеличить при тех же размерах установки, если развернуть плоскость деформации на некоторый угол α относительно оси вращения.

Для проверки указанного предложения была изготовлена плющильная установка. Рабочий процесс в машине осуществляется по принципу затягивания материала в конусную щель, образованную на стыке двух поверхностей плющения. В опытах использовались конические валки, вращающиеся с равной угловой скоростью ω . Переработке подвергалась зерновая смесь ячменя с овсом влажностью от 18 до 32% на одном и том же зазоре между поверхностями деформации, равном 0,7...0,8 мм. Для определения относительной эффективности процесса плющения зерна проводились параллельные опыты на серийном вальцовом стенке, оборудованном под плющилку (рисунок 2.5).

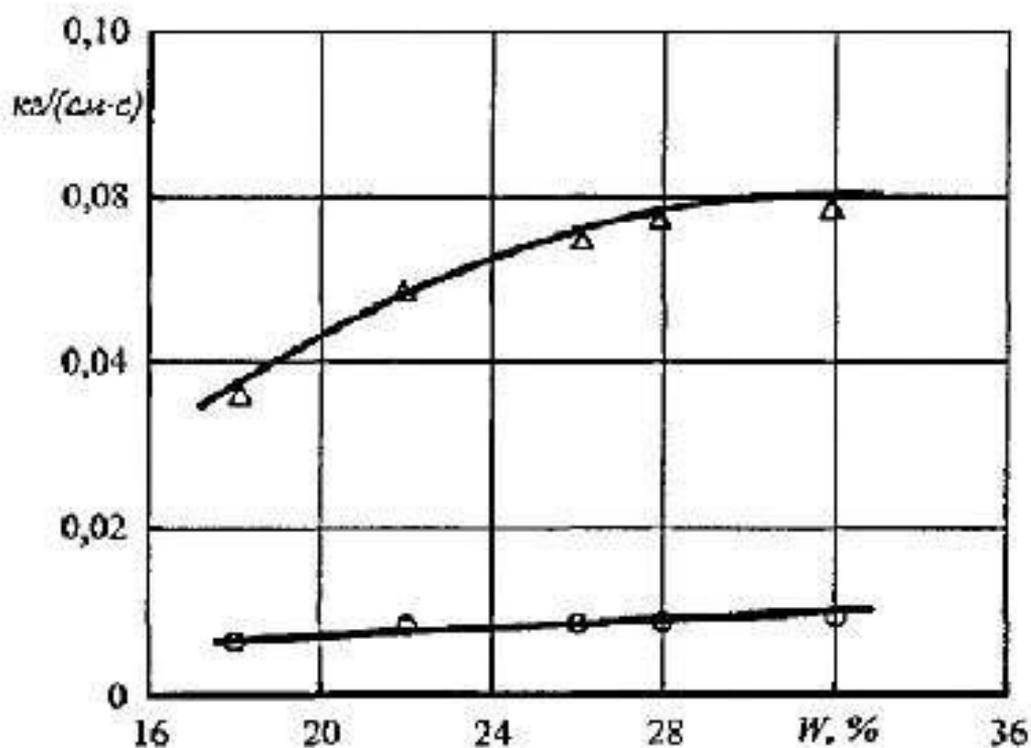


Рисунок 2.5 – Зависимость удельной пропускной способности зерноплющилок от влажности зерна при зазоре в зоне контакта 0,75...0,80 мм

Анализ процесса переработки зерна повышенной влажности на двух указанных схемах показал, что пропускная способность установки не превышает 0,008 кг/(см·с), установка с конической формой плющильных валков имеет удельную пропускную способность до 0,06 кг/(см·с). Увлажненное зерно легко перерабатывается на валках с конической формой поверхности, что позволяет повысить пропускную способность (в 5 и более раз) по сравнению с серийной машиной типа ЗМ-30хбО [31].

Акулинин А.Г. [41] провел аналитические исследования нагрузок, действующих на валцы зерновых плющилок.

Установлено [41, 42, 43], что процесс деформирования зернового материала можно разделить на две фазы: первая - перераспределение материала в его оболочке и его уплотнение, вторая — пластическое течение материала.

Была составлена программа расчета нагрузок на валцы плющилок. За основу принято зерно ячменя, для которого были даны геометрические параметры, физико-механические и упруго-пластические свойства при

изменении влажности. Полученные на ЭВМ графические зависимости (рисунок 2.6) позволяют определять максимальную пропускную способность, мощность привода и рабочие нагрузки на валцы при плющении зерна минимально возможной влажности [41].

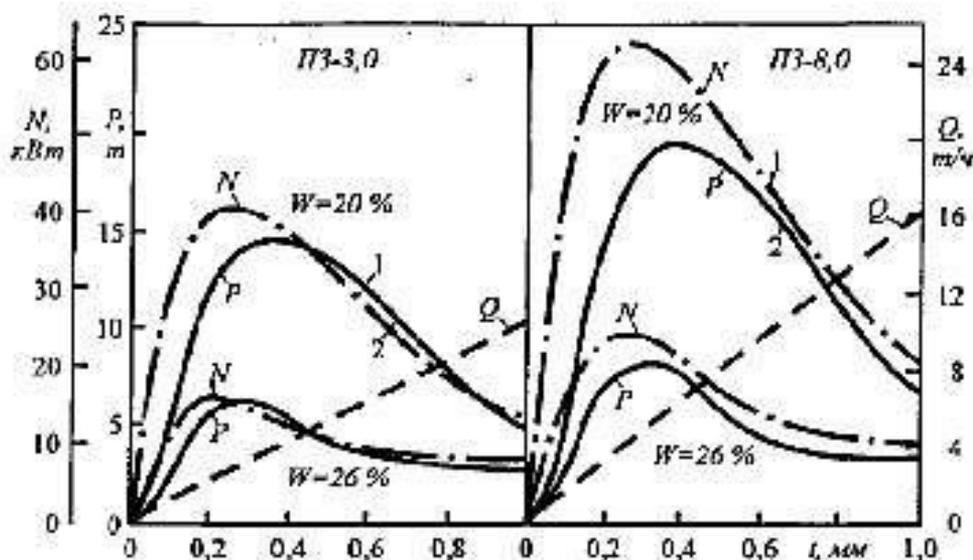


Рисунок 2.6 – Характер изменения распорного усилия P , потребляемой мощности N и пропускной способности Q плющилок в зависимости от установленного межвальцового зазора при влажности зерна (ячменя) 20 и 26%

Андрианов А.М. [44] произвел расчет распорных усилий и мощности электропривода при плющении зерна. При проектировании зерноплющилок возникает необходимость в расчете величин распорных усилий и приводной мощности. Однако имеющиеся в литературе сведения о явлениях, происходящих в межвальцовом пространстве, не дают возможности хотя бы приблизительно оценить значение распорных усилий, действующих на валцы зерноплющилки.

Давление на поверхности валцов обуславливается действием двух сил - нормального P_2 и касательного t_2 (рисунок 2.7).

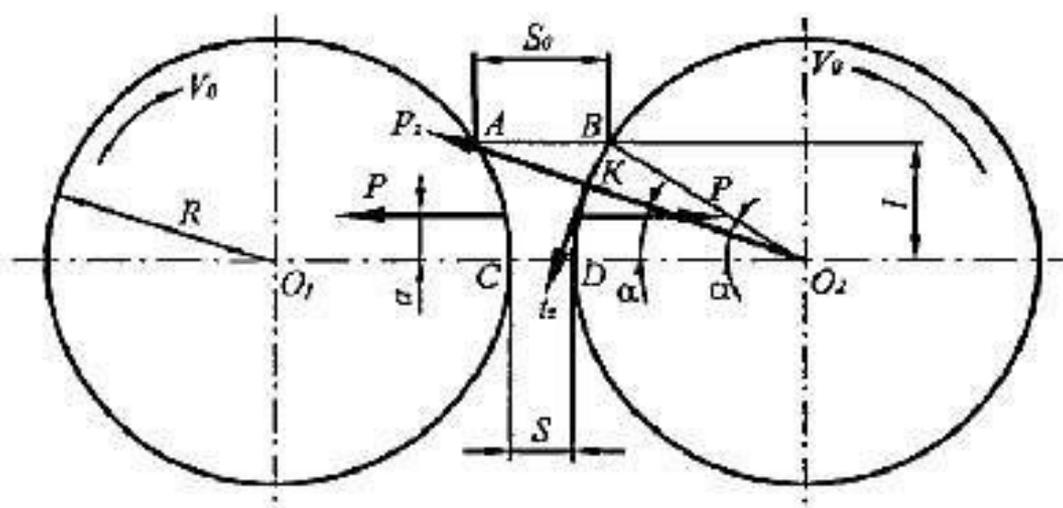


Рисунок 2.7 – Схема сил, действующих в рабочей зоне вальцов

Для упрощения расчетов в них вводят среднее значение удельного распорного усилия, определяемого по формуле

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{\alpha_0} \int_{\alpha}^{\alpha_0} P_x(\alpha) d\alpha, \quad (2.7)$$

где α_0 – угол дуги BD (рисунок 2.8).

В теории прокатки металлов [45] выделены формулы для определения распорных усилий, действующих на вальцы. Однако вследствие существенных различий физико-механических свойств зерновок и металла использовать эти формулы в расчетах зерноплющилок не представляется возможным без поправочных коэффициентов.

Если принять, что длина рабочей зоны у зерноплющилки согласно работе [44,46]

$$l = \sqrt{R(S_0 - S)}, \quad (2.8)$$

где l — длина рабочей зоны, R - радиус вальцов, S_0 — начальная толщина зерновки, S — толщина зерновки после плющения, а толщина зерновки в нейтральном сечении равна

$$S_H = \sqrt{S_0 \cdot S} \quad (2.9)$$

то величина распорного усилия, действующего на вальцы зерноплющилки,

определится по формуле

$$P = k \frac{2 \cdot B \cdot L \cdot s_H}{(s_0 - s) \cdot (\delta - 1)} \left[\left(\frac{s_H}{s} \right)^\delta - 1 \right], \quad (2.10)$$

где k — поправочный коэффициент, B — ширина валцов, δ - коэффициент, определяемый по формуле

$$\delta = 2 \cdot \mu \cdot \frac{l}{s_0 - s}, \quad (2.11)$$

где μ — коэффициент трения зерна о металл.

По известной величине распорного усилия определяется мощность, потребная на работу зерноплющилки

$$N = 10^{-3} 75 \cdot \frac{k' \cdot P \cdot V_0 \cdot l}{R}, \quad (2.12)$$

где V_0 — окружная скорость поверхности валцов, k' - поправочный коэффициент, учитывающий ошибку в определении точки приложения равнодействующей удельных распорных усилий.

Для выяснения величин поправочных коэффициентов k и k' были проведены опыты на экспериментальной зерноплющилке. Перерабатывали ячмень влажностью 13..14%. Чтобы обеспечить постоянство зазора, в конструкции плющилки отсутствовали предохранительные пружины. Измерение распорного усилия проводили с помощью тензометрирования.

Анализ данных научных исследований будут учтены при конструировании лабораторной установки и ее экспериментальных исследованиях.

2.2 Расчет и выбор основных параметров вальцовой плющилки

2.2.1 Расчет валцов

Основной рабочий орган плющилок – нарезные или гладкие валцы, их рифли характеризуются формой, уклоном, числом на единицу длины окружности вальца и углом резания.

В поперечном сечении рифли имеют две неравные грани: узкую – грань острия (рисунок 2.8) и широкую – грань спинки.

Угол γ (рисунок 2.9), заключенный между этими гранями, называется углом заострения и по стандарту принимаем равным 90° . Радиус, проведенный через вершину рифли, делит стандартный угол заострения на два угла: $\alpha = 20^\circ$ – угол острия и $\beta = 70^\circ$ – угол спинки. Тупой угол ψ , заключенный между гранью рифли и касательной к цилиндру, проведенной через вершину рифли, условно называют углом резания. В зависимости от выбранного режима работы валцов угол резания будет разным ($90 + \alpha$ или $90 + \beta$).

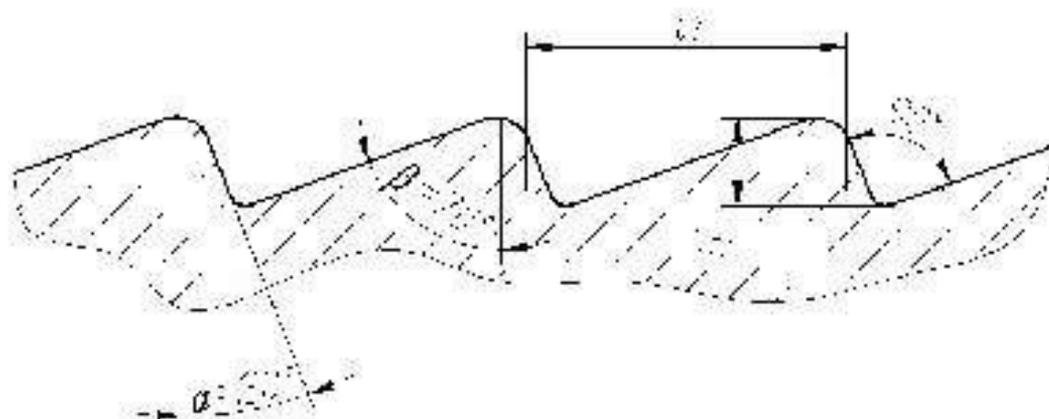


Рисунок 2.8 – Профиль рифлей валцов

На вершине рифли имеется площадка шириной $S = 0,15$ мм, необходимая для сохранения точной формы цилиндра после нарезки валца.

Шаг t , рифлей по окружности определим по формуле, м

$$t = \frac{2h}{\sin 2\alpha}, \quad (2.13)$$

где h – высота рифлей, м, ($h = 0,001$ м).

$$t = \frac{2 \cdot 0,001}{\sin 2 \cdot 20^\circ} = 0,003 \text{ м}$$

Определим число n рифлей на 1 см длины окружности:

$$n = \frac{10}{t}, \quad (2.14)$$

$$n = \frac{10}{3} 3,3 \text{ рифли.}$$

Принимаем 3 рифли на 1 см длины окружности.

Для устранения неравномерности нагрузки и вибрации валцов рифли наносят под некоторым углом δ наклона к образующей цилиндра; при встрече они образуют угол γ зацебления. При этом $2\delta = \gamma \leq 2\varphi$ (φ – угол трения зерна о грань рифли).

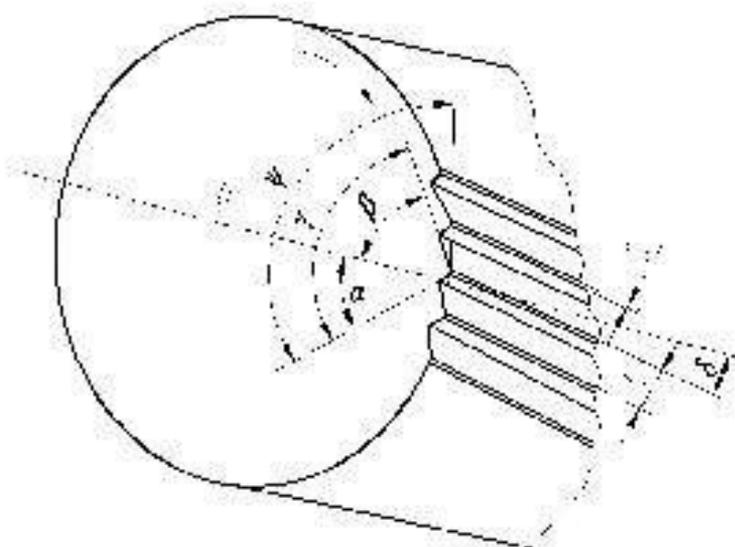


Рисунок 2.9 – Форма рифлей валцов

Учитывая то, что $\varphi = 15^\circ$ принимаем угол зацебления γ равным 30° .

Для кинетики измельчения важное значение имеет взаимное расположение рифлей парноработающих валцов. Из двух возможных вариантов на плющилках принято устанавливать валцы с рифлями в положения «острие по острию» или «спинка по спинке». В первом случае имеет место наиболее интенсивное воздействие рифлей на зерно (грубый помол), во втором – самое «мягкое». В нашем случае, для плющения зерна принимаем установку валцов с рифлями в положение «острие по острию».

Валцы проектируемой плющилки одинаковых диаметров, вращаются с одинаковой окружной скоростью и подвергают зерно сложной деформации – сжатию и сдвигу. При этом в относительном движении рифли парноработающих валцов движутся навстречу друг другу, в результате чего в рабочем зазоре и происходит разрушение зерна.

Длина пути l обработки зерна в зоне измельчения может быть найдена с учетом следующих соображений. Если зерно размером a (рисунок 3.8) коснулось валцов в точках A и A_1 и с этого момента подвергается воздействию рифлей вплоть до прохода через рабочий зазор Δ на линии центров OO_1 , то длина пути обработки будет равна длине дуги AB . Допуская небольшую погрешность, примем, что дуга AB равна стягивающей ее хорде. Тогда длину пути обработки определим как:

$$l = \sqrt{\frac{D(d_z - \Delta)}{2}}, \quad (2.15)$$

где D – диаметр вальца, м ($D = 0,3$ м);

d_z – эквивалентный диаметр зерновки пшеницы, м;

Δ – рабочий зазор между вальцами, м ($\Delta = 0,001$ м).

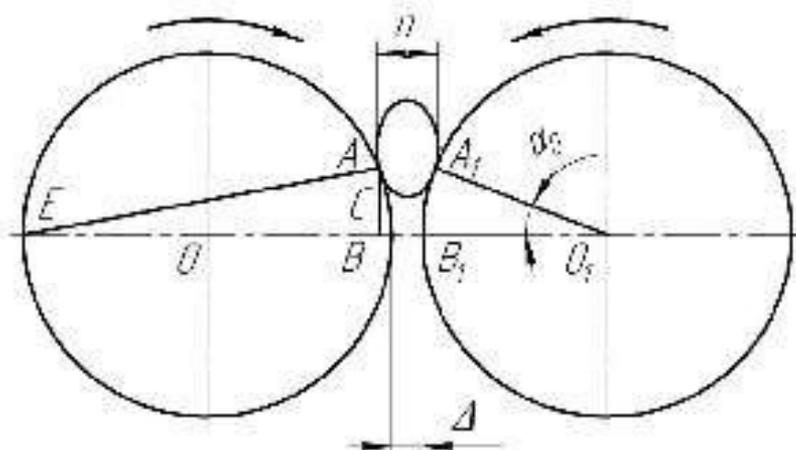


Рисунок 2.10 – Схема работы валцов

Для частиц неправильной формы эквивалентный диаметр d_z определяют как диаметр шара, имеющего объем, равный объему средней частицы, т. е.

$$d_z = \sqrt[3]{\frac{6V_z}{\pi}}, \quad (2.16)$$

где V_z – объем зерновки, м³.

Семена зерновых культур имеют эллипсоидную форму, их объем определялся по формуле

$$V_z = 0,523abc, \quad (2.17)$$

где a, b, c – размеры семени (соответственно длина, ширина, толщина), м
($a = 6,31 \cdot 10^{-3}$ м, $b = 3,06 \cdot 10^{-3}$ м, $c = 2,81 \cdot 10^{-3}$ м).

$$V = 0,523 \cdot 6,31 \cdot 10^{-3} \cdot 3,06 \cdot 10^{-3} \cdot 2,81 \cdot 10^{-3} = 2,8 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3.$$

Тогда

$$d_s = \sqrt[3]{\frac{6 \cdot 2,8 \cdot 10^{-8}}{3,14}} = 3,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

В результате определим длину пути l , обработки зерна в зоне измельчения

$$l = \sqrt{\frac{0,3(0,0038 - 0,001)}{2}} = 0,0205.$$

Время пребывания частиц материала в зоне измельчения T определи по формуле:

$$T = \frac{l}{v}, \quad (2.18)$$

где v – окружная скорость валцов, м/с.

Окружную скорость валцов v определим по формуле

$$v = \pi D n, \quad (2.19)$$

где n – частота вращения вальца, об/сек.

Частота вращения валцов в плющилках зерна находится в пределах 320...430 об/мин. Принимаем частоту вращения валцов проектируемой плющилки $n = 380$ об/мин или $n = 6,3$ об/сек.

Тогда окружная скорость валцов:

$$v = 3,14 \cdot 0,3 \cdot 6,3 = 6 \text{ м/с.}$$

Время пребывания частиц материала в зоне измельчения

$$T = \frac{0,0205}{6} = 3,4 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Полученное время пребывания частиц материала в зоне измельчения свидетельствует о том, что разрушение зерна валцами носит ударный характер.

Так как предельное значение угла α_0 равно углу φ трения, то минимальный диаметр вальца определим по формуле:

$$D_{\min} = \frac{d_s - \Delta}{1 - \cos\varphi}; \quad (2.20)$$

$$D_{\min} = \frac{0,0038 - 0,001}{1 - \cos 15^\circ} = 0,0822 \text{ м.}$$

2.2.2 Расчёт производительности плющилки

Теоретическую производительность вальцовой плющилки определим по формуле:

$$Q = 3600(\Delta + h)L \cdot v \cdot \rho \cdot \varphi_s \quad (2.21)$$

где l – длина вальцов, м ($L = 0,1$ м);

φ_s – коэффициент, учитывающий степень заполнения материалом зоны измельчения $\varphi_s = 0,3$.

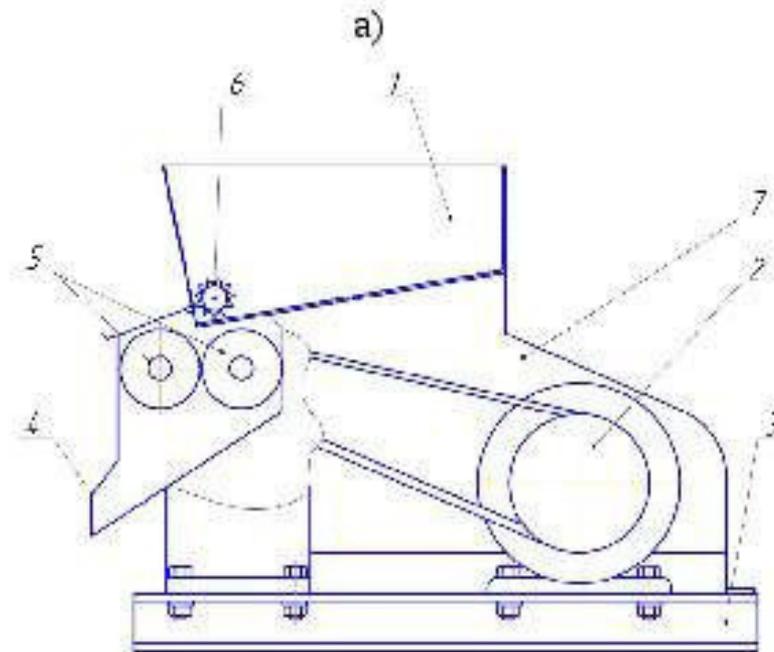
Таким образом, производительность плющилки Q , кг/ч:

$$Q = 3600(0,001 + 0,001) \cdot 0,1 \cdot 0,5 \cdot 800 \cdot 0,3 = 75 \text{ кг/ч}$$

2.3 Разработка малогабаритной плющилки зерна

На основании анализа научно-технической литературы и анализа конструкций существующих устройств для плющения зерна, а также с учетом особенностей функционирования плющилок [53, 54, 12, 30, 31 и др.] нами разработана конструктивно-технологическая схема малогабаритной плющилки зерна, имеющая меньшие удельные энергозатраты, при получении готового плющеного продукта с наилучшим качеством за счет использования вальцов с ребристой рабочей поверхностью. С целью исследования процесса плющения зерна изготовлена экспериментальная малогабаритная плющилка зерна.

Общий вид и конструктивно-технологическая схема двухступенчатой плющилки зерна приведены на рисунке 2.11.



б

1 – бункер, 2 – электродвигатель, 3 – рама, 4 – выгрузная горловина, 5 – вальцы, 6 – дозатор, 7 – защитный кожух

Рисунок 2.11 – Общий вид (а) и схема (б) малогабаритной плющилки зерна

Экспериментальная плющилка [57] состоит из бункера 1 (рисунок 2.10), электродвигателя 2, рамы 3, выгрузной горловины 4 и двух вальцов 5. Для регулировки поступления зерна в рабочую камеру имеется заслонка 6.

Принцип работы плющилки заключается в следующем. В зависимости от требуемого качества плющения зерна производят регулировку давления

между вальцами, которое производится изменением зазора посредством регулировочной болта и фиксируется контрогайкой, после этого предварительно очищенное зерно влажностью 18-25%, засыпают в бункер и включают в работу привод. Посредством привода приводятся во вращение вальцы, затем включают дозатор и из бункера зерно начинает, равномерно поступать на рабочую поверхность между вальцами. Зерно за счет трения захватывается и вовлекается в зазор, где происходит его плющение. Компенсационный ролик, уравнивая силы давления при плющении, обеспечивает сохранение зазора между вальцами неизменным по всей длине их сопряжения, что позволяет получить более качественное плющение зерна.

Использование разработанной плющилки позволяет упростить процесс дозирования материала и снизить тем самым энергозатраты за счет установки питательного бункера над верхним основным валцом. Питательный бункер снабжен регулировочной заслонкой, которая позволяет регулировать пропускную способность плющилки и облегчать запуск электродвигателя.

Разработана структурная (рисунок 2.12) и конструктивно-технологическая (рисунок 2.11) схемы плющилки зерна с питающим устройством. Операции технологического процесса получения зернового корма новой плющилкой, согласно [9], условно разделяются на две группы: механические перемещения (транспортирование) и преобразования.

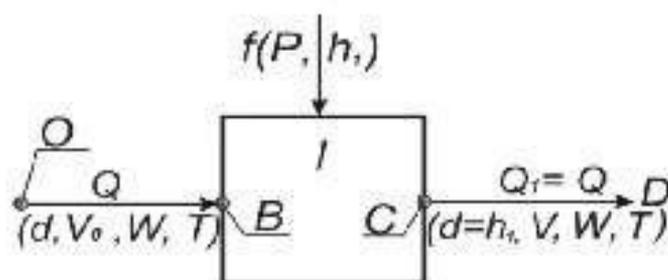


Рисунок 2.12 - Структурная схема и технологические операции в плющилке кормового зерна.

Первая группа включает в себя подачу кормового зерна на плющение (участок траектории движения зерновки OB), вывод полученного корма из

рабочей зоны плющилки наружу (участок CD), преобразования включают в себя плочение кормового зерна (участок BC). Перемещения и преобразования организуют непрерывный технологический процесс получения плющеного корма, их оптимальное сочетание определяет эффективность протекания технологического процесса любой машины.

С целью оптимизации технологического процесса плющения зерна, с учётом результатов предыдущих исследований, проведены теоретические исследования технологической операции преобразований – плющения зерна, которые определили величины параметров перемещения фуражного зерна – скорость и направление движения зерновок в точку ввода их в зону преобразований – т. В (рисунок 2.12, рисунок 2.13 а, рисунок 2.13 б), при которых плочение наиболее эффективно.

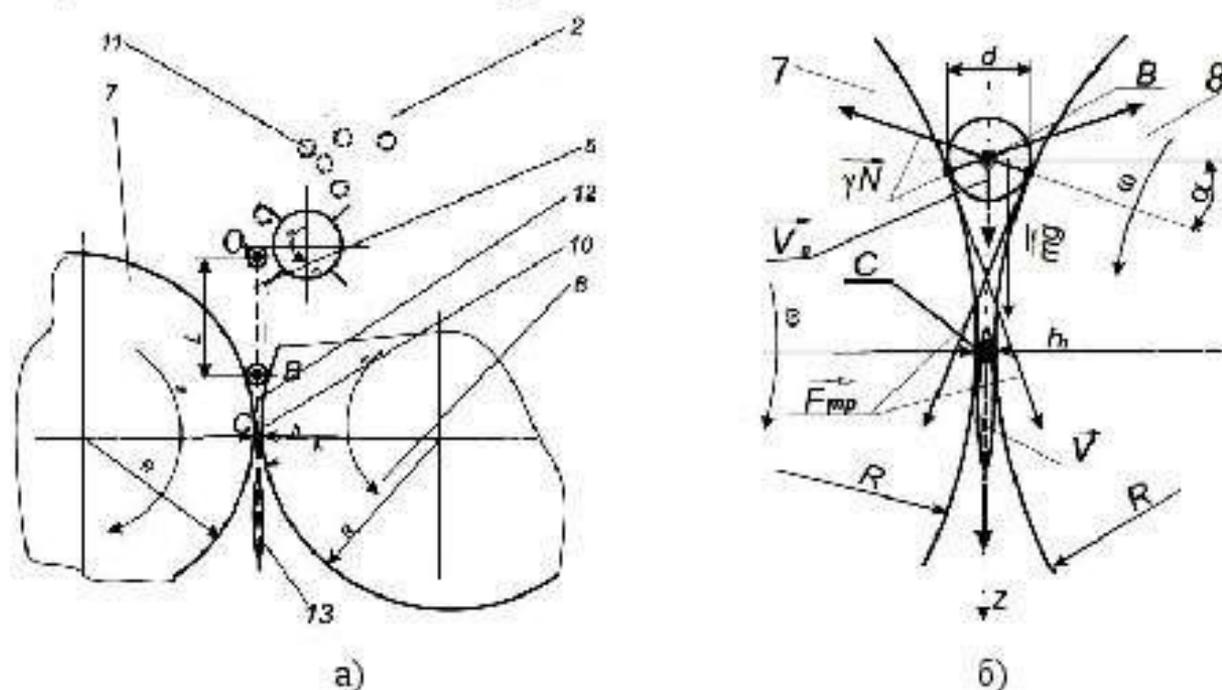


Рисунок 2.13 - Технологический процесс получения плющеного зернового корма плющилкой (а) и движение зерновки в зоне плющения (б).

Полный технологический процесс плющения зерна двумя вальцами в общем виде представлен на рисунке 2.13 а. Преобразования, происходящие при плющении, заключаются в следующем. Зерновка 11 попадает в питающий бункер 2 (рисунок 2.13 а), захватывается лопастью 5 питающего вальца, движется вместе с ней и приобретает начальную скорость V_1 , отрывается от

лопасти в т. O и движется вниз – в зону плющения (т. B) (рисунок 2.13 а, б), образованную вальцами 7 и 8. Принимаем, что величина V_1 будет меньше или равной окружной скорости вальцов для плющения V , так как в противном случае произойдет заваливание зоны плющения зерном, вследствие чего резко снизится пропускная способность плющилки. Скорость зерновки меняется с V_1 до V_0 , т.к. при движении она находится под действием силы тяжести, и преодолевает сопротивление воздуха. Расстояние, пройденное зерновкой, невелико, поэтому принимаем допущение: $V_1 = V_0$. Окружная скорость вращающихся навстречу друг другу вальцов 7 и 8 будет составлять величину $\omega R = V$, (м/с), где ω (рад/с) – частота вращения вальцов для плющения, R (м) – радиус. Для настоящих исследований принимаем общий случай: $V_0 \leq \omega R = V$.

Захваченная в точке B (согласно [12]) зерновка движется, ускоряясь с V_0 (точка B) до $V = \omega R$, (точка C), и проходит расстояние $l = BC$ (рисунок 2.12), расплющиваясь с толщины $d = S_0$ до величины межвальцового зазора $h_1 = S$. Принимаем, что минимальное время t прохождения рабочей зоны плющения каждой зерновкой обеспечивает максимальную производительность плющилки.

Уравнение движения зерновки в рабочей зоне в общем виде будет иметь вид (рисунок 2.13 б):

$$\overline{mW} = \overline{mg} + \vec{F}_{\text{тр}} + \vec{p},$$

где m – масса зерновки, $\vec{F}_{\text{тр}} = \vec{P}f$ – сила трения, $\vec{P} = \vec{N}$ – распорная сила.

Проецируем (1) на ось OZ :

$$mW = md + Pf$$

Величину P вычисляем согласно [13].

Выражение (2) интегрируем и решаем

$$m \frac{dv}{dt} = mg + F_{\text{тр}}$$

Получаем выражение:

$$l = \frac{F_{\text{тр}}}{m} t^2 + \frac{gt^2}{2} + V_0 t + l_0 = t^2 \left(\frac{F_{\text{тр}}}{m} + \frac{g}{2} \right) + V_0 t + l_0.$$

А так как $\left(\frac{F_{\text{тр}}}{m} + \frac{g}{2} \right) = A$ – величина постоянная, то (4) запишем следующим образом:

$$l = At^2 + V_0 t + l_0.$$

С учетом ограничений: $0 \leq V_0 \leq V = \omega R$ и $l_{\text{max}} \leq \sqrt{R(S_0 - S)}$, выполнены графические зависимости t от V_0 и l (рисунок 2.14).

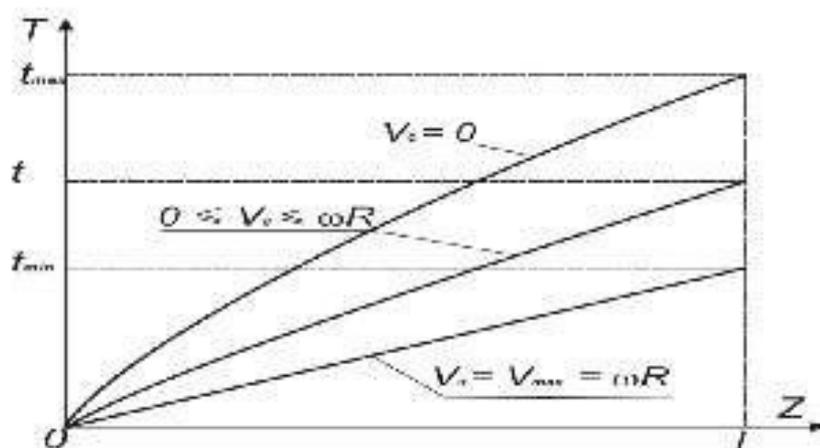


Рисунок 2.14 – Движение зерновки в рабочей зоне плющения в зависимости от скорости V_0 ее ввода в рабочую зону.

Анализ теоретических исследований (представленный на рисунок 2.14) показывает, что наибольшая пропускная способность плющения зерна наблюдается при наименьшем времени прохождения зерновкой зоны плющения: данное условие выполняется, если скорость ввода зерновки в рабочую зону плющения V_0 равна линейной скорости на рабочих поверхностях валцов для плющения: $V_0 = V = \omega R$.

3. ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛЮЩИЛКИ ЗЕРНА В ЛАБОРАТОРНЫХ УСЛОВИЯХ

3.1. Программа экспериментальных исследований

В соответствии с задачами основу программы экспериментальных исследований составляет изучение технологического процесса плющения зерна, определение рациональных параметров и режимов работы плющилки зерна.

С учетом поставленных задач программа исследований включает, следующее:

- 1) разработка конструктивно-технологической схемы плющилки зерна;
- 2) провести теоретические исследования технологической операции преобразований – плющения зерна,
- 3) разработка и изготовление устройства для дозирования зернового материала;
- 4) исследование влияния конструктивно-технологических параметров и режимов работы дозирующего устройства на оценочные показатели рабочего процесса плющения.

3.2. Разработка и изготовление устройства для дозирования зернового материала

Для улучшения технологического процесса получения плющеного зернового корма плющилкой с питающим устройством являются экспериментальные исследования. Для этих целей разработана конструктивно-технологическая схема питающего устройства (рисунок 3.1) и изготовлен его опытный образец (рисунок 3.1) с вращающимся рабочим органом – питающим вальцом.



Рисунок 3.1– Общий вид опытного образца питающего устройства.

Питающее устройство установлено на серийно выпускаемую плющилку ПЗ-1. Общий вид опытного образца машины для плющения с устройством ввода представлен на рисунке 3.2. Перед установкой питающего устройства серийно выпускаемая кормоприготовительная машина (плющилка зерна) со следующими техническими показателями: диаметром валцов для плющения $D = 275$ мм, частотой вращения валцов $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, шириной валцов $B = 150$ мм, после регулировки межвалцового зазора до $h_1 = 0,9$ мм – проверена на работоспособность.



Рисунок 3.2. - Общий вид малогабаритной плющилки зерна

с установленным на ней питающим устройством.

В результате установлено следующее: при плющении фуражного ячменя влажностью 12% производительность машины составила 0,596 т/ч, удельное потребление энергии – 6,225 кВт*ч/т при качестве полученного продукта, удовлетворяющего зоотехническим требованиям. Затем питающее устройство с диаметром питающего вальца $D_{\text{пит}} = 350\text{мм}$, количеством лопаток $Z = 12$ шт., шириной $l = 120\text{мм}$ установлено над рабочей зоной плющения, за счет преобразователя DC power supply psn305d, и, как следствие, – скорость V подачи кормового зерна из питающего бункера в рабочую зону (зону плющения) плющилки зерна.

Целью данного этапа экспериментальных исследований являлось изучение влияния изменения величины окружной скорости (линейной скорости наружных кромок лопастей) питающего вальца на основные технико-экономические показатели процесса получения плющеного зернового корма – пропускную способность машины (т/ч) и удельное потребление энергии (кВт*ч/т).

При проведении однофакторных экспериментов меняли частоту вращения привода питающего вальца и устанавливали его обороты в 450, 500, 800 и 900 мин^{-1} , что соответствует окружной скорости наружных кромок лопастей вальца 4,71, 5,23, 8,37 и 9,42 м/с соответственно. Межвальцовый зазор (0,9 мм), параметры зерна для плющения оставались неизменными (как при плющении без питающего устройства): влажность зерна – 12%, средневзвешенный размер по толщине зерна – 2,85 мм. Опыты проводились в трехкратной повторности, результаты опытов обрабатывали согласно общепринятым методикам.

По завершению процедуры тарирования, заполнения таблицы и построения тарировочной характеристики определялась влажность зерна ячменя с помощью экспрессвлагомера «Фауна-М» (рисунок 3.3). Данные определения влажности усреднялись по 3-5 кратной повторности.

По результатам измерений, построения диаграмм деформации

процесса разрушения определялись:

- разрушающие напряжения в зависимости от влажности зерна для различных его положений,
- мгновенный и длительный модули деформации.



Рисунок 3.3 – Экспрессвлагомер «Фауна-М»

Усилиям равным 30-35% от $\sigma_{\text{разр}}$ границы упругих деформаций на диаграммах, после определения их размеров, устанавливались на предметную площадку под нажимное устройство, сбалансированное балансировочным грузом. Микрометрическая головка поворачивалась в положение «измерение» и обнуляется. Нагрузочный разновес устанавливался в положение заданного усилия, согласно тарировочной характеристике и переводился в рабочее положение упорным винтом (рисунок 3.2). Записывалось начальное положение стрелки микрометрической головки. Далее показания снимались через 10, 20, 30, 60 секунд, 5, 10, 15, 20, 30 мин. и заносились в таблицу.

Расчет напряжения проводился по формуле:

$$\sigma = \frac{P}{F} 10^{-6}, \quad (3.1)$$

где σ - напряжение сжатия, МПа; F - площадь поперечного сечения образца, м^2 ; $P = 9,81m$ - сила сжатия, Н; m - масса грузов, кг.

Относительная продольная деформация образца определялась по формуле

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}, \quad (3.2)$$

где l - высота образца, мм, Δl - показания индикатора, мм.

Коэффициент поперечной деформации (или коэффициент Пуассона) рассчитывали по выражению

$$\mu = \left| \frac{\varepsilon'}{\varepsilon} \right|, \quad (3.3)$$

где ε' - относительная поперечная деформация.

Относительная поперечная деформация определялась по формуле

$$\varepsilon' = \frac{\Delta b}{b}, \quad (3.4)$$

где Δb - абсолютная поперечная деформация образца, мм, b — поперечный размер образца до приложения к нему сжимающей силы P , мм.

Модуль упругости E — это физическая постоянная материала, характеризующая его жесткость. Чем больше значение E , тем меньше при прочих равных условиях продольная деформация. Модуль упругости вычислялся по формуле

$$E = \frac{\sigma_T}{\varepsilon_T}, \quad (3.5)$$

где σ_T — предел текучести, МПа; ε_T — относительная продольная деформация материала, соответствующая пределу текучести.

Коэффициент Пуассона μ наряду с модулем упругости E характеризует упругие свойства материала.

Коэффициент Пуассона определяется экспериментально. Для различных материалов он имеет значение от нуля (для пробки) до величины,

близкой к 0,50 (для резины и парафина). Для стали коэффициент Пуассона равен 0,25...0,30, для ряда других металлов (чугуна, цинка, бронзы, меди) он имеет значение от 0,23 до 0,36.

3.3. Методика проведения экспериментов

3.3.1. Общая методика исследований

В соответствии с задачами исследования проводили по методике. Количество опытов, замеров и проб принимали в соответствии с ОСТ 70.19.2-83. При проведении экспериментальных исследований учитывались особенности варьируемых факторов. Выбирали наиболее приемлемые планы исследований: однофакторного эксперимента, планирования многофакторного активного эксперимента.

Пропускную способность плющилки для каждой повторности опыта определяли путем взвешивания готового продукта на весах. Время опыта фиксировали секундомером. Среднюю пропускную способность подсчитывали по формуле

$$Q = \frac{3,6 \cdot G}{t}, \quad (3.6)$$

где Q — средняя пропускная способность плющилки, т/ч; G - масса готового продукта за время опыта, кг; t - время опыта, с.

При расчете пропускной способности учитывалась только та часть готового продукта, которая соответствовала установившемуся режиму работы установки.

Для определения энергоёмкости процесса и удельных энергозатрат при плющении материала во время опытов фиксировалась потребляемая мощность на привод валцов при рабочей нагрузке и мощность на холостом ходе валцов. Регистрация потребляемой мощности производилась с помощью самопишущих ваттметров Н-3095.

3.3.2. Методика определения влажности зерна и гранулометрического состава плющеного продукта

В качестве исходного материала для проведения экспериментальных

исследований было использовано зерно ячменя сорта "Раушан". Ячмень – наиболее распространенный вид концентрированных кормов и является наиболее прочным среди зерновых. Перед началом опытов производили контрольный замер влажности. Отбор образцов для определения влажности зерна производили согласно общепринятой методике. При определении влажности материала использовали метод высушивания образцов в сушильном шкафу КВС 100/250. Влажность зерна определяли по формуле

$$W = \frac{g - g_t}{g} \cdot 100\%, \quad (3.7)$$

где g - масса навески до сушки, кг; g_t - масса навески после сушки, кг.

Средняя проба для анализа отбиралась так, что она точно и объективно характеризовала всю партию материала. При испытаниях использовалось зерно с широким диапазоном влажности (12...46 %).

Относительную влажность зерна определяли согласно существующей методике ГОСТ-13496-80.

Опыты по определению влияния влажности зерна на показатели рабочего процесса плющилки проводили при отсутствии поступления невысушенного зерна. Для искусственного увлажнения зерна применяли общепринятую методику.

Необходимое количество воды для увлажнения зерна определяли по формуле

$$G_B = G_3 \cdot \left(\frac{100 - W_{кон}}{100 - W_{нач}} - 1 \right) \quad (3.8)$$

где G_B — масса добавляемой воды, кг; G_3 - масса увлажняемого зерна, кг; $W_{нач}$ и $W_{кон}$ — соответственно начальная и конечная влажность зерна, %.

После увлажнения зерна его тщательно перемешивали и оставляли на промежуток времени от суток до полутора суток в зависимости от степени увлажнения, после чего проверяли полученную влажность зерна, которая как правило совпадала с рассчитываемой.

Для определения гранулометрического состава после каждой

повторности опыта брали около 0,1 кг готового плющеного продукта из разных мест и помещали в полиэтиленовый пакет, снабженный номером опыта (повторности) (ГОСТ 13496.0-80).

Гранулометрический состав определяли ситовым анализом. Анализ гранулометрического состава производили при помощи ситового анализатора А20. При экспериментальных исследованиях был подобран набор сит со следующими отверстиями $(0,7; 0,5; 0,3; 0,25; 0,1) \cdot 10^3$ м. Остаток на каждом из сит и в свободном дне (поддоне) взвешивался на весах ПВ-6 с точностью до 0,01 г. Анализ проводился в трехкратной повторности.

Показатель степени плющения определяли по формуле

$$\lambda = \frac{B_{ср}}{b_{ср}}, \quad (3.9)$$

где $B_{ср}$ – средневзвешенный размер зерновки по толщине, мм,

$b_{ср}$ – средневзвешенный размер по толщине готового плющеного продукта, мм.

3.5. Выбор критериев оптимизации и основных факторов процесса плющения

При получении математической модели технологического процесса плющения вопрос выбора критерия оптимизации является важным. В качестве критерия оптимизации необходимо выбрать такой показатель, который бы являлся совокупной и исчерпывающей характеристикой объекта исследования. При изучении процесса плющения выбрали в качестве критерия оптимизации величину энергоемкости процесса \mathcal{E} и удельных энергозатрат q , отнесенных к единице степени плющения материала, которые определяли по формулам:

$$\mathcal{E} = \frac{N}{Q}, \quad (3.10)$$

$$q = \frac{N}{Q \cdot \lambda}, \quad (3.10)$$

где N – мощность, затраченная на плющение материала, кВт; Q – пропускная способность плющилки, т/ч; λ – степень плющения материала;

\mathcal{E} – энергоемкость процесса плющения, кВт · ч/т; q – удельные энергозатраты процесса плющения, кВт · ч/(т · ед.ст.пл.).

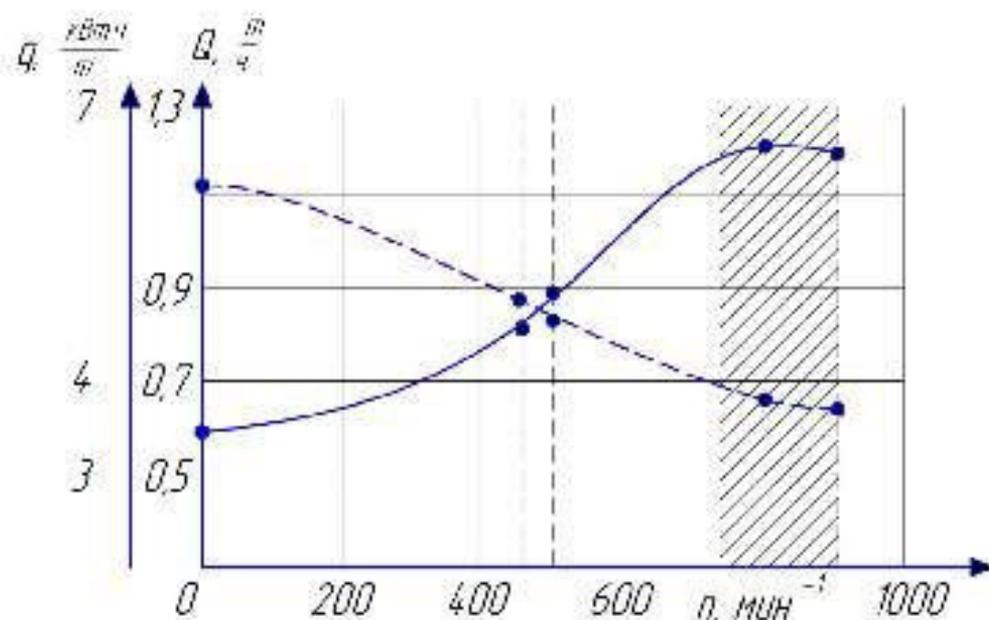
Эти показатели совокупно увязывают энергозатраты на единицу выхода готового продукта с результатом работы плющилки. Поэтому любые режимы работы плющилки оказываются сравнимыми, несмотря на различную степень плющения материала в том или ином варианте.

4 РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

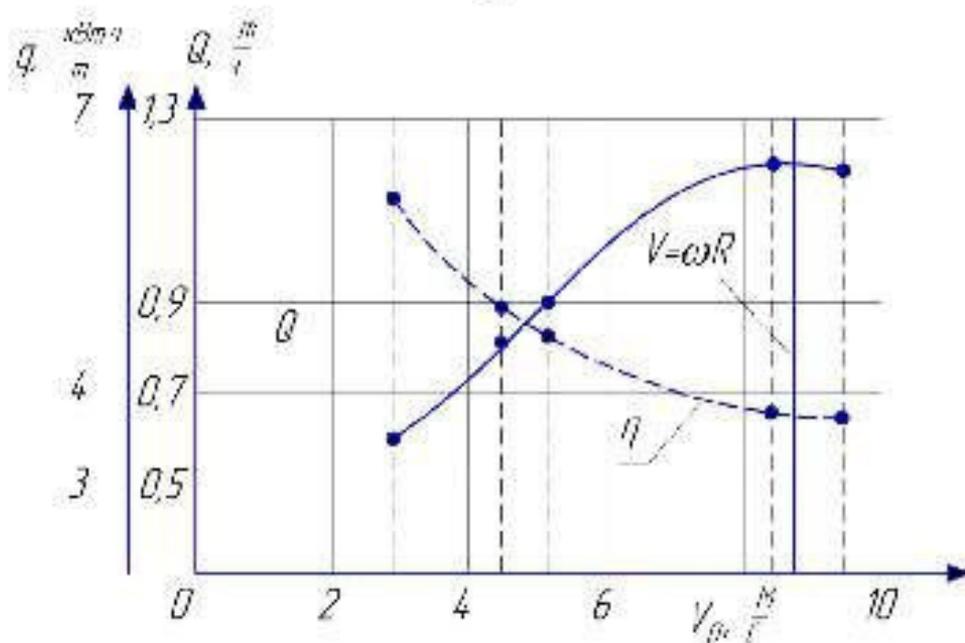
4.1. Исследование влияния конструктивно-технологических параметров и режимов работы дозирующего устройства на оценочные показатели рабочего процесса плющения

По результатам проведенных однофакторных экспериментов построены графические зависимости изменения основных показателей технологического процесса плющилки зерна с питающим устройством от частоты оборотов и, соответственно, окружной скорости питающего вальца (рисунок 4.1). Принято допущение, что зерно по подводящему каналу поступает в рабочую зону плющения с той же скоростью V_0 , с которой сходит с лопастей питающего вальца: $V_0 = V_1$, т.к. расстояние l , пройденное зерновкой в канале, невелико, а при плющении зерна без питающего устройства зерно свободно падает из питающего бункера через окно в нем без сопротивления воздуха и имеет скорость в т. В, равную 0,24 м/с.

Анализ полученных зависимостей показывает высокую эффективность применения питающего устройства: поступление зерна в зону плющения со скоростью, равной или близкой к окружной скорости валцов для плющения (8,5 м/с), приводит к повышению пропускной способности плющилки с 0,596 т/ч до 1,22 т/ч (в 2,04 раза), снижает энергоемкость процесса с 6,225 кВт*ч/т до 3,75 кВт*ч/т (в 1,6 раза), при этом наилучшие показатели технологического процесса плющения наблюдаются в интервале скоростей ввода зерна в зону плющения – 8...9 м/с, что практически соответствует окружной скорости валцов для плющения (для плющилки данная скорость равна 8,5 м/с). Следовательно, экспериментальные исследования подтверждают представленные выше теоретические предположения о том, что пропускная способность плющения достигает своего максимума при подводе зерна в зону плющения со скоростью, равной окружной скорости валцов для плющения.



а)



б)

Рисунок 4.1 - Зависимости изменения производительности плющения Q и удельных энергозатрат q плющилки зерна от частоты оборотов n (а) и окружной скорости V_0 (б) питающего вальца

Выбор ячменя в качестве объекта исследований объясняется тем, что он наиболее прочный среди злаковых. Зерна-образцы для испытаний брались из проб, отобранных в количестве 10... 15 зерен для каждой пробы.

Опыты проводились на материале различной влажности. Влажность зерна определяли электронно-цифровым влагомером кормовых материалов

"Фауна-М" перед началом каждого опыта.

4.2. Исследование влияния влажности материала и межвальцового зазора на рабочий процесс плющилки зерна

Для изучения рабочего процесса плющения влажного зерна проведены однофакторные эксперименты, которые позволили определить влияние влажности материала на пропускную способность, потребляемую мощность вальцового станка и качество готового продукта.

На первом этапе изучения рабочего процесса плющения зерна различной влажности проведены однофакторные эксперименты при одноступенчатом плющении. Для этого межвальцовый зазор между нижним и верхним основным вальцами увеличили на величину $h_2 = 10 \dots 15$ мм, что исключает всякое влияние нижнего вальца на готовый (плющенный) продукт и на вращение верхнего основного вальца. Величину межвальцового зазора первой ступени плющения h_1 изменяли в интервале от 0,3 до 0,9 мм.

Каждый валец имеет свой привод, что позволило определить потребляемую мощность на каждом вальце в отдельности, при этом диаметр вальцов составлял 30 мм, длина рабочей поверхности — 10 мм и частота вращения 520 мин^{-1} (скорость движения точки, находящейся на поверхности вальца 5,99 м/с), которые во время опытов оставались постоянными.

Исследования проводили в трехкратной повторности на зерне ячменя сорта "Раушан" с различной влажностью. При этом определяли потребляемую мощность для каждого вальца отдельно N_i кВт, а также пропускную способность плющилки Q , т/ч, и качество готового плющеного продукта (процент схода с решета $\varnothing 2,5$ мм).

В качестве критериев оптимизации процесса плющения при различной влажности материала выбраны потребляемая мощность N кВт, пропускная способность Q т/ч, сход с решета $\varnothing 2,5$ мм, %, энергоемкость \mathcal{E} кВт·ч/т.

Результаты однофакторных экспериментов при одноступенчатом плющении на зерне различной влажности представлены на рисунках 4.2, 4.3.

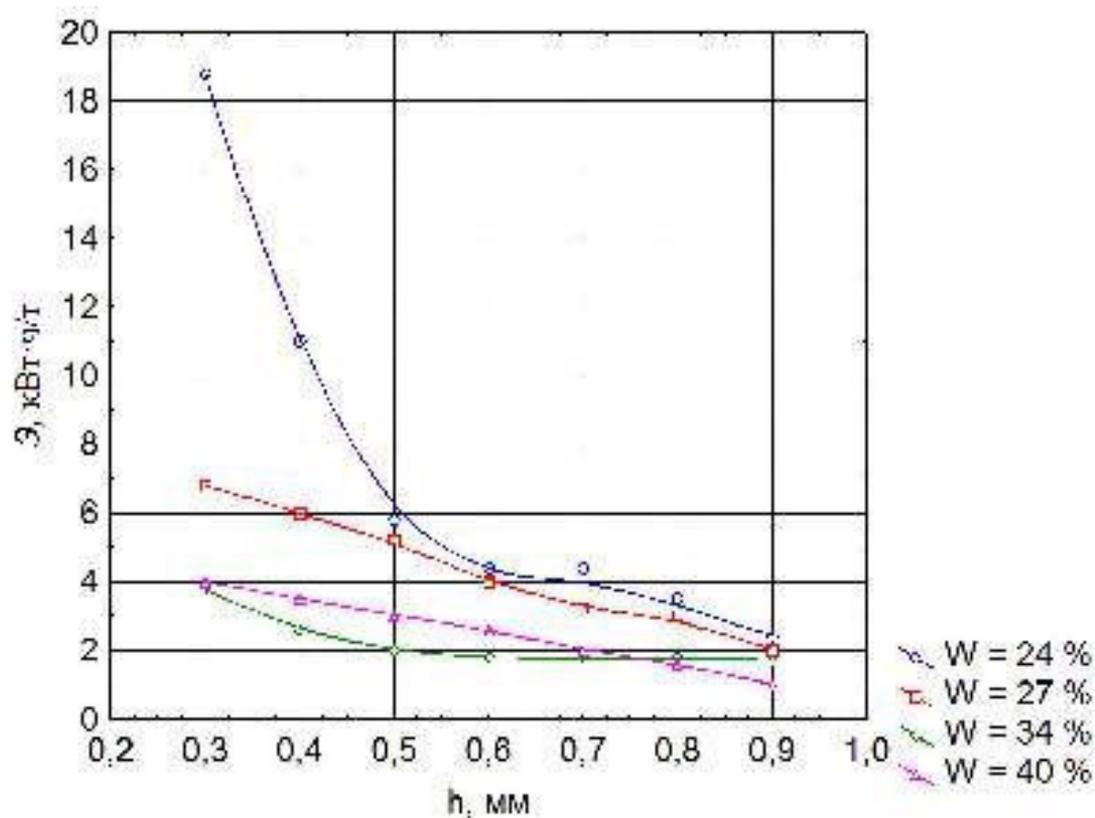


Рисунок 4.2 – Влияние величины межвальцового зазора h и влажности W зерен ячменя на энергоемкость \mathcal{E} процесса плющения

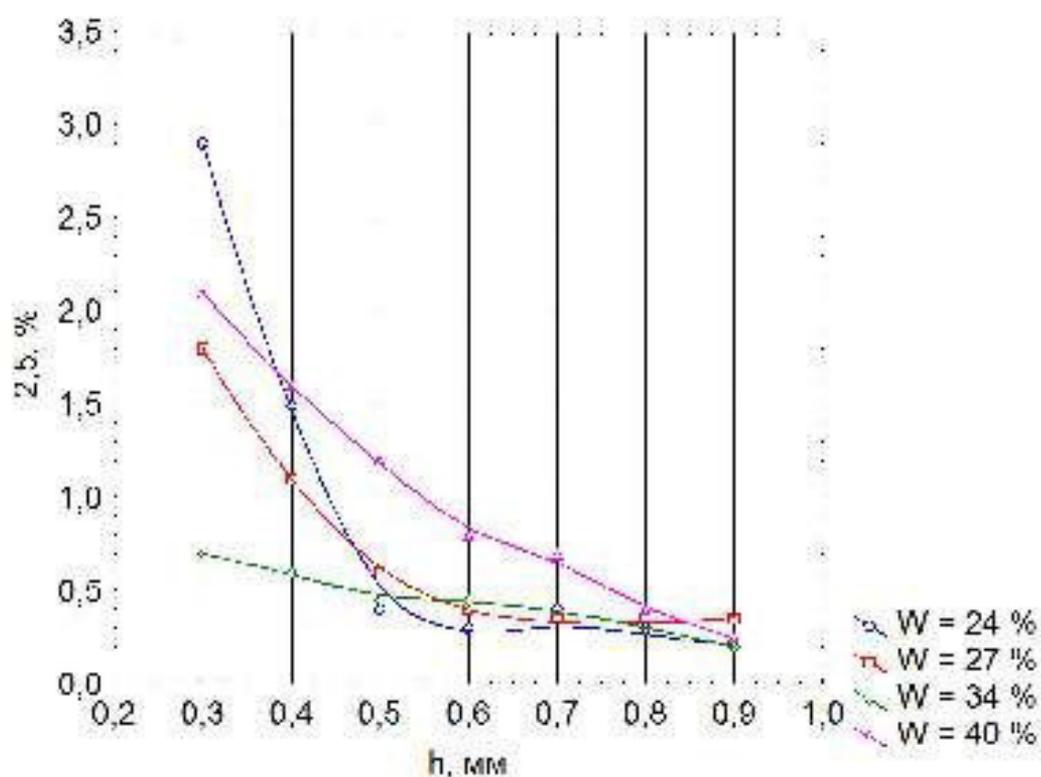


Рисунок 4.3 – Влияние величины межвальцового зазора h и влажности W зерен ячменя на сход с решета $\varnothing 2,5$ мм, %

Анализ кривых показывает, что при увеличении влажности материала с 24 до 34 % энергоёмкость \mathcal{E} и сход с решета \emptyset 2,5 мм уменьшаются, а дальнейшее повышение влажности с 34 до 40 % приводит к увеличению энергоёмкости \mathcal{E} и схода с решета \emptyset 2,5 мм, что можно объяснить ухудшением условий захвата материала вальцами в результате уменьшения коэффициента трения и изменения упруго-пластических свойств материала. На основании экспериментальных данных можно заключить, что рациональная влажность материала составляет 34 %.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана структурная и конструктивно-технологическая схема плющилки кормового зерна и ее питающего устройства. Проведены теоретические исследования параметров перемещения зерновки в технологическом процессе получения плющеного корма: определена оптимальная величина скорости V_0 ввода зерновки в зону плющения, при которой наблюдается наибольшая пропускная способность плющилки: $V_0 = V = \omega R$, где V – окружная скорость валцов для плющения.

2. Экспериментально установлено, что подача зерна в рабочую зону (зону плющения) плющилки из питающего устройства со скоростью, равной или близкой к окружной скорости валцов для плющения (8,5 м/с), приводит к повышению пропускной способности плющилки с 0,596 т/ч до 1,22 т/ч (в 2,04 раза), снижает энергоемкость процесс с 6,225 кВт*ч/т до 3,75 кВт*ч/т (в 1,6 раза), при этом наилучшие показатели плющения наблюдаются в интервале скоростей ввода зерна в зону плющения 8...9 м/с, что практически соответствует окружной скорости рабочих поверхностей валцов для плющения.

3. Исследования позволяют на стадии проектирования разработать плющилку зерна с высоким качеством производимого ею продукта, минимальной энергоемкостью рабочего процесса и максимально возможной пропускной способностью для выбранной конструктивно-технологической схемы.

СПИСК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития механизации, электрификации и автоматизации сельскохозяйственного производства Нечерноземной зоны России на 1995 год и на период до 2000 года. - СПб., 1993. - 200 с.
2. ГОСТ 10199-81 Комбикорма-концентраты для овец. - М.: Изд-во стандартов, 1980. - 10 с.
3. ГОСТ 18221-72 Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 12 с.
4. ГОСТ 21055-96 Комбикорма полнорационные для беконного откорма свиней. - М.: Изд-во стандартов, 1997. - 9 с.
5. ГОСТ 9267-68 Комбикорма-концентраты для свиней. - М.: Изд-во стандартов, 1967. — 8 с.
6. ГОСТ 9268-90 Комбикорма-концентраты для крупного рогатого скота. - М.: Изд-во стандартов, 1991. - 8 с.
7. Корма. Справочная книга: Под ред. М.А. Смурыгина. — М.: Колос, 1977. - С. 18...32.
8. Мельников С.В., Андреев П.В., Базенков В.Ф. и др. Механизация животноводческих ферм - М.: Колос, 1969. - 440 с.
9. Приготовление кормов из зерна плющением // Экспресс-информация ВНИИТИ, сер. сельскохозяйственные машины и орудия. - 1973. — Вып. 23.
10. Ромалийский В.С. Плющилка для влажного зерна // Комбикорма. - 2004. - № 6. - С. 23.
11. Мельников Е., Ильницкая О. Комбинированные зерновые хлопья // Хлебопродукты. - 2002. - № Ю. - С. 18...19.
12. Мяндр А.Э. Кормоприготовительные машины и агрегаты. — М.: Машиностроение, 1970. - С. 105...231.
13. Егоров Г.А., Мартыненко Я.Ф., Петренко Т.П. Технология и оборудование мукомольной, крупяной и комбикормовой промышленности. — М.: Издательский комплекс МГАПП, 1996. - С. 20...36.
14. Куприц Я.Н. Физико-химические основы размола зерна. — М.: Загот-издат, 1946. - 214 с.
15. Технология переработки зерна: Под ред. Г. А. Егорова. - М.: Колос, 1977. - 376 с.
16. Кошелев А.Н., Глебов Л.А. Производство комбикормов и кормовых смесей. - М.: Агропромиздат, 1986. - 176 с.
17. Шаршунов В.А. и др. Проблемы переработки фуражного зерна при производстве комбикормов и пути их решения // Известия БИА. - 1999. - № 2. - С. 6...9.

18. Селезнев А.Д., Савиных В.Н., Гаврилович С.В. Силосование зерна в плющеном виде - энергосберегающий способ заготовки зерна // Ресурсосберегающие технологии в сельскохозяйственном производстве: Сборник статей Международной научно-практической конференции РУНРШ "ИМСХ НАН Беларуси". - Минск, 2004. - Том 2. - С. 63...68.

19. Ковальчук Ю.К. Прогрессивные механизированные технологические процессы, основные параметры, режимы работы зернокормовых комплексов для послеуборочной обработки семян, фуражного зерна и кормов. Диссертация на соискание доктора технических наук. - Пушкин, 1991. - 460с.

20. Заготовка кормов по финской технологии. Консервирование плющеного зерна. [Техническая характеристика плющилок] // Техника и оборудование для села. - Апрель 2000. - № 4. - С. 8...9.

21. Пилипенко А.Н. Обоснование технологии переработки влажного зерна // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства, ВНИИживмаш - 1984. - В. 9. - С. 18...21.

22. Заготовка плющеного зерна повышенной влажности // Отраслевой регламент. - Минск: Институт аграрной экономики НАН Беларуси, 2004. -18с.

23. Плющение и консервирование зерна - путь к рентабельности животноводства // Рекламный проспект MURSKA - Санкт-Петербург, 2003.

24. Сундеев А.А. Процесс измельчения фуражного зерна и его развитие // Механизация подготовки кормов в животноводстве: Сб. науч. тр. Воронежского СХИ. - Воронеж: изд. ВСХИ, 1984. -С.5...19.

25. Ромалийский В.С. Исследование процесса плющения влажного зерна// Научно-технический бюллетень по электрификации сельского хозяйства ВИЭСХ. - М., 1977. - Выпуск 3(33). - С. 3...8.

26. Андрианов А.М., Елисеев В.А. Влияние окружной скорости и диаметра валков на производительность и удельный расход энергии зерноплющилки // Механизация сельскохозяйственного производства: Записки Воронежского СХИ им К.Д. Глинки. - Воронеж, 1972. - Т. 53. - С. 154... 158.

27. Завражнов А.И., Николаев Д.И. Механизация приготовления и хранения кормов. — М.: Агропромиздат, 1990. - 336 с : ил.

28. Баранов Л.Н. Технология приготовления высококачественного корма - Тракторы и с.-х. машины. - Владимир, 2000. - № 4 - С. 48.

29. Плющение зерна - эффективный способ энергосбережения и заготовки высококачественного корма (проект) / Новые технологии: по материалам Министерства с. х. и продовольствия Республики Татарстан. - Казань. 2012 г.

30. Сундеев А.А., Колесников С.Ф. Работа валцов с внутренним контактом рабочих поверхностей // Улучшение эксплуатации машинно-тракторного парка, совершенствование конструкции и ремонта сельскохозяйственной техники. Научные труды Воронежского СХИ им К.Д. Глинки. - Воронеж, 1974. - Том 62. - С. 308...310.

31. Дорофеев Н.С., Сундеев А.А. Исследование технологических способов плющения влажного зерна // Энергетика, динамика, износ и ремонт сельскохозяйственной техники. Научные труды Воронежского СХИ им К.Д. Глинки. - Воронеж, 1978. - Том 99. - С. 49...55.

66. Плющилка зерна ПЗ-Т-0,1 // Руководство по эксплуатации / Завод "Елгавсельмаш". - Елгава Латв. ССР, 1989. - 17 с.

67. Фомин Н.А. Исследование интенсификации процесса дробления и создание новой центробежной валковой дробилки. Диссертация. - Ростов-на-Дону, 1968. - 182 с.

32. АС №1727882 А1 СССР, МКИ В 02 С 4/08. Вальцовый станок / Н.Д. Колесников, А.Н. Пилипенко, Н.А. Чайкин, П.Д. Кудовбенко (СССР). - Б.И. №15, 1992. - 2 с. ил.

33. Андрианов А.М., Спорькин В.В. Влияние влажности на сопротивляемость зерновок разрушению рифлеными поверхностями // Механизация сельскохозяйственных производственных процессов (Сельскохозяйственные машины и оборудование животноводческих ферм). Записки Воронежского СХИ им К.Д. Глинки. - Воронеж, 1972. - Т. 48. - Вып. 3. - С. 68...70.

34. Дешко В.И. Исследование процесса плющения увлажненного зерна // Механизация и электрификация сельского хозяйства. Сб. - Киев. Урожай, 1976. - Вып. 35. - 240 с.

35. Елисеев В.А., Андрианов А.М. Разрушение зерновок сжатием рифлеными поверхностями // Материалы научной конференции Воронежского СХИ им К.Д. Глинки. - 1969. - С. 35...41.

36. Левенсон Л.Б. Дробильные валки, их теория, расчет и проектирование. - М.-Л., 1933. - 120 с.

37. Конторович З.Б. Дробильные валки. - ГОНТИ, 1931. - С. 3...4.

38. Ильченко П.М. Мельничные, крупяные и элеваторные машины. - М., 1938. - 270 с.

39. Анишкин В.И. Консервирование влажного зерна. - М.: Колос, 1968. - 160 с.

40. Афанасьев П.А. Мукомольные мельницы. - М., 1883. — 250 с.

41. Акулинин А.Г. Аналитические исследования нагрузок, действующих на валцы зерновых плющилок // Исследование и конструирование машин

для животноводства и кормопроизводства: Сборник науч. тр. ВНИИЖИВМАШ. - Киев, 1981. - Вып. 6. - С. 42...46.

42. Акулинин А.Г., Пилипенко А.Н. Определение распорных усилий, возникающих в процессе плющения зерна // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства: Труды ВНИИЖИВМАШ. - Киев, 1975. - Вып. 1. - С. 62...70.

43. Акулинин А.Г., Пилипенко А.Н. Распорные усилия в рабочей зоне зерновой плющилки // Исследование и конструирование машин для животноводства и кормопроизводства: Труды ВНИИЖИВМАШ. - Киев, 1976. - Вып. 2. - С. 45...50.

44. Андрианов А.М. К расчету распорных усилий и мощности электропривода при плющении зерна // Улучшение эксплуатации машинно-тракторного парка, совершенствование конструкции и ремонта сельскохозяйственной техники: Науч. труды Воронежского СХИ им. К.Д. Глинки. — Воронеж, 1974. - Т. 62. - С. 136...139.

45. Целиков А.И. Прокатные станы. - М.: Металлургиздат, 1946. - 220 с.

46. Хусид С.Д. Измельчение зерна. - М.: Хлебоиздат, 1958. - 211 с.

47. Андрианов А.М. Распорные усилия при плющении зерна валками // Совершенствование технологий и технических средств уборки, обработки и переработки зерна: Сборник научных трудов Воронежского СХИ им. К.Д. Глинки. - Воронеж, 1990. - С. 176...183.

48. Королев А.А. Прокатные станы. - М.: Машиз, 1958. - 315 с.

49. Целиков А.И. Основы теории прокатки. — М., 1965. — 412 с.

50. Андрианов А.М. Определение производительности плющилки для зерна. // Механизация подготовки кормов в животноводстве: Сб. науч. тр. Воронежского СХИ им. К.Д. Глинки. - Воронеж, 1984. - С. 25...35.

51. Андрианов А.М. Влияние способа питания на максимальную производительность зерноплющилки // Механизация сельскохозяйственного производства: Записки Воронежского СХИ К.Д. Глинки. - Воронеж, 1972. - Т. 53. - С. 226...227.

52. Деформация зерновки при плющении ее цилиндрическими вальцами // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук / Сысуев В.А., Алешкин А.В., Савиных П.А., Одегов В.А. - М., 2004. - №3 май-июнь. - С. 71...74.

53. АС №1041146 А СССР, МКИ^В В 02 С 4/06. Вальцовая плющилка / Пилипенко А.Н., Тимановский А.В. (СССР). - Б.И. № 34, 1983. - 2 с.: ил.

54. Описание изобретения к заявке №95103450 А1 РФ, МКИ^В В 02 С 4/00. Вальцовый станок / Рыбка В.Н. (СССР). - 1997. - 2 с.

55. Алешкин А.В., Чернятьев Н.А., Махнев Е.Л., Микрюков К.Ю. К вопросу изучения физико-механических свойств стеблей зерновых культур // Машинные технологии и новая сельскохозяйственная техника для условий Евро- Северо-Востока России: Материалы 2-й Международ. науч.-практ. конф.: В 3т. -Киров,2001. -Т.3. -С.50...55.

56. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений. — М.: Колос, 1970. -424 с.

57. Гарифуллин Б. И. Плющение и консервирование в кормопроизводстве И.Р.Нафиков, Б.И.Гарифуллин, М.Р.Хадиев Научное сопровождение технологий агропромышленного комплекса: теория, практика, инновации / Труды I-ой Международной научно-практической конференции. Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2020. – 251-253 с.

58. Халиуллин Д.Т. Современные технологии производства комбикормов. / Д.Т. Халиуллин, М.Р. Хадиев, Б.И.Гарифуллин, И.М.Гомая // сборник трудов конференции «Современные технологии производства комбикормов» Научное издание. – Казань: Издательство Казанского ГАУ, 2020. – 267-273 с.

Влияние величины межвальцового зазора h и влажности W зерен ячменя на энергоёмкость \mathcal{E} процесса плющения

h , мм	энергоёмкость \mathcal{E} процесса плющения			
	$W = 24\%$	$W = 27\%$	$W = 34\%$	$W = 40\%$
0,3	18,8	6,8	3,8	4
0,4	11	6	2,6	3,5
0,5	5,8	5,2	2	3
0,6	4,4	4	1,8	2,6
0,7	4,4	3,2	1,8	2
0,8	3,5	3	1,8	1,6
0,9	2,4	2	1,7	1

Влияние величины межвальцового зазора h и влажности W зерен ячменя на сход с решета $\varnothing 2,5$ мм, %

h , мм	сход с решета $\varnothing 2,5$ мм, %			
	$W = 24\%$	$W = 27\%$	$W = 34\%$	$W = 40\%$
0,3	2,9	1,8	0,7	2,1
0,4	1,5	1,1	0,6	1,6
0,5	0,4	0,6	0,45	1,2
0,6	0,3	0,4	0,45	0,8
0,7	0,4	0,35	0,4	0,7
0,8	0,3	0,35	0,3	0,4
0,9	0,2	0,35	0,2	0,25