

НАО «Университет имени Шакарима города Семей»

УДК 637.513.45

На правах рукописи

Бакиева Анара Баглановна

Разработка конструкции режущего механизма волчка с целью совершенствования режимов измельчения пищевого сырья

Специальность 6D072400 – «Технологические машины и оборудование»

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)

Научные консультанты:

Акимов М.М.

к.т.н., доцент НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан, г.Семей

Научный консультант:

Какимов А.К., д.т.н., профессор НАО «Университета имени Шакарима города Семей», Республика Казахстан, г.Семей

Зарубежный научный консультант:

Лобасенко Б.А., д.т.н., профессор Кемеровского государственного университета, Российская Федерация, г. Кемерово

Республика Казахстан
Семей, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ	4
ОПРЕДЕЛЕНИЯ	5
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ	6
ВВЕДЕНИЕ	9
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА	12
1.1 Основы теории резания пищевого сырья	12
1.2 Реологическое состояние мясного сырья при механической обработке	15
1.3 Классификация машин для мелкого измельчения мясного сырья	17
1.3.1 Волчки	17
1.3.2 Волчки-дробилки	22
1.3.3 Решетки для измельчения мясного и мясокостного сырья	25
Выводы по главе 1	31
2 МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ВОЛЧКЕ	32
2.1 Схема проведения экспериментов	32
2.2 Экспериментальная установка и режущий механизм для измельчения мясного сырья	33
2.3 Пропускной способности решетки волчка на основании уравнения Хагена-Пуазейля	36
2.4 Определение химического состава мясного сырья	38
2.5 Определение водосвязывающей способности мясного фарша	40
2.6 Определение предельного напряжения сдвига мясного фарша	43
2.7 Определение гранулометрического состава	44
2.8 Определение энергетических характеристик установки	44
Выводы по главе 2	46
3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ	47
3.1 Системный анализ процесса и определение стратегии исследований	47
3.2 Разработка и обоснование реологической механической модели мясного сырья при измельчении	49
3.3 Моделирование реологического поведения объектов в процессе измельчения	52
3.3.1 Течение между параллельными решетками	52
3.3.2 Поток мясного шрота через отверстие в решетке	55
3.3.3 Составление и решение математической модели процесса измельчения мясного сырья	57
3.4 Пропускная способность решетки волчка	61

Выводы по главе 3	66
4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ	68
ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ВОЛЧКЕ	
4.1 Исследование химического состава мясного сырья	68
4.2 Влияние конструкции режущего механизма на изменение водосвязывающей способности мясного фарша	68
4.3 Проверка адекватности математической модели	70
4.4 Влияние конструкции режущего механизма на изменение предельного напряжения сдвига мясного фарша	71
4.5 Влияние конструкции режущего механизма на изменение гранулометрического состава мясного фарша	72
4.6 Влияние вида мясного сырья и конструкции режущего механизма на изменение производительности экспериментальной установки	76
4.7 Влияние вида мясного сырья и конструкции режущего механизма на изменение мощности экспериментальной установки	77
Выводы по главе 4	78
5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ	79
ИССЛЕДОВАНИЙ	
5.1 Инженерная методика технологического расчета волчка	79
5.2 Разработка операторной схемы процессов механической обработки мясного сырья	82
5.3 Производственные испытания и внедрение результатов экспериментов	84
5.4 Технико-экономическое обоснование разработки режущего механизма волчка	85
Выводы по главе 5	87
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	90
ПРИЛОЖЕНИЯ	

НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

Настоящая диссертационная работа выполнена в соответствии с межгосударственным ГОСТ 7.32-2017 «Отчет о научно-исследовательской работе» Структура и правила оформления выполнены по ГОСТ 7.1-2003 Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления».

В настоящей диссертационной работе использованы ссылки на следующие стандарты:

СТ РК 1.12-2015 Документы текстовые. Требования к оформлению.

ГОСТ 3.1105-2011 Единая система технологической документации. Формы и правила оформления документов общего назначения.

ГОСТ 2.106-96 Единая система конструкторской документации. Текстовые документы.

ГОСТ 15.012-84 Система разработки и постановки продукции на производство. Патентный формуляр.

ГОСТ 2.701-84. Схемы, виды и типы. Общие требования к выполнению.

ГОСТ 2.793-79. Элементы и устройства машин и аппаратов химических производств. Общие обозначения.

ГОСТ 2.105-95. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 18158-72. Производство мясных продуктов.

ГОСТ Р 51447-99. Мясо и мясные продукты. Методы отбора проб.

ТУ 9214-608-00419779-2001. Фарш мясной. Технические условия.

ГОСТ 9792-73. Колбасные изделия и продукты из свинины, баранины, говядины и мяса других видов убойных животных и птиц. Правила приемки и методы отбора проб.

ГОСТ 9793-2016. Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги.

ГОСТ 23392-2016. Мясо. Методы химического и микроскопического анализа свежести.

ГОСТ 7269-2015. Мясо. Методы отбора образцов и органолептические методы определения свежести.

ГОСТ Р 51479-99. Мясо и мясные продукты. Методы определения массовой влаги.

ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира.

ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В данной диссертационной работе используются следующие термины с соответствующими определениями:

Режущая способность - это способность механизма формировать новые поверхности в единицу времени.

Структура – это совокупность устойчивых связей объекта, обеспечивающих его целостность и тождественность самому себе, т.е. сохранение основных свойств, при различных внешних и внутренних изменениях.

Структурно-функциональный анализ - это принцип изучения процессов как системы, в которой каждый элемент структуры имеет определенное назначение (функцию).

Структурно-механические свойства – это группа физических свойств продукта в зависимости от его биологического и химического состава и внутреннего строения.

Водосвязывающая способность – это способность продукта связывать содержащуюся в нем воду.

Предельное напряжение сдвига - это одно из свойств сдвига, которое характеризует текучесть продукта при достижении предела текучести.

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

ПНС	- предельное напряжение сдвига, Па;
ВСС	- водосвязывающая способность, %;
v	- скорость резания, м/с;
v_t	- тангенциальная составляющая скорости резания, м/с;
v_n	- скорость подачи, м/с;
κ_c	- коэффициент скольжения;
δ_0	- угол скольжения;
A	- работа резания, Дж;
A_1	- работа разрушения молекулярных сил сцепления, Дж;
A_2	- работа пластических деформаций, Дж;
A_3	- работа внешнего трения между поверхностью ножа и материалом, Дж;
ω	- угловая скорость вращения ножа, с ⁻¹ ;
R	- радиус ножа, м;
УУ	- управляющее устройство;
ВУ	- вычислительное устройство;
ИУ	- исполнительное устройство;
ОУ	- объект управления;
ИУ ₁	- шнек;
ИУ ₂	- нож;
ИУ ₃	- модифицированная ножевая решетка;
ОУ ₁	- мясное сырье;
ОУ ₂	- фарш;
$[p]$	- номинальное давление, кгс/см ² ;
P	- давление создаваемое ножом, Па;
G	- модуль сдвига, Па;
$\dot{\gamma}$	- скорость сдвига, с ⁻¹ ;
$\eta_{пл}$	- пластическая вязкость, Па · с;
θ_0	- предельное напряжение сдвига, Па;
θ_p	- предельное напряжение резания, Па;
$d\gamma_G, d\gamma_H,$ $d\gamma_C, d\gamma_P$	- угловые деформации соответственно тел Гука, Ньютона, Сен-Венана и элемента, отражающего потерю прочности фарша при резании;
dh	- ширина элементарного слоя мясного шрота;
$\Delta p_1, \Delta p_2$	- потери давления на преодоление трения при движении потока мясного шрота между параллельными решетками и в отверстиях решетки, Па;
h, L, B	- ширина, длина и высота элементарного слоя мясного шрота, движущегося между параллельными пластинами, м;

r, ℓ	- радиус и длина элементарного слоя мясного шрота, движущегося в отверстии решетки, м;
θ	- напряжение сдвига, Па;
R	- радиус отверстия в решетке, м;
$\frac{\partial u_1}{\partial h}, \frac{\partial u_2}{\partial r}$	- градиенты скорости сдвига, с^{-1} ;
$dr, d\ell$	- ширина (радиус) и длина канала произвольного сечения, м;
∇	- оператор Лапласа;
$\text{div } v$	- дивергенция вектора скорости v , м/с;
La	- критерий Лагранжа;
Re	- критерий Рейнольдса;
Eu	- критерий Эйлера;
Γ	- геометрический симплекс;
P	- безразмерный комплекс;
F	- сила резания, Н;
S	- площадь разрезаемой поверхности, м^2 ;
S_i^2	- выборочная дисперсия, определяемая для каждого опыта;
W	- общее содержание воды в навеске, мг;
$S_{\text{вн}}$	- площадь влажного пятна, м^2 ;
S_1	- приведенная общая площадь влажного пятна и пятна спрессованного продукта, м^2 ;
S_2	- приведенная площадь пятна спрессованного продукта, м^2 ;
M	- масса навески мяса, кг;
m	- коэффициент масштабного увеличения отсканированного изображения пятна по отношению к изображению пятна адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале;
F_n	- значение нагружения, Н;
h_k	- общая глубина погружения конуса, м;
K	- константа конуса, зависящая от угла конуса α при вершине;
α	- угол при вершине конуса;
m_0	- общая масса навески, кг;
m_1	- масса частиц мясных тканей по размерам, кг;
F_1	- режущая способность механизма, $\text{м}^2/\text{с}$;
F_2	- удельная поверхность раздела кусочков продукта, полученного в результате измельчения 1 единицы массы сырья, $\text{м}^2/\text{кг}$;
φ	- коэффициент использования режущей способности механизма;
n	- число оборотов ножей в минуту;
k	- количество перьев ножа;
f	- площадь, перерезаемая ножом за один оборот, м^2 ;
i	- количество режущих плоскостей;
d_i	- диаметр отверстий в решетках, мм;
z_i	- количество отверстий в решетке;

$\pi \cdot (r_a^2 - r_b^2)$	- площадь поперечного сечения цилиндра волчка;
$(r_a - r_b)$	- разность между радиусом шнека и радиусом вала шнека;
ρ	- плотность мясного фарша (шрота), кг/м ³ ;
K_r	- коэффициент, учитывающий геометрические параметры решетки;
Δp	- перепад давления в отверстиях решетки, Па;
l_o	- длина отверстия в решетке, м;
N	- мощность двигателя волчка, кВт;
N_1	- мощность для резания продукции, кВт;
N_2	- мощность для преодоления трения в деталях режущего механизма, кВт;
N_3	- мощность для работы шнека, кВт;
N_4	- мощность для работы механизмов подающих продукт из бункера в цилиндр, кВт;
M_n^{kp}	- крутящий момент на ножевом валу, Н·м;
M_n	- момент гидравлического сопротивления ножа, Н·м;
ω_n	- угловая скорость вращения соответственно ножевого вала, рад/с;
Z_n	- число ножей;
R_p	- сила резания, Н;
R_n	- нормальная составляющая силы резания, Н;
R_t	- касательная составляющая силы резания, Н;
$R_{вр}$	- радиус вращения в точке лезвия ножа, рад;
$\alpha_{ск}$	- угол между силой резания и касательной составляющей силы резания;
μ_p	- коэффициент трения скольжения ножа по решетке;
P_y	- усредненное удельное давление в поверхности стыка, Па;
b	- ширина контакта лезвия ножа и решетки, м;
k	- коэффициент, учитывающий соотношение размеров кусочка, диаметр отверстий и скорость истечения продукта;
Z	- общее количество лезвий в данном режущем механизме;
$(D^2 - d^2)$	- разность квадратов внешнего и внутреннего диаметров лезвия ножа, м;
P_v	- общее давление, необходимое для преодоления сопротивлений, Па;
α_o	- коэффициент, учитывающий потери энергии на трение продукта в цилиндре;
M_o	- объемная секундная производительность волчка, кг/с;
k_o	- коэффициент сопротивления при перемещении продукта спиралями и шнеками;
M_B	- весовая (массовая) секундная производительность, кг/с;
$L_{сш}$	- длина подающих спиралей или шнеков, м.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. В послании первого Президента Республики Казахстан народу Казахстана отмечается: «Основная задача – увеличить в 2,5 раза производительность труда и экспорт переработанной продукции сельского хозяйства к 2022 году. Все меры господдержки необходимо направить на масштабное привлечение современных агротехнологий в страну. Мы должны использовать лучший опыт управления отраслью путем внедрения гибких, удобных стандартов и привлечения «седых голов» – авторитетных зарубежных специалистов в области сельского хозяйства» [1].

«Интенсификация технологических процессов - одно из основных направлений технологического прогресса в мясной промышленности. Наряду со значительным увеличением объемов мясной продукции перед мясной отраслью стоит задача улучшения качества и ассортимента продукции при наиболее комплексном и рациональном использовании сырья» [2].

При производстве колбас и полуфабрикатов широко используются процессы резания, которые существенно влияют на качество сырья и готовой продукции [2, с.142].

Промышленные мясорубки или волчки являются одним из самых основных видов оборудования предназначенного для получения мясных фаршей. Сложность процессов происходящих в пространствах транспортирующего и режущего механизмов волчков накладывает значительные изменения на кинетику процесса. Исследование изменения структурно-механических характеристик сырья и технологических параметров процесса является основой для совершенствования процесса измельчения мясного сырья.

При выполнении настоящей диссертационной работы уделено особое внимание теории измельчения и вопросам оптимизации режимов измельчения фарша.

Теоретической основой для решения задач в данной работе базируется на основополагающих трудах академика Ребиндера П.А., профессоров: Пелеева А.И., Ивашова В.И., Горбатова А.В., Кафарова В.В., Рогова И.А. и т.д. А, научно-методической основой для настоящего исследования послужили труды в области измельчения и реологии пищевых масс, технологии пищевых производств и пищевого машиностроения таких ученых как: Косой В.Д., Мачихин Ю.А., Мачихин С.А., Оспанов А.А., Чижикова Т.В., Смирнов М.Б., Туменов С.Н., Какимов А.К., и другие.

Цель и задачи работы. Целью диссертационной работы является разработка конструкции режущего механизма волчка на основе теоретического и экспериментального исследования процесса резания и режимов измельчения мясного сырья.

В соответствии с поставленной целью в работе определены следующие задачи:

1. провести анализ процесса измельчения мясного сырья, конструкций

- существующих волчков для измельчения мясного сырья, на основе которого можно будет предложить рациональную конструкцию рабочего органа волчка - решетки;
2. предложить соответствующую реологическую модель мясного сырья и осуществить теоретическое обоснование предлагаемой конструкции режущего механизма;
 3. провести исследование закономерностей поведения объекта в условиях измельчения и описать ее математическую модель;
 4. провести экспериментальные исследования для определения рациональных конструктивных параметров режущего механизма;
 5. разработать инженерную методику технологического расчета волчка дополнив её определением пропускной способности решетки на основе уравнения Хагена-Пуазейля, операторной схемы процесса механической обработки мясного сырья;
 6. разработать техническую документацию, изготовить и произвести апробацию конструкции режущего механизма – решетки для измельчения мясного сырья.

Научная новизна:

- дано математическое описание и получены аналитические выражения, характеризующие параметры процесса измельчения мяса и позволяющие управлять его режимом;

- проверена адекватность математической модели на основе изучения сил взаимодействия мясного сырья с режущим механизмом;

- разработана инженерная методика расчета пропускной способности ножевой решетки и предложен геометрический коэффициент, характеризующий эту пропускную способность;

- разработана операторная схема процесса механической обработки мясного сырья.

Область применения: результаты научных исследований и разработанная конструкция режущего механизма относятся к пищевой промышленности и могут быть использованы для измельчения мясного и мясокостного сырья.

Практическая ценность работы:

- на основании исследований, проведенных в лабораторных и производственных условиях, показана целесообразность применения режущего механизма волчка для измельчения мясного сырья;

- разработана конструкция режущего механизма [3] для измельчения мясного и мясокостного сырья, новизна которого подтверждена патентом на полезную модель Республики Казахстан № 2484;

- разработано устройство для определения консистенции пищевых продуктов, новизна которого подтверждена патентом на полезную модель Республики Казахстан № 5123;

- на основании результатов исследования произведено апробирование в производственных условиях в ИП «Альтеев» г. Семей и в Семейском филиале

ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».

Апробация практических результатов: Основные положения и результаты работы доложены на международных научно-практических конференциях: «Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров», Курск, 06.04.2017; «Техника и технологии: пути инновационного развития», Курск, 29-30.06.2017; «Актуальные вопросы устойчивых, потребитель-ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК», Москва, 7-8.12.2017; «Актуальные проблемы производства продуктов питания: состояния и перспективы развития», посвященной 75-летию член-корреспондента КазАСХН, доктора технических наук, профессора Е.Т. Тулеуова, Семей, 24.11.2017; «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство», Воронеж, 16.11.2018; «Информационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы», Москва, 6.12.2018; «Казахстан-холод 2019», Алматы, 20-21.02.2019; «Анализ оборудования для измельчения мясокостного сырья», Барнаул, АлтГТУ, 14.03.2019; «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции». - Краснодар, 8-19.04.2019.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликованы 19 печатных работ: 9 статей в международных конференциях; 2 статьи в изданиях рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки Министерства образования и науки Республики Казахстан; 3 статьи в научных журналах с ненулевым импакт-фактором (базы данных Scopus и Web of Science); 1 монография; 1 аналитический обзор, 2 патента на полезную модель Республики Казахстан.

Положения, выносимые на защиту:

- новая конструкция режущего устройства (решетки) волчка;
- результаты аналитических и экспериментальных исследований процесса измельчения мясного сырья режущим механизмом предлагаемой конструкции;
- операторная схема производства мясных полуфабрикатов и инженерная методика технологического расчета волчка.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Основное содержание работы изложено на 96 страницах текста компьютерного набора, содержит 54 рисунка, 6 таблиц, список литературы включает 100 источника из 27 иностранных и 9 приложений.

1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Основы теории резания пищевого сырья

Резанием называют процесс механического расчленения продукта вклиненным в него рабочим органом. При нарезке изделие делится на кусочки определенных размеров и форм [4, 5].

Резание пищевых продуктов осуществляется в следующих случаях с целью:

- отделить часть продукта от массы;
- разделить продукт на частицы, чтобы определить их размер и форму;
- измельчать продукт, не предъявляя требований к форме частиц [6].

Резание, как один из методов измельчения, выполняется с помощью лезвия ножа, рамок ножей, гребней или пильного полотна, которое в то же время вклинивается в измельченный продукт, вызывая напряжения на контактной поверхности, достаточные для преодоления всех возникающих сопротивлений. в нем во время разрушения [7].

При резании уменьшается линейный размер материала, увеличиваются число новых частиц и их суммарная площадь боковой поверхности. Для резания характерно образование плоских поверхностей, частиц правильной формы, а также однородных гомогенных масс.

В мясной промышленности резание используют для измельчения материалов с различными механическими характеристиками:

- твердые хрупкие (сухая кость, замороженное мясо);
- твердые упруговязкие (сырая кость, рога, копыта);
- упругопластичные (мясные и жировые нативные ткани при положительных температурах, колбасы, шкуры);
- твердообразные пластично-вязкие (измельченное мясо, различные мясные фарши).

Разнообразие свойств материалов предопределяет большое разнообразие способов резания и видов рабочих механизмов.

Резание может происходить без образования стружек или с образованием стружек (опилок). В первом случае в качестве рабочего органа используют ножи, во втором – резцы, пилы и фрезы.

По характеру нагружения процессы деления на части без образования стружки разделяют на статические и динамические.

При статическом режиме скорость v_n и сила P_n подачи постоянны. Касательные скорости v_t и сила P_t могут быть постоянными или переменными (колебательными).

В соответствии с рисунками 1.1, 1.2 при статическом режиме нож может совершать относительно поверхности разрезаемого материала два движения: нормальное и касательное.

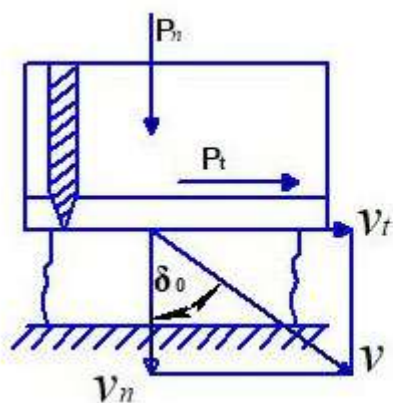


Рисунок 1.1 - Скользящее резание

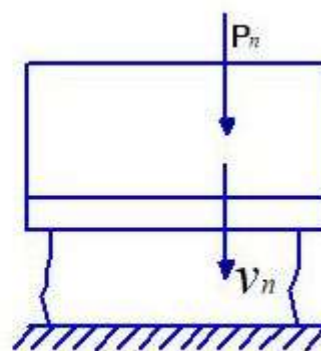


Рисунок 1.2- Рубящее резание

Нормальное движение определяется скоростью подачи v_n , а касательное – скоростью скольжения v_t . Их сумма является скоростью резания:

$$\vec{v} = \vec{v}_n + \vec{v}_t \text{ или } v = \sqrt{v_n^2 + v_t^2}, \quad (1.1)$$

Отношение скоростей называют коэффициентом скольжения:

$$\frac{v_t}{v_n} = \operatorname{tg} \delta_0 = K_c, \quad (1.2)$$

где K_c - коэффициент скольжения,
 δ_0 - угол скольжения.

Угол δ_0 может меняться от 0 до 90°, а коэффициент K_c от 0 до ∞ . Отношение скоростей v_n и v_t и соответственно величины δ_0 и K_c определяют характер процесса резания, его силовые и энергетические показатели и качество поверхности разреза.

В соответствии с рисунком 1.2 при $v_t = 0$, $\delta_0 = 0$ и $K_c = 0$ лезвие ножа подается со скоростью подачи v_n по нормали к поверхности материала. Подобный процесс называют рубящим резанием. При $v_n > 0$ называют скользящим или наклонным резанием [8].

В мясной промышленности первые работы по исследованию процесса резания мясного сырья лезвием выполнены под руководством А. И. Пелеева. Он [7, с. 66-67] дает резанию мяса следующее объяснение.

При скользящем резании лезвие скользит по фронту раздела и имеющиеся на лезвии заусенцы, действуя как мелкие зубья, перерезают соединительную ткань, таким образом, улучшаются условия резания. Кроме того, при смещении продукта вдоль лезвия происходит очистка последнего от зависающих на нем волокон мяса (при зависании волокон снижается эффективность резания и повышается расход энергии).

При рубящем резании лезвием или продукту сообщается встречное поступательное движение со скоростью v_n . При рубящем резании мяса поверхность раздела получается неровной, с выступающими волокнами и выхватами на ней.

Скользящее резание имеет перед рубящим большое преимущество, поскольку при нем значительно уменьшается нормальная к режущей кромке составляющая рабочего усилия на нож, а это обуславливает меньшее смятие продукта и потерю им сока и пористости, лучшее сохранение вкусовых и товарных качеств. Сказанное объясняется действием нескольких факторов, важнейшими из которых являются следующие: перенос части силы трения мяса о нож с нормального к режущей кромке направления на касательное; пилящее воздействие микрорубцев режущей кромки на измельчаемое мясо. Они играют существенную роль, особенно при $K_c > 2$ [6, с. 198-199].

Согласно гипотезе Ребиндера, общая работа (Дж) резания:

$$A = A_1 + A_2 + A_3, \quad (1.3)$$

где A_1 – работа разрушения молекулярных сил сцепления;

A_2 – работа пластических деформаций;

A_3 – работа внешнего трения между поверхностью ножа и материалом.

Соотношение составляющих в этой формуле зависит от свойств материала и вида резания, определяемого углом δ_0 [9, 10, 11].

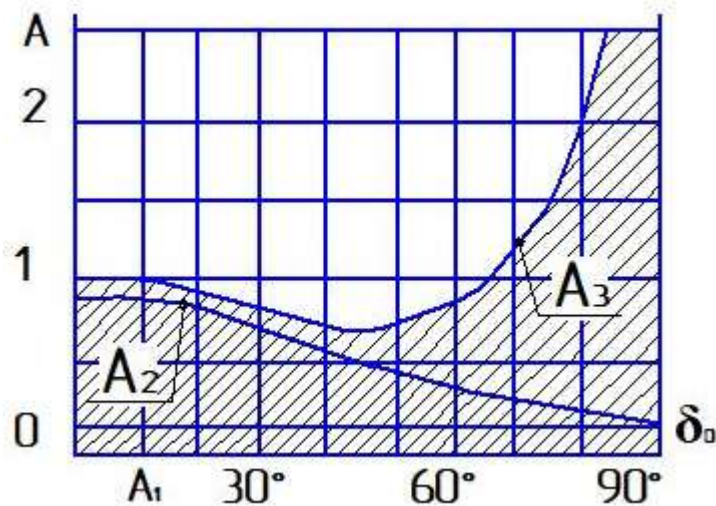


Рисунок 1.3 – Сравнительная схема распределения энергии

от угла скольжения [9, с.44].

Сравнительная схема распределения энергии по видам A_1 , A_2 и A_3 в зависимости от угла скольжения δ_0 , приведенные на рисунке 1.3 показывает, что с увеличением угла скольжения δ_0 несколько уменьшаются работа разрушения молекулярных сил сцепления A_1 и работа пластических деформаций A_2 . Работа трения A_3 инструмента о продукт растет из-за

значительного увеличения пути резания. Суммарная удельная работа A , уменьшается вначале при увеличении угла δ_0 , достигая минимума в пределах значения δ_0 от 45° до 60° , т.е. K от 1 до 2 и далее вновь увеличивается, стремясь к ∞ при $\delta_0 \rightarrow 90^\circ$ ($K_c \rightarrow \infty$). В машинах $K=10 \dots 600$, т.е. $\delta_0=84 \dots 89^\circ 50'$, а скорость лезвия v_l - составляет $1 \dots 100$ м/с, при скорости подачи $v_n=(0,1 \dots 0,17) v_l$. При этих значениях получают удовлетворительные показатели по энергозатратам и обеспечивается хорошее качество вновь образованных поверхностей [12].

Уменьшение усилия при скользящем резании связано с эффектом перепиливания микронеровностей и заусенцев на лезвии, что особенно заметно при резании сложных анизотропных материалов, к которым относится и мясо. Так, волокно соединительной ткани, входящее в состав мышц, имеет предел прочности $8 \dots 12$ мПа, а мышечная ткань $0,15 \dots 0,09$ мПа. Влияние эффекта перепиливания на уменьшение сил отмечается многими исследователями, но численно оно не установлено [8, с. 241]. Однако, конструктивные уменьшения угла заточки всегда ограничены условиями механической прочности материала ножа и указанный эффект как бы отодвигает эту границу [5 с. 199].

Все вышеизложенное говорит о том, что состояние и работоспособность элементов режущего механизма определяют эффективность работы машины в целом.

1.2 Реологическое состояние мясного сырья при механической обработке

Свойства мясного сырья зависят от таких факторов как температура, влажность и продолжительности механического воздействия. Достоверные реологические характеристики необходимы для проектирования машин и аппаратов, выбор рациональных режимов при механической обработке, в том числе и при измельчении. Знание закономерностей изменения реологических свойств позволяет влиять на структуру и качество мясопродуктов, регулирования режимов и способов механической обработки. К основным задачам, практической реологии можно отнести разработку обоснованных методов расчета оборудования для определения геометрических, энергетических, кинематических и динамических параметров работы машин и их рабочих органов [13, 14, 15, 16].

Известны следующие промежуточные модели идеализированных материалов: модель Ньютона, модель Гука, модель Сен-Венана, модель Рэнкина и модель Пелега рисунок 1.4 [17].

Моделью Ньютона является демпфер (рисунок 1.4 *a*), т.е. цилиндр с жидкостью и поршнем с отверстиями, имитирующий вязкую жидкость. Соответствующей математической моделью является реологическое уравнение состояния ньютоновского тела для простого сдвига $\theta = \eta \cdot \dot{\gamma}$, реологической константой, которой является вязкость η .

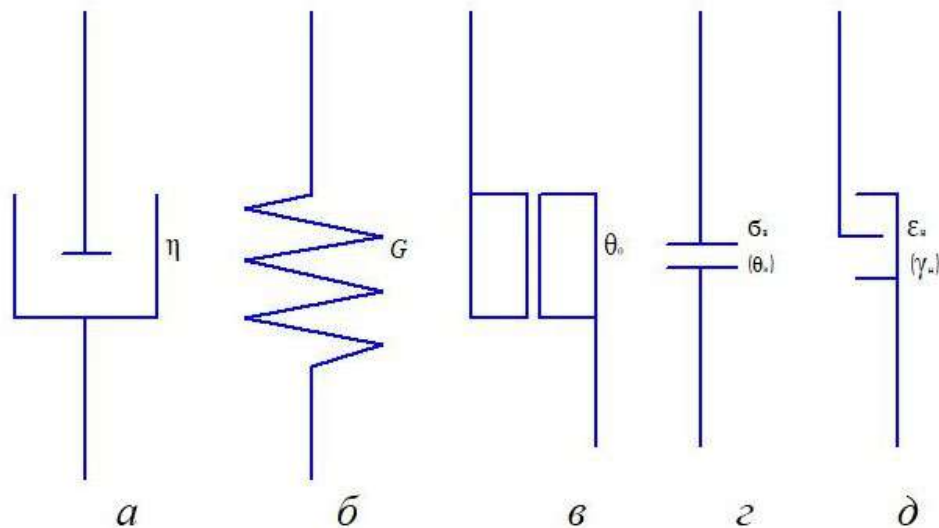


Рисунок 1.4 – Механические модели, отражающие элементарные реологические свойства: а - модель Ньютона; б - модель Гука; в - модель Сен-Венана; г - модель Рэнкина; д - модель Пелега

Моделью Гука является пружина (рисунок 1.4 б), или модель упругого твердого тела. Соответствующей математической моделью является реологическое уравнение гуковского твердого тела (для растяжения-сжатия $\sigma = \varepsilon \cdot E$; для простого сдвига $\theta = \gamma \cdot G$) с реологической константой – модуль сдвига G .

Модель Сен-Венана изображается в виде пары трения и определяется как модель идеально пластического тела (рисунок 1.4 в). Оно неподатливо при нагрузке ниже предела текучести, а после его превышения неограниченно деформируется. Предел текучести θ_0 является реологической константой элемента пластичности .

Модель Рэнкина, или модель твердого тела, как пара сцепленных пластин (рисунок 1.4 г). реологическая константа данного элемента – предел прочности θ_v (σ_v). Если при осевом нагружении достичь предела прочности, сцепленные пластины необратимо разъединяются. Для этой модели действительно две области нагружения.

Модель Пелега (твердого тела), учитывает мгновенную необратимую деформацию [17, с.35; 18, 19]. При нагружении модель Пелега (рисунок 1.4 д) сначала деформируется в пределах ε_n , а после достижения контакта ведет себя как жесткое тело.

При последовательном соединении все тела имеют одинаковое напряжение σ , а их деформации складываются:

$$\sigma = \sigma_i; \varepsilon = \sum \varepsilon_i \quad (1.4)$$

При параллельном соединении все тела деформируется на одинаковую

величину ε , а общее напряжение модели состоит из напряжений отдельных тел:

$$\sigma = \sum \sigma_i; \varepsilon = \varepsilon_i \quad (1.5)$$

Для элементарных модельных тел справедливо правило сложения производных напряжений и деформации по времени:

$$\dot{\sigma} = \sum \dot{\sigma}_i; \ddot{\sigma} = \sum \ddot{\sigma}_i; \dot{\varepsilon} = \sum \dot{\varepsilon}_i; \ddot{\varepsilon} = \sum \ddot{\varepsilon}_i \quad (1.6)$$

Простейшие реологические модели показаны на рисунке 1.4, а их обзор приведен в работе [17, с. 35; 20].

Механическая модель мясного сырья

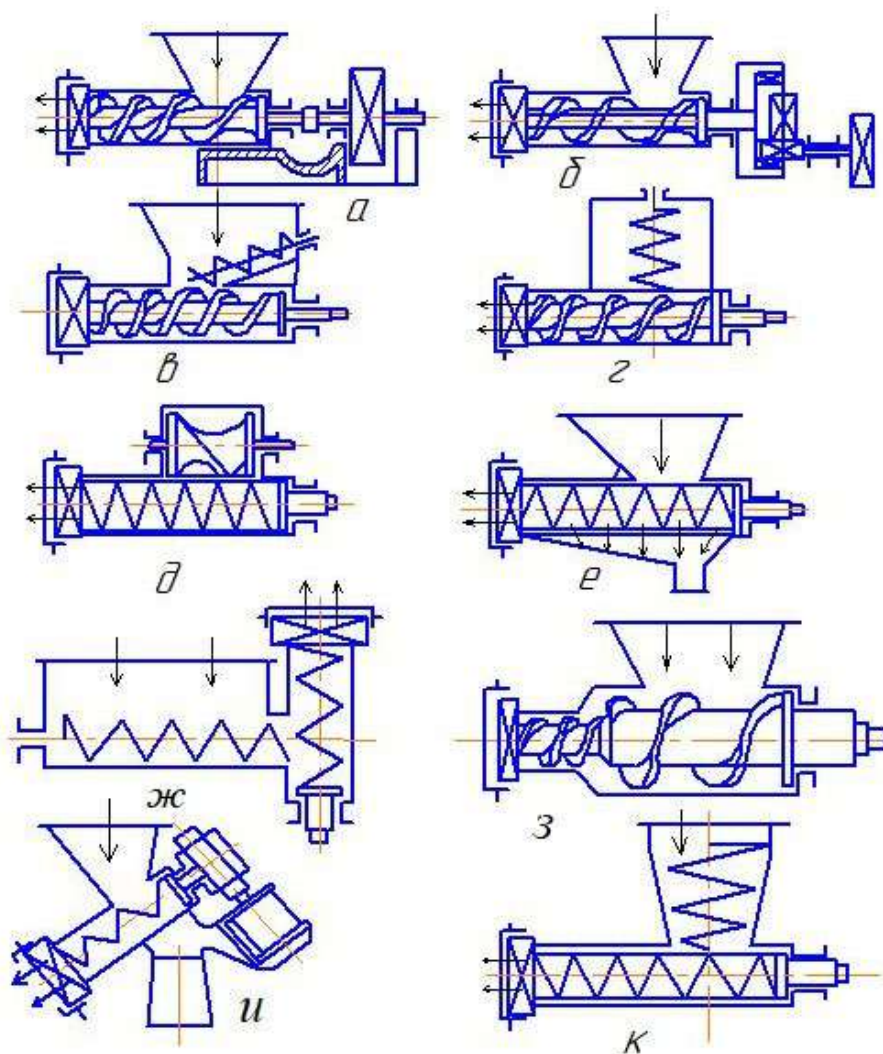
Мясные продукты представляют собой многокомпонентные системы, которые подвергаются воздействию внешних факторов с целью изменения внутренних свойств. Сырье или продукт можно представить как реологическое тело, механическая модель которого является совокупностью тел, характеризующихся упругостью, вязкостью, пластичностью, и прочностью, деформационное поведение которых описывают сложными реологическими уравнениями, представленными в главе 3 разделах 3.2 и 3.3 настоящей диссертационной работе [17, с. 42; 21, 22, 23, 24].

1.3 Классификация машин для мелкого измельчения мясного сырья

1.3.1 Волчки

Волчки (промышленные мясорубки) относятся к машинам для мелкого измельчения [25].

Волчки классифицируются по области применения, способу подачи сырья в режущий механизм, способу подачи сырья в бункер, способу подачи сырья на основной шнек, расположению цилиндров, в зависимости от материала и назначения [26]. На рисунке 1.5 показаны схемы волчков промышленного типа в зависимости от способа подачи сырья.



а, б, е, з, и – без устройств для принудительной подачи сырья; в, г, д, ж, к – с устройствами для принудительной подачи сырья.

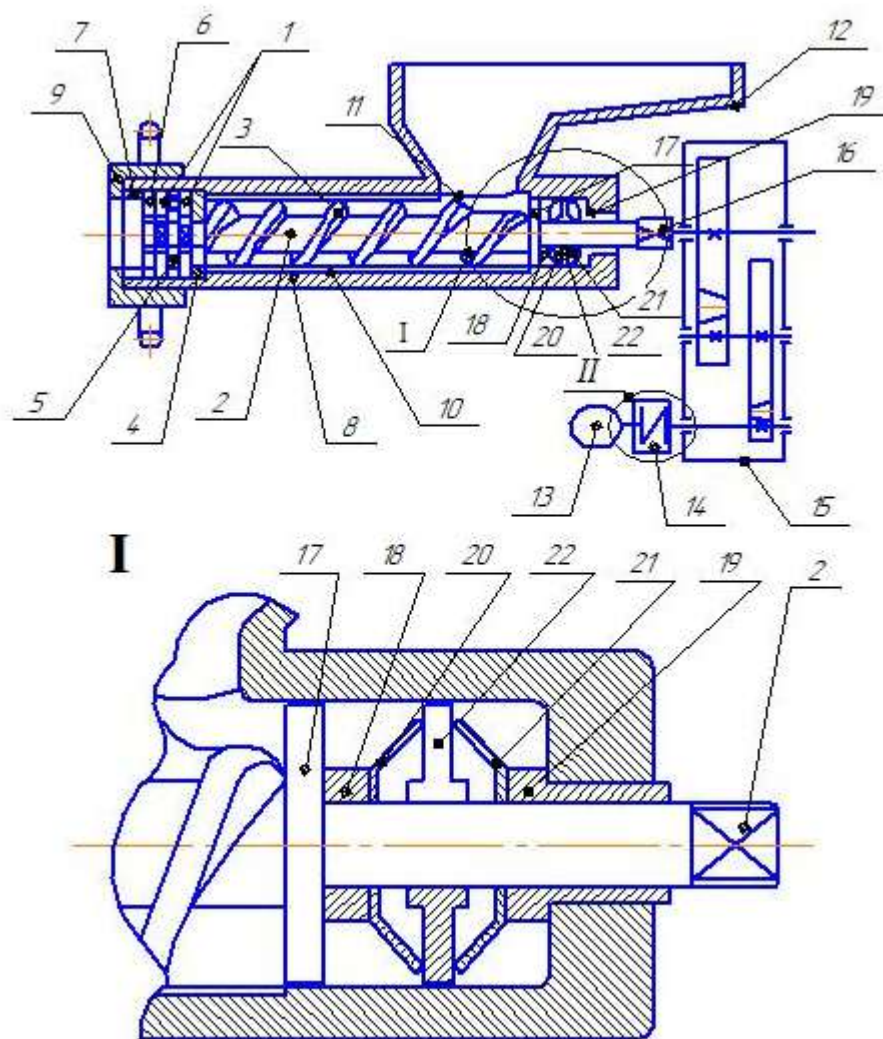
Рисунок 1.5 - Схемы волчков промышленного типа.

Волчки фирмы «Seydelmann» имеют прямые или спиральные ребра на внутренней поверхности цилиндров. Назначение их заключается в обеспечении осевого перемещения продукта. Цилиндры изнутри подвергают горячему лужению, т.е. покрытию пищевым оловом. Величина щели между наружной кромкой шнека и ребрами не превышает 2 мм. При более значительном увеличении щели происходит возникновение обратных потоков «текучей» фракции мяса. На возникновение обратных потоков измельченного мяса влияет также длина шнека, а точнее число витков (шагов) на нем [27].

Сыроватским Э.Ф. разработан волчок. Сущность изобретения: способ измельчения содержит несколько предварительных стадий разрезания на части кусков исходного сырья, улавливание кусочков включений и их выпуск через разгрузочный патрубок. Перед заключительной стадией измельчения мясо массируют кусочками включений [28].

Росенбаум М. разработал волчок, предназначенный для измельчения мяса и других продуктов с большим содержанием белка. Он включает в себя бункер для продукта, транспортер подающий продукт к ножевому механизму, решетку, двигатель и так далее. В отличие от аналогов волчок имеет улучшенный режущий механизм у решетки и наклонные каналы для измельченного продукта в решетке. Кроме того он быстро разбирается для очистки и собирается, что способствует повышению производительности. При разборке волчка приняты меры безопасности, предотвращающие травматизм персонала [29].

Темиртасовым Д.К. разработан волчок, схема которого показана на рисунке 1.6, который относится к оборудованию для измельчения пищевых продуктов, в частности, к машинам с прерывистым резанием мясопродуктов. Волчок с прерывистым резанием мяса содержит два ножа, насаженных на вал шнека, расположенных между приемной, промежуточной и выходной решетками. Причем отверстие приемной решетки служит опорой для вала шнека. Поверх последней решетки установлено упорное кольцо, размещенное внутри цилиндрического корпуса и прижатое нажимной гайкой. Сам корпус внутри снабжен направляющими канавками, расположенными вдоль оси винтовой линии шнека, при этом корпус с верхней стороны имеет загрузочное отверстие, над которым вертикально расположен бункер. Здесь внутри корпуса соосно установлен однозаходный шнек, шаг которого уменьшается в сторону разгрузки. Между заплечиком шнека и его радиально - упорным подшипником установлены тарельчатые пружины с большими основаниями друг к другу, касающиеся через диск. Муфта электромеханического привода имеет крестообразный резиновый упругий элемент в замкнутом пространстве. В приводе с ременной передачи упругий элемент встроен внутри составного ведомого шкива. Лезвий ножей установлены под углом $\alpha=10^{\circ}-15^{\circ}$ относительно перпендикуляра, проходящего через ось вращения [30].

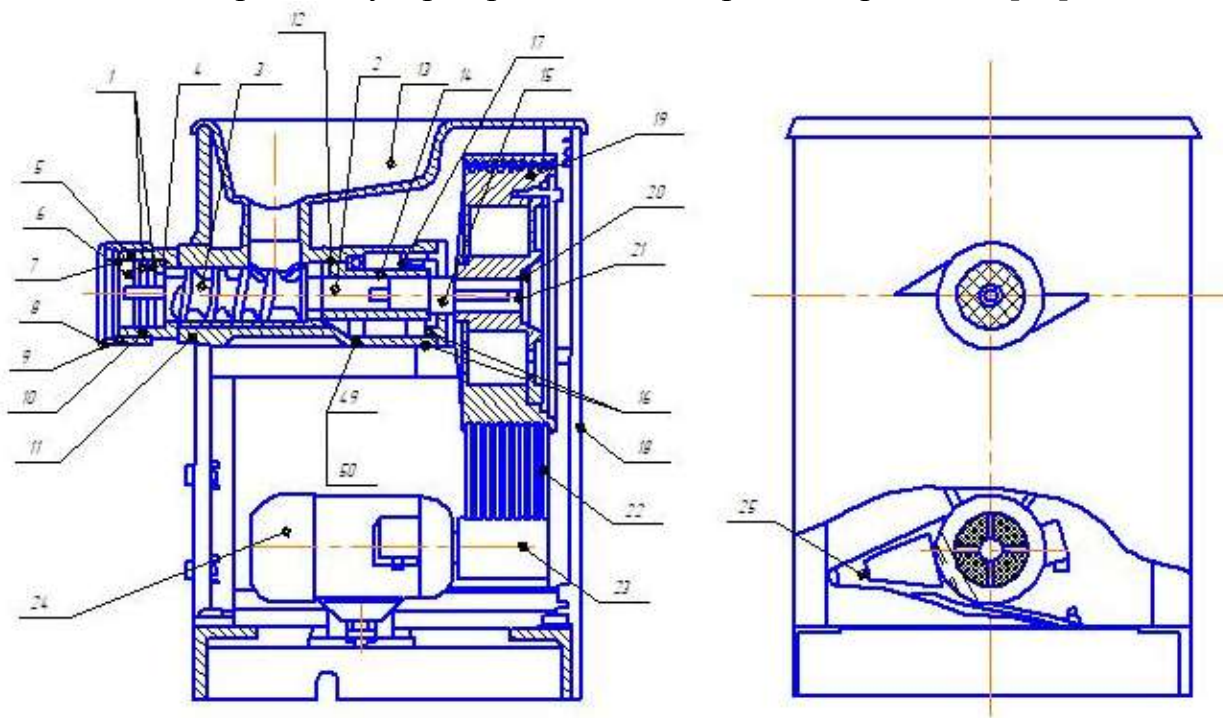


1 – два ножа; 2 – вал; 3 – шнек; 4, 5, 6 – приемная, промежуточная и выходная решетки; 7 – упорное кольцо; 8 – корпус; 9 – нажимная гайка; 10 - направляющие канавки; 11 – загрузочное отверстие; 12 – бункер; 13 – электродвигатель; 14 – упругая муфта Джубо; 15 – цилиндрический двухступенчатый редуктор (Ц2УВ); 16 – выходной вал; 17 – заплечик; 18 – распорное кольцо; 19 – упорный подшипник; 20, 21 – левое и правое тарельчатые пружины Бельвилля; 22 – опорный диск.

Рисунок 1.6 - Волчок конструкции Темиртасова Д.К.

Также в Темиртасовым Д.К., Еренгалиевым А. и др. разработан мясорубка-волчок его схема показана на рисунке 1.7. Изобретение относится к оборудованию для измельчения пищевых продуктов, в частности, к машинам с прерывистым резанием мясopодуков. Мясорубка - волчок с прерывистым резанием мяса, содержащий два ножа, насаженных на вал шнека, расположенных между приемной, промежуточной и выходной решетками. Причем отверстие приемной решетки служит опорой для вала шнека. Поверх последней решетки установлено упорное кольцо, размещенное внутри

цилиндрического корпуса и прижатое нажимной гайкой. Сам корпус внутри снабжен направляющими канавками, расположенными вдоль оси винтовой линии шнека, при этом корпус с верхней стороны имеет загрузочное отверстие, над которым вертикально расположен бункер. Здесь внутри корпуса соосно установлен однозаходный шнек, шаг которого уменьшается в сторону разгрузки. С целью самозатачивания ножей ведомый шкив выполнен составным, где между ступицей и ободом установлен крестообразный резиновый упругий элемент в замкнутом пространстве, при этом для регулирования угла закручивания диск ступицы имеет криволинейные пазы различной длины. В экспериментальном образце мясорубки - волчка с прерывистым резанием мяса, между выносной опорой приводного вала и корпусом установлен бесконтактный измеритель крутящего момента, состоящий из тензорезисторов, соединенных по мостовой дифференциальной схеме с вращающимися катушками. Приемная решетка выполнена с серповидными отверстиями, а лезвия ножей установлены под углом $\alpha=10^{\circ}-15^{\circ}$ относительно перпендикуляра проходящего через ось вращения [31].



1 – два ножа; 2 – вал; 3 – шнек; 4, 5, 6 – приемная, промежуточная и выходная решетки; 7 – упорное кольцо; 8 – нажимная гайка; 9 – гильза; 10 – направляющие канавки; 11 – корпус; 12 – штифт; 13 – бункер; 14 – втулки; 15 – приводной вал; 16 – радиальные шариковые подшипники; 17 – шариковый упорный подшипник; 18 – станина; 19 – составной шкив; 20 – шайба; 21 – болт; 22 – ремень; 23 – ведущий шкив; 24 – электродвигатель; 25 – натяжная рама.

Рисунок 1.7 - Мясорубка-волчок конструкции Темиртасова Д.К., Еренгалиева А., Тюменбаева Х.И.

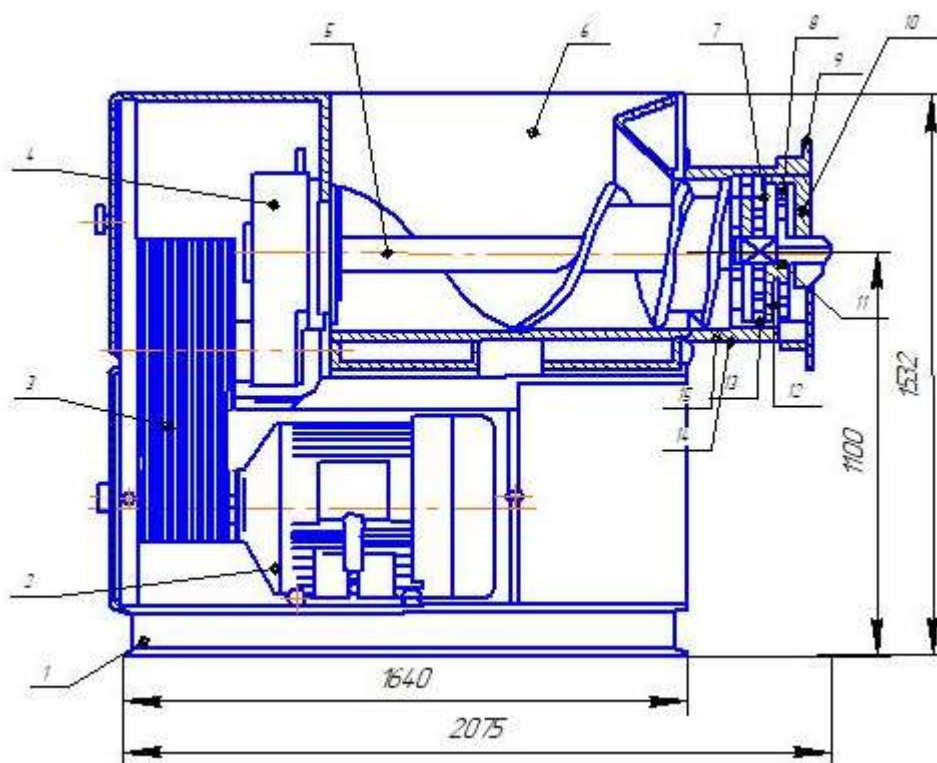
Разработана мясорубка, предназначенная для измельчения пищевых продуктов, в частности для переработки мяса в мясной фарш на предприятиях общественного питания, пищевой промышленности и в быту. Мясорубка содержит: корпус, шнек, на оси которого установлен нож, клинки которого имеют зубчатые кромки, зубчатое кольцо с внутренней зубчатой кромкой, решетку с отверстиями, накидную гайку [31, с. 1].

При этом в обоюдозубчатых клинках ножа имеются сквозные прорезы с заостренными режущими кромками. Образующими замкнутые контуры овальной, или прямоугольной, или произвольно сконфигурированной формы, а зубчатое кольцо с внутренней зубчатой кромкой, концентрично размещено относительно ножа с возможностью сохранения минимально возможного расстояния (люфта) между внутренней зубчатой кромкой зубчатого кольца и зубчатыми кромками каждого клинка ножа. Зубчатое кольцо, трехгранные зубья режущих кромок клинков ножа и сквозные прорезы в клинках ножа с заостренными режущими кромками, образующими замкнутые контуры овальной, или прямоугольной, или произвольно сконфигурированной формы, способствуют уменьшению колебаний крутящего момента на валу подающего шнека мясорубки и позволяют использовать в мясорубке более тонкие решетки, что способствует улучшению качества готового продукта, повышению производительности мясорубки и экономии дорогостоящего легированного металла, используемого для изготовления решеток [31, с. 2].

1.3.2 Волчки-дробилки

Волчки-дробилки используют для измельчения мясокостных конфискатов и сырой кости комбинированным способом - изломом и резанием. Эти машины также как и волчки состоят из подающего механизма - шнека и режущего механизма, состоящего из набора крестообразных ножей и решеток [12, с. 120].

Волчок-дробилка В2-ФДБ рисунок 1.8 имеет подающий шнек, установленный в станине. Режущий механизм расположен в горловине, которая болтами прикреплена к станине. Шнек имеет переменный шаг. В зоне загрузочной чаши шаг шнека наибольший, что облегчает захват кости. Режущее устройство состоит из трех- или четырехперых массивных крестообразных ножей, размещенных на хвостовике шнека, и решеток: приемной, промежуточной и выходной, установленных в горловину и зафиксированных от проворачивания штифтом. Решетки имеют отверстия различного размера и формы. В приемной и промежуточной решетках отверстия треугольные, в выходной - круглые диаметром 40 мм. Ножи и решетки плотно прижимают друг к другу накидной гайкой через опорное кольцо. Приводятся во вращение шнек и режущий механизм от электродвигателя через клиноременную передачу и цилиндрический редуктор, с которым шнек соединен предохранительной муфтой со срезным штифтом [3, с. 244-246; 12, с. 121].



1 - станина; 2 - электродвигатель; 3 - клиноременная передача; 4 - редуктор; 5 - подающий шнек; 6 - загрузочная чаша; 7 - режущий механизм; 8,13,14 - соответственно выходная, промежуточная и приемная решетки; 9 - накидная гайка; 10 - опорное кольцо; 11 - хвостовик; 12 - крестообразный нож; 15 - горловина.

Рисунок 1.8 - Волчок-дробилка В2-ФДБ.

Твердые конфискаты или кость с размером кусков до 700 мм загружают в приемную чашу, где они захватываются шнеком и перемещаются к режущему механизму. В зазоре между шнеком и корпусом происходит начальное измельчение (излом) костей. Для этой цели на внешнем периметре шнека сделана острая отогнутая кромка. Окончательное измельчение осуществляется ножами на гранях отверстий решеток, через которые масса продавливается шнеком. Внешний диаметр решетки измельчителя 350 мм, частота вращения шнека $1,67 \text{ с}^{-1}$. Производительность машины до 6000 кг/ч при мощности электродвигателя 40 кВт. Масса машины 2610 кг [12, с. 121].

Волчок дробилка фирмы «Волфкинг» для удобства сборки и разборки режущего механизма имеет на корпусе поворотный подъемный кран с ручной талью. Режущий механизм этих измельчителей состоит из приемной, промежуточной и выходной решеток и массивных трехперых ножей, имеющих винтовую поверхность для создания осевого давления на продукт [12, с. 121].

Волчок для измельчения вареной кости состоит из сварного корпуса, подающего шнека с постоянным шагом, комплекта режущего инструмента, загрузочной горловины, прижимной гайки и электропривода, включающего в

себя шестеренчатый редуктор, клиноременную передачу, электродвигатель, закрытого типа мощностью 7,5 кВт и соединительную муфту.

В загрузочную горловину волчка подают сваренную в шнековом аппарате кость, которая захватывается витками шнека и подается к режущему механизму, закрепленному на цилиндре волчка, состоящего из трехперого ножа и решетки с диаметром отверстий 30 мм. Так как шаг шнека волчка постоянный, а диаметр вала увеличивается в направлении выгрузки, то в результате уменьшения в зоне режущего механизма рабочего объема шнекового вала сырье подпрессовывается. Таким образом, сваренная кость подается к режущему ножу под некоторым давлением, измельчается и продавливается через решетку с отверстиями диаметром 30 мм. По окончании работы гайку 4 отвинчивают и режущий механизм вынимают для разборки и промывки. После измельчения на волчке получается фракция с размером частиц кости от 12 до 30 мм в количестве 42% от общего количества измельченного сырья. Она используется в виде шрота после обезжиривания в центрифуге и сушки в клежелатиновом производстве.

CFSWolfking 300FBG" - машина мелкого измельчения. Основными рабочими органами являются: шнек переменного шага и режущая пара нож-решетка [32].

Так же стоит отметить измельчитель-смеситель «MadoUltra 2». Здесь транспортирующие-смешивающие шнеки изготовлены из полимерных материалов, что исключает коррозию, уменьшает вес и энергоемкость машины, снижает ее стоимость. Напротив, силовые измельчающие органы выполнены из высокопрочной стали, что обеспечивает переработку практически любого мясокостного сырья при такой, на первый взгляд, непрочной их конструкции.

Для получения мясокостного фарша учеными Университета имени Шакарима города Семей был разработан экспериментальный волчок-дробилка. Волчок-дробилка предназначен для мелкого измельчения мясного и мясокостного сырья, твердых конфискатов, смеси твердых и мягких конфискатов, а также подтаявших блоков замороженного мяса.

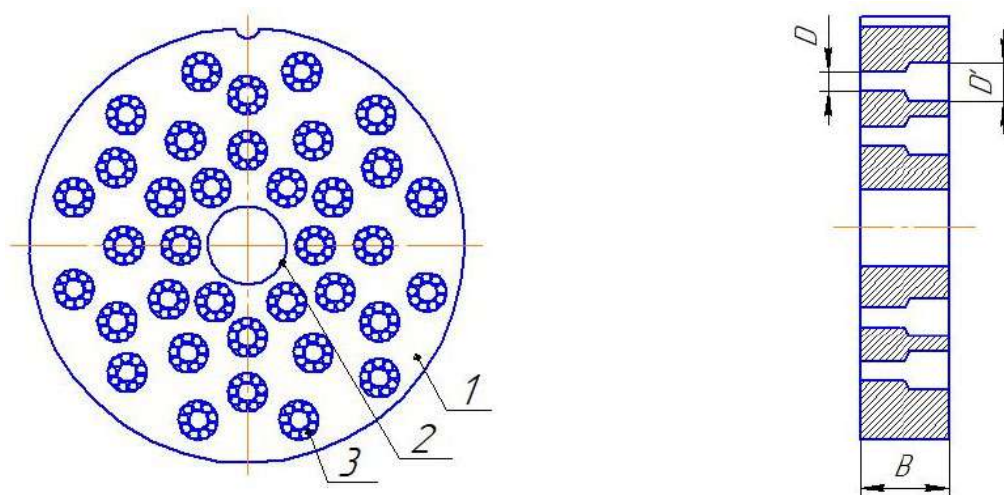
Он состоит из рамы, шнека, редуктора, электродвигателя, клиноременной передачи, кожуха, блокировки и бункера. Основной исполнительный орган волчка-дробилки - измельчительное устройство, представляющее собой набор матриц и измельчителей, чередующихся в определенном порядке: матрица с большими треугольными отверстиями, измельчитель, матрица с малыми треугольными отверстиями, матрица с круглыми отверстиями. Матрицы устанавливаются в насадке и фиксируются стопорами. Измельчители надеваются на передний конец шнека. Куски сырья размерами до 40 мм загружаются в бункер, они подхватываются шнеком и перемещаются к измельчительному устройству. Измельчение сырья происходит неподвижными матрицами и вращающимися измельчителями. Шнек приводится в движение электродвигателем через клиноременную передачу и редуктор [33, 34].

1.3.3 Решетки для измельчения мясного и мясокостного сырья

Решетка является составной частью режущего механизма волчка. И подразделяется на подрезную и измельчительную решетку. Подрезная решетка представляет собой диск с радиально расположенным или серпообразными лезвиями. Подрезная решетка устанавливается в корпусе для шнека первой, по направлению движения сырья. И служит для резания и предварительного крупного измельчения. Измельчительные решетки, как правило выполнены в форме диска с круглыми отверстиями, которые расположены по спирали, в шахматном порядке, по окружности и по контуру квадрата или треугольника. И предназначено для нужного формирования измельчаемого пищевого сырья [35].

Рассмотрим решетки, к устройству для измельчения мясного сырья современными авторами квалифицирующиеся на разработках решеток к устройствам для измельчения мяса и других продуктов.

Решетка к устройству для измельчения мяса выполненная в виде диска на рисунке 1.9, имеющего центральное отверстие для его крепления на валу и отверстия для измельчения и прохода мяса с увеличенным диаметром отверстий с одной стороны решетки, отличающаяся тем, что увеличение диаметра отверстий для измельчения и прохода мяса с одной стороны решетки выполнено на глубине, равной половине толщины диска и составляет 25% [36].



- 1- решетка; 2 – центральное отверстие для крепление на валу устройства ; 3 - отверстия диаметром D

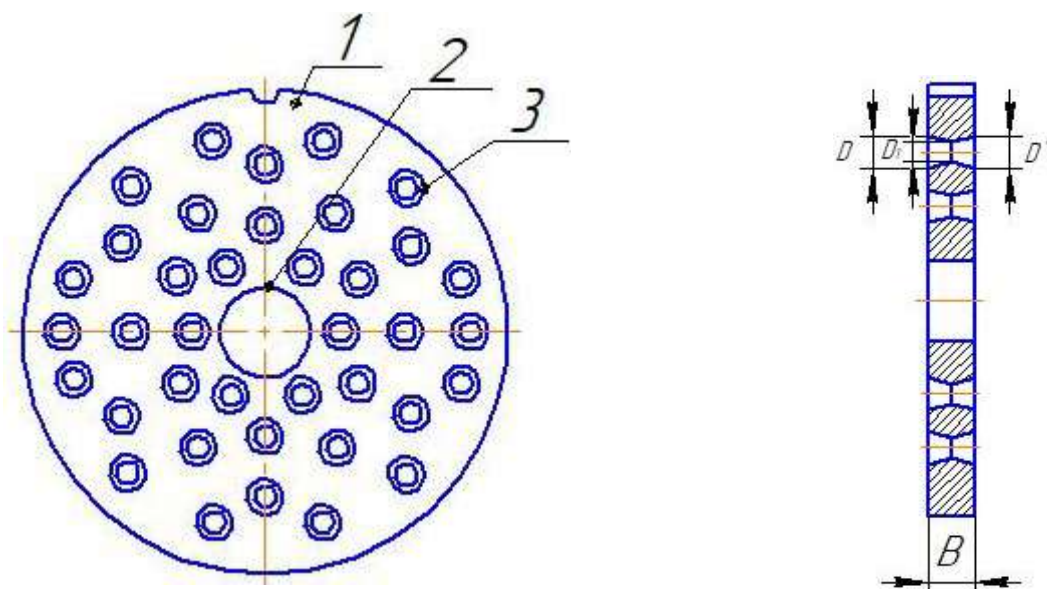
Рисунок 1.9 - Решетка к устройству для измельчения мяса

Решетка выполнена в виде диска 1, имеющего центральное отверстие 2 для крепления его на валу устройства и отверстия 3 диаметром D для измельчения и прохода мяса. С противоположной стороны решетки диаметр D' отверстий 3 увеличен на 25% на глубину, равную половине толщины диска δ . Решетка закрепляется на валу устройства посредством центрального отверстия 2.

Работа осуществляется следующим образом.

Вращающийся нож, прижатый к решетке, производит измельчение мяса, которое проталкивается через отверстия 3 с давлением P . Начиная с середины толщины решетки мясо проталкивается в отверстия с диаметром, увеличенным по сравнению с D на 25%. Увеличение диаметра приводит к снижению давления P , что вызывает уменьшение общей мощности привода устройства и затрат на трение ножа о решетку [36 с. 2].

Следующая решетка к устройству для измельчения мяса разработана Юрковым С.Г. и др. на рисунке 1.10. Сущность изобретения (рис. 1.8) заключается в том, что отверстия для измельчения и прохода мяса выполнены с переменным диаметром. От начала рабочей поверхности диаметр отверстия плавно уменьшается к середине глубины, а затем, также плавно расширяется, за счет чего решетка имеет две рабочие поверхности. Диаметр отверстий у рабочей поверхности диска по отношению к середине его глубины составляет 25% [37].



1- решетка выполненная в виде диска; 2 – центральное отверстие для крепление на валу устройства ; 3 - отверстия диаметром $D1$

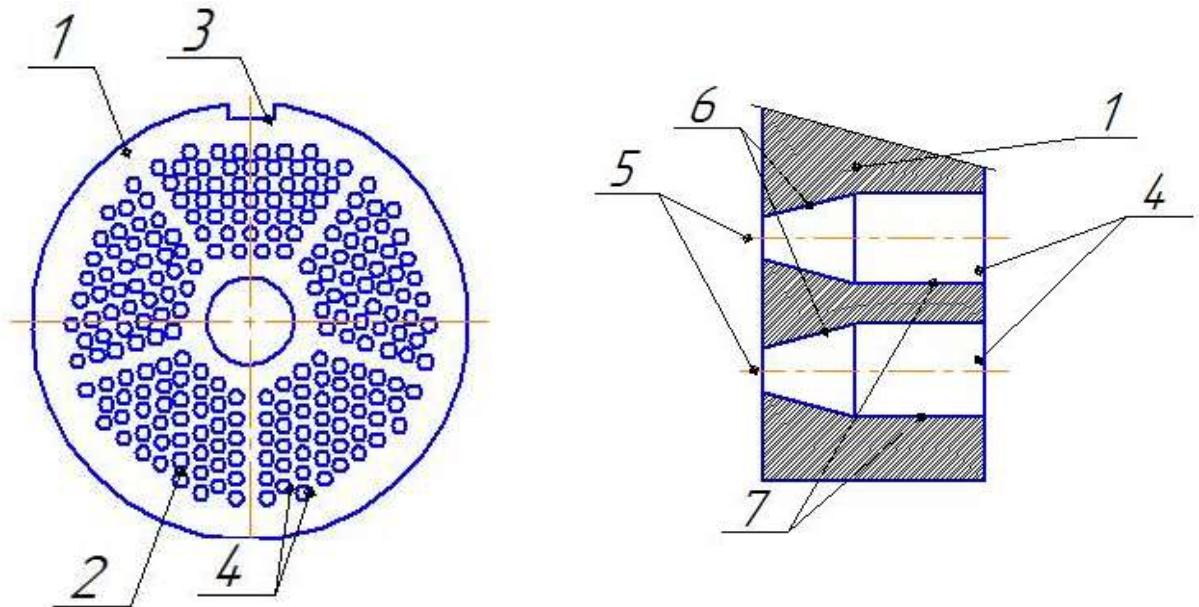
Рисунок 1.10 - Решетка к устройству для измельчения мяса

Решетка 1 выполнена в виде диска, имеющего центральное отверстие 2 для крепления его на валу устройства и отверстия 3 диаметром $D1$ для измельчения и прохода мяса. С обеих сторон решетки диаметры D и D' отверстий 3 у рабочих поверхностей увеличены на 25%, по отношению к глубине отверстия имеющего диаметр $D1$. Решетка устанавливается на валу устройства посредством центрального отверстия 2 и фиксируется посадочным пазом 4.

Работа осуществляется следующим образом. Вращающийся нож, прижатый к решетке 1, производит измельчение мяса, которое проталкивается через отверстия 3 с давлением P , которое плавно

увеличивается до середины глубины отверстия, где имеется минимальный диаметр, а затем снижается, по мере увеличения диаметра отверстия [37, с. 2].

Решетка для мясорубки на рисунке 1.11, выполненная в виде диска постоянной толщины, содержащего посадочное отверстие и фиксирующий вырез и сквозные отверстия, расположенные концентрическими рядами, оси которых ориентированы перпендикулярно поверхности решетки [38].



1 – решетка; 2- посадочное отверстие; 3 - фиксирующий вырез; 4 –сквозное отверстие; 5 – продольные оси; 6, 7 – конфузорный и цилиндрический участки сквозных отверстий

Рисунок 1.11 – Решетка для мясорубки

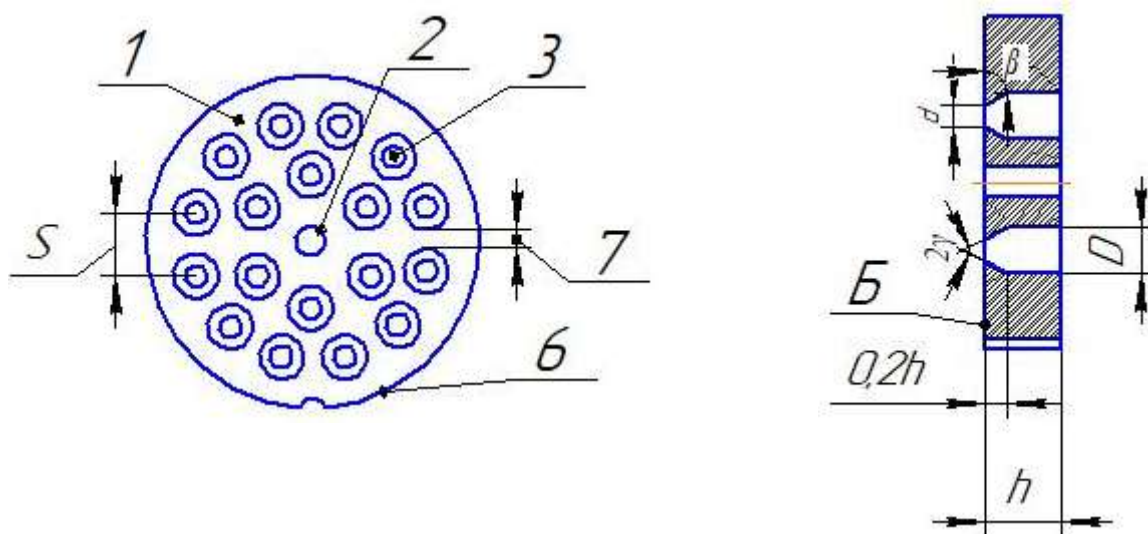
Решетка имеет следующие выходные данные: наружный диаметр, $d_p=160$ мм; толщина, $S=25$ мм; длина конфузорных участков 10 - 12,5 мм, начальный диаметр конфузорных участков отверстий, $d_1=5$ мм, конечный 7,1-8,5 мм (при длине участка 10 мм) или 9 - 10,5 мм (при длине участка 12,5 мм).

Устройство работает следующим образом.

Подающий шнек мясорубки, приводимый во вращение приводным двигателем, вращается в подающей части ее корпуса. Опираение его конца на стенки посадочного отверстия 2 обеспечивает стабильное положение его оси вращения. В процессе вращения шнек подпрессовывает измельчаемое сырье в зону решетки и ножами обрезает продавливаемую массу. Режущий эффект проявляют также и кромки сквозных отверстий 4. Наличие в сырье большого количества хрящей (которые в обычную решетку не проходят) приводит к их измельчению до размеров входного сечения отверстий 4 (в данном случае до 5 мм), после чего они беспрепятственно проталкиваются в отверстия 4 и

проходят по ним без опасности расклиниться между стенками этих отверстий [38, с. 2].

Решетка к устройству для измельчения продуктов показанная на рисунке 1.12, выполненная в виде диска с центральным круглым отверстием, шпоночной канавкой на периферии и сквозными рабочими отверстиями, отличающаяся тем, что размеры рабочих отверстий в продольном сечении выполнены увеличивающимися в направлении от наружной торцевой поверхности решетки, обращенной к подвижному ножу, на длине $0,2$ толщины диска и далее постоянными [39].



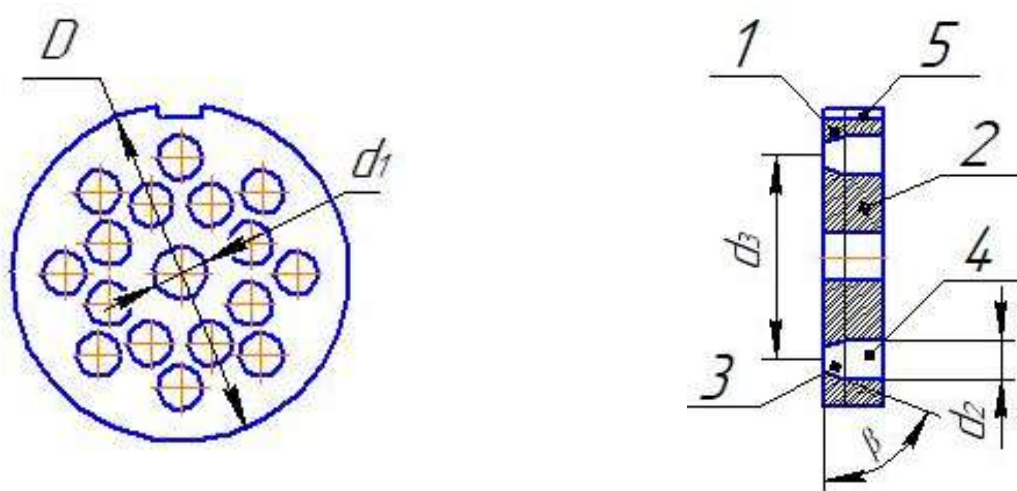
1 – решетка; 2 – отверстие для установки и центрирования на конце шнека; 3 – рабочие комбинированные отверстия; 4 – круглый усеченный конус; 5 – круглый цилиндр; 6 – шпоночная канавка; 7 - перемычка

Рисунок 1.12 – Решетка к устройству для измельчения продуктов

Решетка 1 имеет центральное круглое отверстие 2 для установки и центрирования на конце шнека, рабочие комбинированные отверстия 3, состоящие на входе измельчаемого продукта из круглых усеченных конусов 4 с высотой, равной $0,2$ толщины решетки и круглых цилиндров 5 с диаметрами, равными диаметру основания конуса 4. На периферии решетки располагается шпоночная канавка 6, обеспечивающая неподвижность решетки в процессе ее работы. Диаметр основания круглого конуса D и, следовательно, диаметр круглого цилиндра должны быть одинакового размера и выбраны в зависимости от параметров перфорированной части решетки, т.е. в зависимости от диаметра рабочего отверстия на входе d и величины шага между отверстиями S . При этом перемычки 7 между отверстиями на выходе не должны быть менее $0,5 \dots 1,0$ мм. Параметры решетки d и S определяются по нормативно-технической документации на решетки в зависимости от требуемой степени измельчения пищевого продукта и конструктивного

расположения рабочих отверстий на перфорированной части решетки [39, с. 2].

Решетка к устройству для измельчения пищевых продуктов на рисунке 1.13, выполненная в виде двух дисков: режущего и несущего, имеющего центральное круглое отверстие, шпоночную канавку на периферии, сквозные соосно расположенные рабочие отверстия, отличающаяся тем, что рабочие отверстия на режущем диске имеют форму усеченного конуса, и их размеры увеличиваются в направлении выхода измельченного продукта, а в несущем диске имеют цилиндрическую форму и остаются постоянными, равными диаметру основания усеченного конуса рабочего отверстия режущего диска, причем режущий диск изготавливают из износостойчивой стали, а несущий диск - из коррозионно-стойкой стали [40].



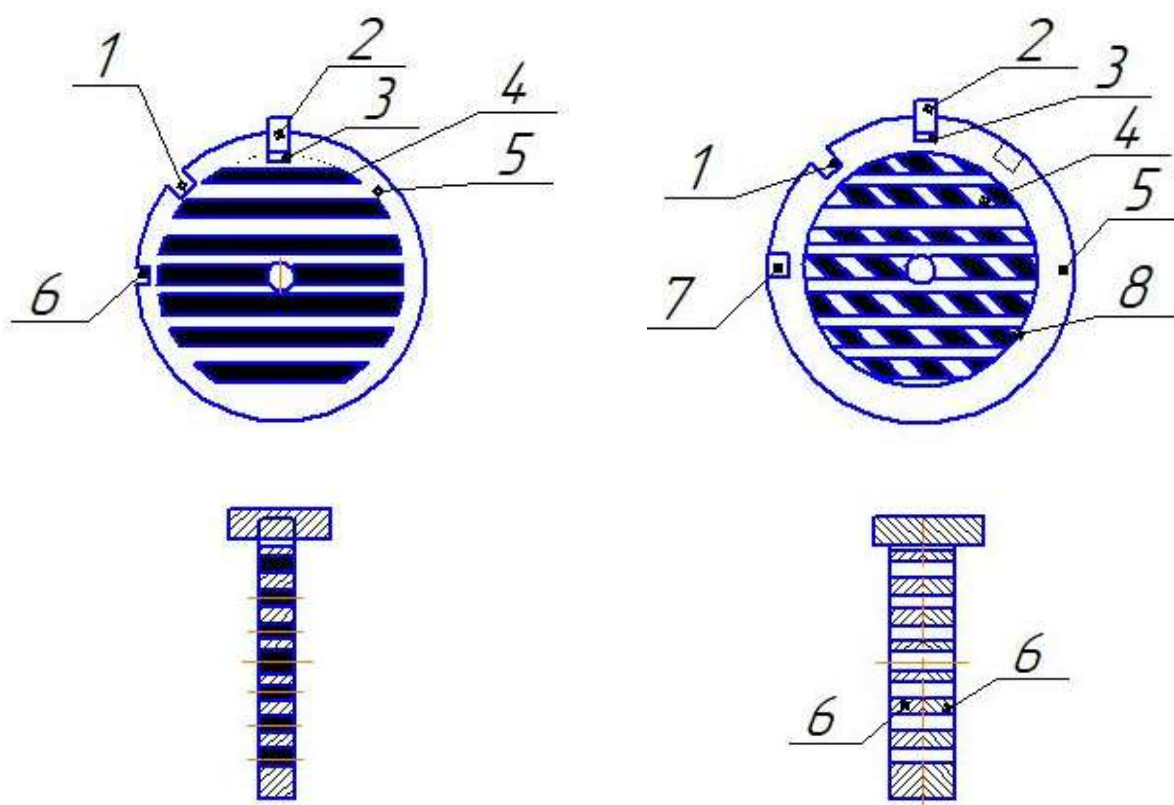
1 – режущий диск; 2 – несущий диск; 3 – коническое отверстие режущего диска; 4 – цилиндрическое отверстие несущего отверстия; 5 – базирующая шпоночная канавка; β – угол заострения.

Рисунок 1.13 – Решетка устройство для измельчения пищевых продуктов

Перфорированная решетка выполнена в форме комплекта дисков, режущей и несущей, с центральным круглым отверстием, шпоночной канавкой, расположенной на периферии, рабочими сквозными соосными отверстиями, причем режущий диск выполнен с конусными отверстиями, а несущий - с цилиндрическими. Данная конструкция предполагает использование сменного режущего диска, и постоянного несущего, причем только режущий диск изготавливают из износостойчивой стали, а несущий диск изготавливают из коррозионностойкой стали. Техническим результатом является то, что полезная модель позволяет уменьшить энергозатраты на резание пищевого продукта и на прохождение его через отверстия, в связи с уменьшением угла резания. Вследствие уменьшения потребных сил на резание и прохождение продукта через отверстия, повышается производительность измельчителя, а также обеспечивается более высокое качество измельчения. Также конструкция

решетки позволяет повысить эффективность ее использования решетки за счет использования сменных режущих дисков [40, с. 2].

Решетка для мясорубки на рисунке 1.14 выполненная в виде диска с расположенными на нем отверстиями для пропуска измельчаемого сырья и шпоночным пазом на наружной окружности для фиксации в корпусе шнека. Отверстия измельчительных решеток выполнены в виде параллельных пазов, а решетки имеют несколько шпоночных пазов для одновременной установки двух решеток, смещенных относительно друг друга по окружности для образования проходных отверстий различной конфигурации [41].



а) 1, 3, 6 – шпоночные пазы решетки 5; 2 – шпонка корпуса шнека; 4 – параллельные пазы; 5 – измельчительная решетка; А-А – сечение решетки 5; б) 5,6 – установка двух решеток, смещенных относительно друг друга углом поворота; 7 – шпоночные пазы; 4 – пазы первой решетки; 5, 6 – пазы второй решетки; 6 – вторая решетка; фиг. 4: А-А – сечение решетки 5 и 6.

Рисунок 1.14 – Решетка для мясорубки

Решетка для мясорубки в виде диска включает расположенные на ней отверстия для пропуска измельчаемого сырья и шпоночный паз на наружной окружности, фиксирующий положение решетки в корпусе шнека. Отверстия решетки выполнены в виде параллельных прямоугольных или трапецеидальных пазов, причем решетка имеет несколько шпоночных пазов

для одновременной установки двух решеток, смещенных по углу поворота для образования проходных отверстий различной конфигурации. Решетка позволяет расширить технологические возможности, уменьшить внутреннее давление, повысить производительность и снизить энергоемкость мясорубки [41, с. 3].

Вывод по главе 1

1. Постоянный непрерывный рост производства мясных продуктов в РК вызывает необходимость разработки рациональных режимов всех процессов производства. Процесс измельчения занимают основное место в структуре общего производства колбасных изделий и мясных полуфабрикатов. Особое значение при измельчении пищевого сырья имеет место процесс механического расчленения продукта (резание). Которое во много зависит от режущего механизма волчка.
2. Для составления реологической модели и описания поведения в процессе измельчения мясного сырья необходимо использовать механические модели, отражающие элементарные реологические свойства модели Ньютона, Гука, Сен-Венана, Рэнкина и Пелега.
3. На малых мясоперерабатывающих предприятиях, в мини-колбасных цехах и на предприятиях общественного питания используются волчки и мясорубки различной конструкции, а также рассмотрены различные виды решеток как элемент режущего механизма волчка.
4. Исходя из анализа, можно сделать вывод, что одним из возможных путей решения проблем, стоящих перед этими предприятиями является разработка и создание технологических машин для измельчения с режущим механизмом, обеспечивающим более качественное измельчение сырья. А именно элемента режущего механизма - решетки. Так как, решетка является составной частью режущего механизма волчка. И влияние конструктивных параметров решетки как элемента режущего механизма, на процесс измельчения пищевого сырья в технологических машинах для измельчения пищевого сырья является актуальной научной задачей.

2 МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ВОЛЧКЕ

2.1 Схема проведения экспериментов

В данной главе описываются комплексные экспериментальные исследования процессов измельчения мясного сырья в соответствии с рисунком 2.1. Для проверки адекватности результатов экспериментов аналитические исследования основаны на изучении сил взаимодействия сырья с системой «шнек-нож-решетка» [19, с. 24].

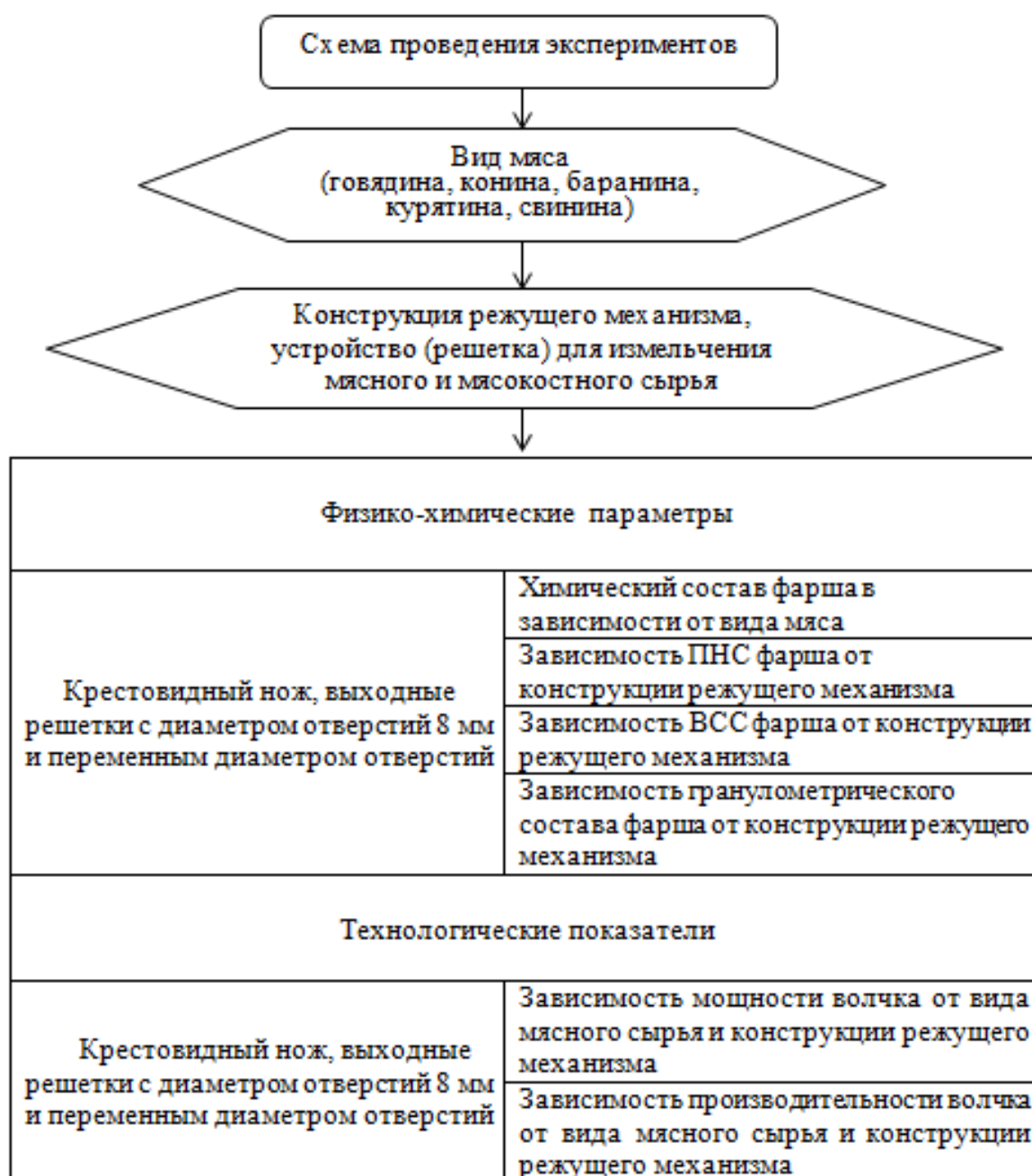
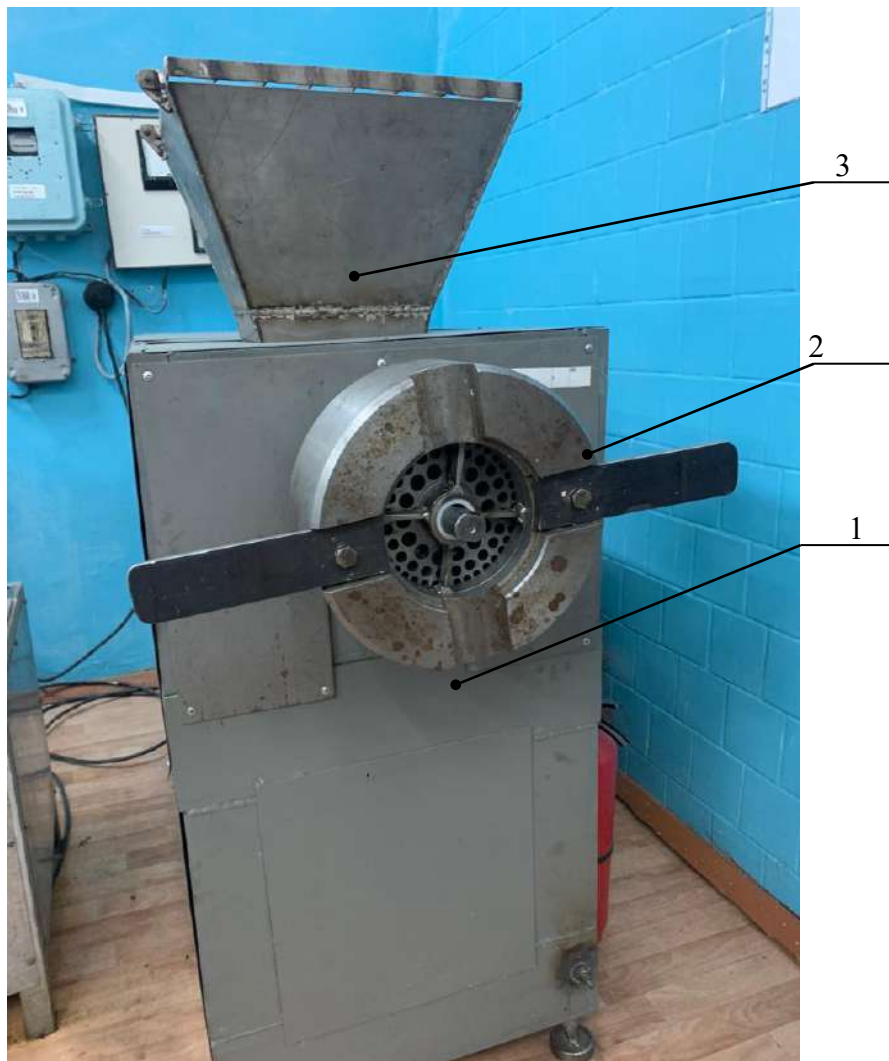


Рисунок 2.1 – Схема проведения экспериментов.

2.2 Экспериментальная установка и режущий механизм для измельчения мясного сырья

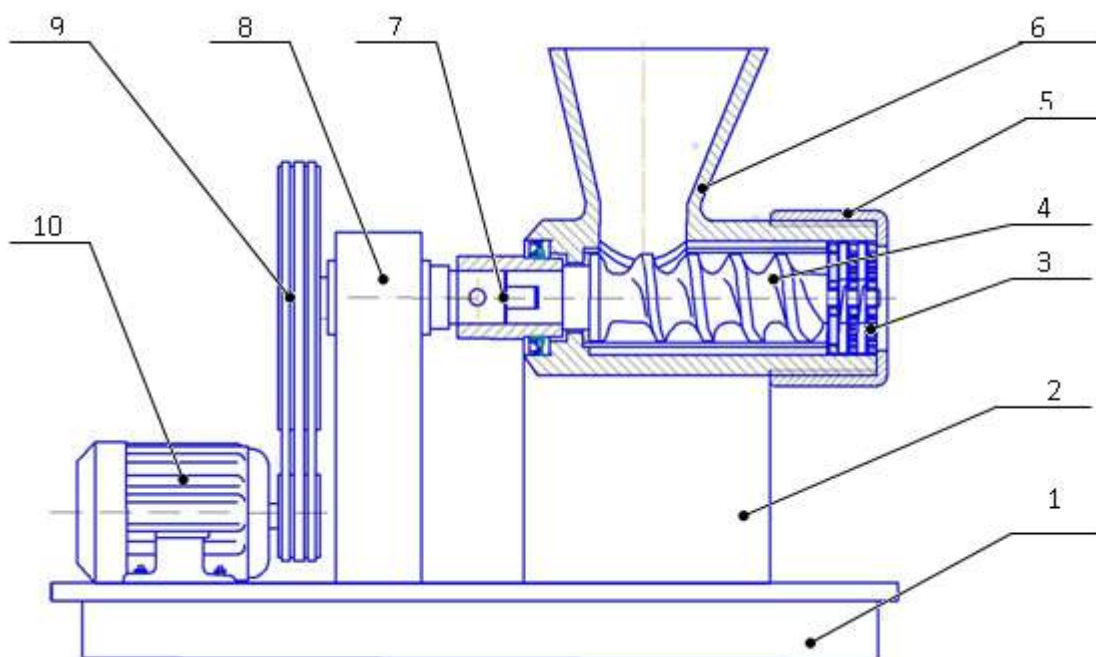
Для получения мясного фарша в соответствии с рисунками 2.2 и 2.3 была разработана экспериментальная установка (волчок).



1 – корпус; 2 – режущий механизм; 3 – бункер

Рисунок 2.2 – Экспериментальная установка (волчок).

Волчок, изготовленный в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающий и пищевой промышленности», предназначен для мелкого измельчения мясного и мясокостного сырья, твердых конфискатов, смеси твердых и мягких конфискатов, а также подтаявших блоков замороженного мяса [33, с. 4 - 28].



1 - рама; 2 - корпус; 3 - режущий механизм; 4 - шнек; 5 - затяжная гайка; 6 - бункер; 7 - муфта; 8 - редуктор; 9 - ременная передача; 10 – электродвигатель.

Рисунок 2.3 - Экспериментальная установка (волчок).

Он состоит из рамы, шнека, редуктора, электродвигателя, клиноременной передачи, кожуха, блокировки, бункера. Основной исполнительный орган волчка – измельчительное устройство, представляющее собой набор решёток и ножей, чередующихся в определенном порядке: решётка с большими треугольными отверстиями, нож, решётка с малыми треугольными отверстиями, решётка с круглыми отверстиями. Решётки устанавливают в насадке и фиксируют стопорами. Ножи устанавливают на переднюю часть шнека. Куски сырья размерами до 40 мм загружают в бункер, они подхватываются шнеком и перемещаются к измельчительному устройству. Измельчение сырья происходит неподвижными решётками и вращающимися ножами. Шнек приводится в движение электродвигателем через клиноременную передачу и редуктор [33, с. 4 - 28].

Для продвижения продукта в рабочей камере, подачи его к ножу и проталкивания через ножевые решетки служит вращающийся шнек с равномерным шагом витков. Особенностью работы шнека является предварительное измельчение мясного сырья и создание им давления, достаточного для продвижения продукта через режущий механизм без отжима содержащейся в нем жидкой фазы [33, с. 4 - 28].

Режущий инструмент волчка состоит из неподвижных решеток и вращающихся ножей. Неподвижные ножевые решетки выполнены в виде дисков с круглыми и трапециевидными отверстиями и являются парными режущими деталями с вращающимися ножами [33, с. 4 - 28].

Волчок комплектуется четырьмя решетками с диаметрами отверстий 5, 8, 16, 25 мм, тремя секторными и одной подрезной решетками (рисунок 2.4), а также тремя крестовидными и двумя двухлопастными ножами (рисунок 2.5).



Рисунок 2.4 – Решетки волчка.



Рисунок 2.5 – Ножи волчка.

Ножи и решетки устанавливаются на стальной палец параллельными лысками, ввинченный в передний торец шнека. Центральное отверстие ножа имеет ту же форму, что наружный контур пальца шнека, благодаря чему вращение последнего передается ножу. Решетки надеваются на палец шнека свободно и удерживаются от проворачивания шпонкой, жестко закрепленной в корпусе волчка. Плотное прилегание рабочих плоскостей ножей и решеток обеспечивается нажимной гайкой [42].

Крестовидные ножи традиционной конструкции – четырехлопастные с осевым расположением режущих кромок, передняя часть которых представляют собой прямоугольную плоскость, перпендикулярную к режущей кромке [43].

2.3 Пропускной способности решетки волчка на основании уравнения Хагена-Пуазейля

Известные методики инженерного расчета промышленных мясорубок – волчков основаны на так называемой режущей способности ножевого механизма [12, с. 201]. Решетки при этом рассматриваются лишь как парные детали к крестовидным или иным ножам и, причем, в расчетах роль решеток оценивается так называемым коэффициентом использования φ .

Данный коэффициент представляет собой отношение совокупной площади отверстий в решетке к площади самой решетки.

$$\varphi = \frac{z \cdot f_0}{f} = \frac{z \cdot d^2}{D^2}, \quad (2.1)$$

где f_0 , f – площадь одного отверстия в решетке и площадь самой решетки, м^2 ;
 z – количество отверстий в данной решетке, шт.;
 d , D – диаметр отверстий в решетке, и диаметр ее самой, м

Несмотря на то, что данный коэффициент не имеет размерности, физический смысл коэффициента использования состоит в том, что он представляет собой относительную площадь решетки предназначенной для прохода фарша.

Поскольку в состав режущего рабочего органа входят, причем в различной комплектации, несколько решеток, каждая из них имеет свой коэффициент использования.

Эти коэффициенты имеют разное значение. Самый больший коэффициент использования имеет приемная решетка, установленная первой по ходу продукта, коэффициенты остальных решеток уменьшаются к выходу. Последняя решетка имеет, как правило, наименьший коэффициент использования.

Это обстоятельство является одной из причин возникновения так называемых обратных потоков измельченного в фарш мяса вновь в приемный бункер волчка.

В целом причиной возникновения обратных потоков фарша в бункер

многими исследователями указывается не соответствие или не равенство производительностей волчка по режущей способности и транспортирующей способности подающего шнека.

Обратный поток, как считается, возникает в случаях, когда транспортирующая способность больше чем режущая. Кроме того, на обратные потоки влияет, как считают многие исследователи, зазор между шнеком и цилиндром, который должен быть не более 2-х миллиметров.

Однако на роль решеток в пропускной способности и работе режущего механизма, а также в возникновении обратных потоков должного внимания не уделялось.

В связи с этим в данной работе были рассмотрены решетки с различными по диаметру отверстиями. При этом коэффициент использования такой решетки больше чем у выходной решетки с наиболее маленькими диаметрами отверстий.

Теоретическую производительность или пропускную способность решетки волчка, исходя из условий работы рабочего органа, можно определить по уравнению Хагена-Пуазейля.

Из гидравлики известно, что данное уравнение описывает взаимосвязь между расходом жидкости и ее давлением. Под влиянием данного давления жидкость истекает из отверстия или нескольких отверстий в зависимости от их конструктивных параметров, а именно радиуса либо диаметра и длины отверстий, а также вязкостных свойств самой жидкости.

Несмотря на то, что в рабочем органе волчка под влиянием давления создаваемого шнеком перемещается не жидкость, а мясное сырье, для теоретической оценки пропускной способности решеток волчка представляется возможным с некоторыми допущениями воспользоваться уравнением Хагена-Пуазейля.

В расчетной и исследовательской экспериментальной практике в зависимости от того какие параметры нам известны определяется либо расход при известном давлении:

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot l} \cdot \frac{P}{\eta_{\text{эф}}} = \frac{\pi R^4}{8 \cdot l} \cdot \frac{P}{\eta_{\text{эф}}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (2.2)$$

где d , либо D – диаметр отверстия, R – его радиус, м;

P – давление, Па;

$\eta_{\text{эф}}$ – эффективная вязкость, Па·с;

l – длина отверстия, м.

Либо при известном расходе уравнение Хагена-Пуазейля можно использовать для нахождения давления или разности давлений, при котором продукт вытесняется из отверстий.

$$P = \Delta P = \frac{8\eta_{\text{эф}} \cdot l \cdot Q}{\pi R^4} = \frac{128\eta_{\text{эф}} \cdot l \cdot Q}{\pi D^4}, \text{ Па} \quad (2.3)$$

Здесь R - радиус отверстия, м.

Преобразуя данное уравнение можно выделить из него так называемый, геометрический параметр, характеризующий отверстие решетки волчка.

Для решетки с одинаковыми по диаметрам отверстиями, геометрический параметр можно определить

$$k_r = \frac{\pi \cdot R^4}{8 \cdot l} = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot l}, \text{ м}^3 \quad (2.4)$$

где d, R – диаметр или радиус отверстий в решетке, м;

l – длина отверстий в решетке, м.

В случае использования решетки с различными диаметрами отверстий, геометрический коэффициент можно определить

$$k_r = \frac{\pi \cdot (d_1^4 + d_2^4 + d_3^4)}{128 \cdot l}, \text{ м}^3 \quad (2.5)$$

Геометрический параметр решетки более точнее и полнее, чем коэффициент использования, характеризует конструктивные особенности решетки, поскольку помимо диаметров отверстий решетки в него входит и длина или точнее толщина решетки.

Кроме того, геометрический параметр имеет размерность объема, что объясняет его физический смысл как способность решетки пропускать через отверстия некий объем продукта.

Для расчета же теоретической пропускной способности решетки можно использовать следующую зависимость, выведенную на основании уравнения Хагена-Пуазейля:

$$M = k_r z \rho \frac{P}{\eta_{эф}} \kappa z / c \quad (2.6)$$

где k_r – геометрический параметр круглого отверстия, м^3 ;

z – количество отверстий в решетке;

ρ – плотность мясного сырья в отверстиях решетки;

$\eta_{эф}$ – эффективная вязкость мясного фарша;

P – давление, создаваемое шнеком волчка, Па.

2.4 Определение химического состава мясного сырья

Определение химического состава дает возможность получить представление о качестве мяса и мясопродуктов, их пищевой ценности, зависящих от количественного соотношения влаги, белка, жира и минеральных веществ [44].

Содержание основных пищевых веществ в мясопродуктах определяется их рецептурой и характером технологической обработки. Достоверность результатов определения химического состава зависит от соблюдения общих положений анализа [45, 46].

Соответствие результатов анализа действительному содержанию в продукте определяемых веществ зависит от правильности отбора средней пробы. Поэтому при использовании малых навесок необходимо тонко измельчить продукт и тщательно перемешать измельченную массу [47, 48].

Определение общего химического состава проводили методом одной навески исследуемой пробы. Метод заключается в последовательном определении в одной навеске продукта содержания влаги, жира, золы и белка, с использованием устройства для определения влажности и жирности мясных и молочных продуктов ускоренным методом.

Определение содержания влаги. Навеску пробы дважды измельченного продукта массой (2-3) г, взятую с точностью до 0,001 г, высушили в металлической бюксе со стеклянной палочкой [46, с. 50], в сушильном шкафу при температуре 150 °С в течение 1 ч.

Согласно ГОСТ 9793-2016 и ГОСТ Р 33319-2015 [49, 50] содержание влаги рассчитали по формуле:

$$x_1 = (m_1 - m_2) \cdot 100 / (m_1 - m), \quad (2.7)$$

где x_1 - содержание влаги, %;

m_1 – масса навески с бюксой до высушивания, г;

m_2 – масса навески с бюксой после высушивания, г;

m – масса бюксы, г.

Определение содержания жира. Высушенную навеску после определения влаги количественно перенесли в бюксу и заливали (10-15) мл растворителя (этиловый эфир). Экстрагирование жира проводили в течение (3-4) мин 4-5-кратной повторностью.

В ходе процесса навеску периодически перемешивали и растворитель с извлеченным жиром каждый раз сливали. После последнего слива остаток растворителя испаряли на воздухе.

Бюксу с обезжиренной навеской подсушивали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 10 мин. Согласно ГОСТ 23042-2015 [51] содержание жира определяли по формуле:

$$x_2 = (m_1 - m_2) \cdot 100 / m_0, \quad (2.8)$$

где x_2 - содержание жира, %;

m_1 – масса бюксы с навеской после высушивания до обезжиривания, г;

m_2 – масса бюксы с навеской после обезжиривания, г;

m_0 – масса навески, г.

Определение содержания золы. Содержимое бюксы после обезжиривания перенесли в предварительно прокаленный и взвешенный тигель. Остатки навески со стенок бюксы смывали небольшим количеством растворителя, который затем удаляли нагреванием на водяной бане.

В тигель к сухой обезжиренной навеске добавили 1 мл ацетата магния и обугливали на электрической плитке. Затем помещали на 30 мин в муфельную печь (температура 500 °С - 600 °С). Таким же образом минерализовали 1 мл ацетата магния.

Содержание золы вычисляли по формуле:

$$x_3 = (m_1 - m_2) \cdot 100 / m_0, \quad (2.9)$$

где x_3 - содержание золы, %

m_1 - масса золы, г;

m_2 - масса оксида магния, полученная после минерализации раствора ацетата магния, г;

m_0 - масса навески, г.

Определение содержания белка. Согласно ГОСТ 25011-2017 [52] содержание белка определяли расчетным путем по формуле:

$$x = 100 - (x_1 + x_2 + x_3), \quad (2.10)$$

где x - содержание белка, %

x_1 – содержание влаги, %;

x_2 – содержание жира, %;

x_3 - содержание золы, %.

2.5 Определения водосвязывающей способности мясного фарша

Основным технологическим показателем качества мяса, используемого в колбасном производстве, является водосвязывающая способность (ВСС).

В практической работе наиболее известным методом определения водосвязывающей способности мяса является метод прессования или, иначе метод Грау-Хамма. Данный метод нашел широкое применение в модификации ВНИИМП имени В.М. Горбатова.

Метод основан на определении количества воды, выделяемым мясом при прессовании. Вода впитывается фильтровальной бумагой, образуя влажное пятно, размер которого зависит от способности мяса связывать воду.

Методика определения ВСС методом Грау-Хамма в модификации ВНИИМП имени В.М. Горбатова имеются в работах [53]. Точность определения $\pm 5,0-6,0\%$.

Для определения ВСС мясного фарша нами использован метод, включающий подготовку опытной и контрольной проб, определение их масс и установку опытной пробы на влагопоглощающий материал, с последующим ее прессованием и отделением влаги.

Определение общего содержания влаги в контрольном образце методом высушивания и вычисление ВСС, согласно изобретению образованные пятна отпрессованного продукта и адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале. Сканируют графосканирующим устройством с увеличением в масштабе изображения пятен, затем определяют площади пятен при помощи компьютерной программы «Компас 3D», а ВСС $S_{ен}$ вычисляли по формуле:

$$S_{ен} = \frac{(W - 8,4 \cdot S_1) \cdot 100}{M \cdot t}, \% \quad (2.11)$$

где: W - общая масса влаги в навеске, мг;

S_1 - площадь влажного пятна, измеренная миллиметровой сеткой, см²;

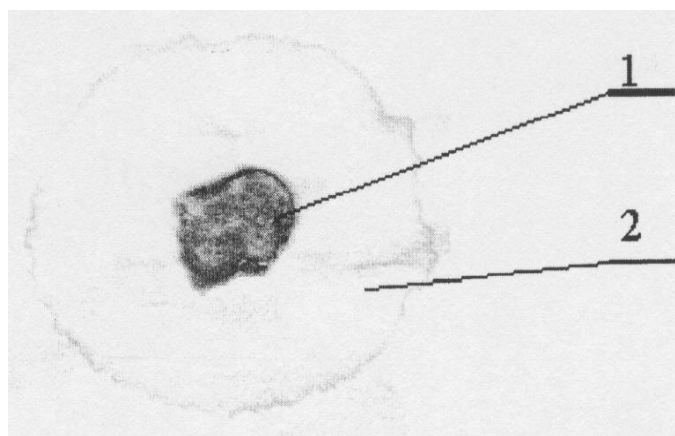
M - масса навески, мг;

t - коэффициент масштабного увеличения отсканированного изображения пятна по отношению к изображению пятна адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале;

8,4 - количество влаги в 1 см² влажного пятна, мг.

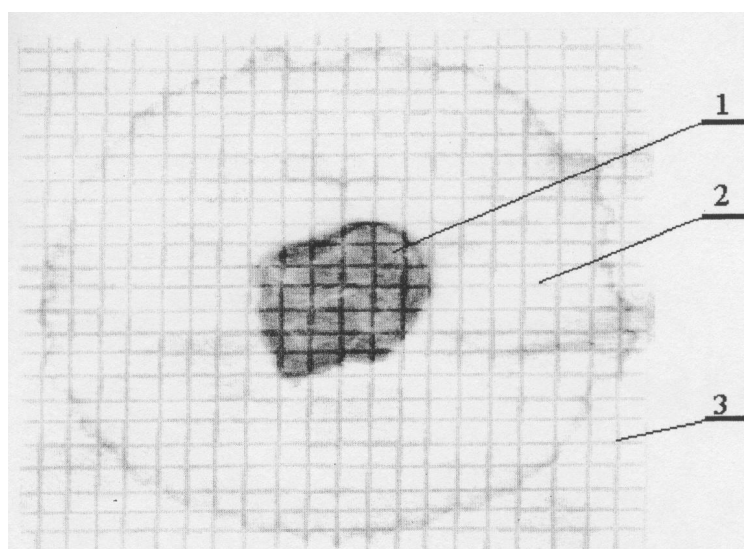
Дополнительно введенная операция определения площади пятна с использованием компьютерной программы «Компас 3D» на увеличенном в масштабе изображении, а также вычисление ВСС $Vс$ учетом коэффициента масштабного увеличения отсканированного изображения пятна по отношению к изображению пятна адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале по предлагаемой формуле. Позволит увеличить точность определения площади адсорбированной влаги и повысить точность вычисления ВСС.

Для определения ВСС на атлетических весах взвешивают 300 мг фарша далее взвешенный фарш переносят на фильтровальную бумагу расположенная на стеклянной пластине размером 100×100 мм и сверху накрывают аналогичной пластиной. Затем на стеклянную пластину помещают груз массой в 1 кг, выдерживают груз 10 минут, После снятия груза снимают фарш с фильтровальной бумаги и получают пятно отпрессованного мяса (рисунок 2.6). Для качественной фиксации размеров пятна от фарша и пятна влаги окружающий фарш, обводят оба пятна авторучкой или карандашом.



1 - пятно отпрессованного мяса, 2 - пятно адсорбированной влаги
 Рисунок 2.6 - Пятна отпрессованного мяса и адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале.

Затем пятна отпрессованного мяса 1 и адсорбированной влаги 2 на влагопоглощающем материале сканируют графосканирующим устройством с увеличением изображения пятен в масштабе (рисунок 2.7).



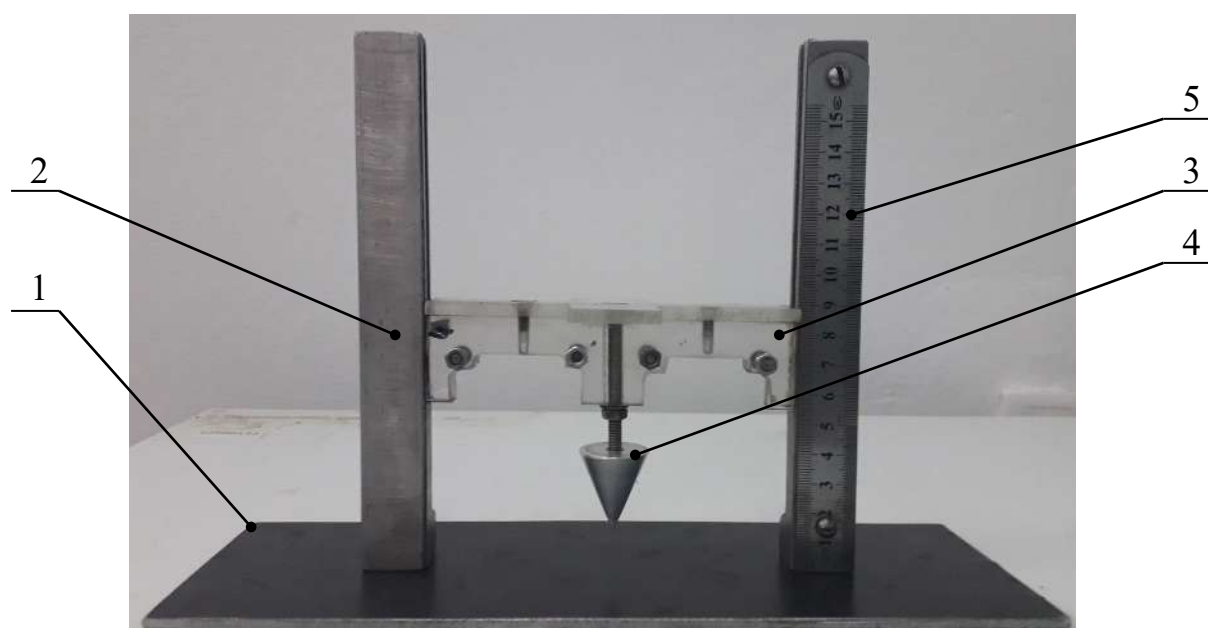
1 - пятно отпрессованного мяса, 2 - пятно адсорбированной влаги,
 3 - масштабированная сетка для определения площади пятен
 Рисунок 2.7- Сканированное изображение пятен в масштабе.

Площадь пятна адсорбированной влаги 2 (рис. 2.8) определяют с использованием компьютерной программы «Компас 3D» 3 на увеличенном в масштабе изображении, а водосвязывающую способность B вычисляют с учетом коэффициента масштаба увеличения отсканированного изображения пятна по отношению к изображению пятна адсорбированной влаги на влагопоглощающем материале по формуле 2.11.

Данный способ определения ВСС упрощает эксперименты и обеспечит высокую точность результатов.

2.6 Определение предельного напряжения сдвига мясного фарша

Для определения предельного напряжения сдвига (ПНС) вязкопластичных продуктов разработано экспериментальное устройство. Оно состоит из основания, емкости для образца продукта, конического индентора, закрепленного на держателе, установленных на основании направляющих, имеющих пазы, обеспечивающие вертикальное перемещение по ним держателя, снабженного пластиной для нагружения с гирями различной массы. Для измерения глубины погружения конического индентора в исследуемый образец продукта предусмотрена измерительная шкала, укрепленная на одной из направляющих (рисунок 2.8) [54].



1 – основание; 2 – направляющие; 3 – держатель; 4 - конический индентор;
5 - шкала

Рисунок 2.8 - Экспериментальное устройство для определения ПНС вязкопластичных продуктов.

Методика определения ПНС. За основную реологическую характеристику было выбрано ПНС практически неразрушенной структуры. ПНС замеряли на экспериментальном устройстве с использованием конического индентора (рисунок 2.9 [22 с. 45; 55, 56].

Чтобы определить ПНС исследуемый продукт (фарш) плотно поместили шпателем в контейнер цилиндрической формы. В фарше не должны образовываться пустоты, поверхность должна быть на уровне краев емкости. После конический индентер установили в гнездо держателя. Далее по направляющим устанавливали держатель. При этом указатель должен находиться на нулевой отметке измерительной шкалы, а конический индентор должен касаться поверхности исследуемого образца. На пластину нагружения,

устанавливают гирю необходимой массы, отпускают ее в результате чего под действием силы тяжести конический индентор перемещаясь вниз, погружается в исследуемый образец продукта.

Через определенный промежуток времени (180 с) фиксируют с помощью указателя на измерительной шкале глубину проникновения конического индентора в фарш. Глубина погружения конического индентора измеряется в миллиметрах.

ПНС определяли по глубине погружения конуса и вычисляли по формуле акад. П.А. Ребиндера [22 с. 46]:

$$\tau = K \cdot \frac{F_n}{h_k^2}, \quad (2.12)$$

где: F_n – значение нагружения, Н;

h_k – общая глубина погружения конуса, м;

K – константа конуса, зависящая от угла конуса α при вершине.



Рисунок 2.9 - Конический индентор для исследования ПНС фарша с углом 45° .

Учитывая, что прибор выдает значение нагружения в граммах, а глубину погружения конуса в сантиметрах, то соответственно для удобства расчетов надо перевести граммы в ньютоны и сантиметры в метры.

Константу, применительно к конусу прибора, имеющего угол при вершине равный α , вычисляют по формуле [56, с 105-111]:

$$K = \frac{\cos^2(\alpha/2)}{\pi \cdot \operatorname{tg}(\alpha/2)}, \quad (2.13)$$

где: α – угол при вершине конуса.

2.7 Определение гранулометрического состава

Для определения количественного остатка мясной ткани и дальнейшего проведения анализа гранулометрического состава сортируют частицы мясного фарша по размерам. При этом частицы делят в зависимости от степени

измельчения в пределах от <5; 5; 8; 12; >12 мм. Для этого пробы продукта взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,01 г.

Содержание частиц в % определяют по формул

$$x_2 = m_1 \cdot 100 / m_0, \quad (2.14)$$

m_0 – общая масса навески, г;

m_1 – масса частиц мясных тканей по размерам, г.

2.8 Определение энергетических характеристик установки

Для экономичного проведения процесса измельчения фарша следует учитывать общий расход энергии за время, необходимое для обеспечения заданного результата измельчения [57]. При измельчении мяса общий расход энергии зависит от многих факторов (типа ножей, СМХ фарша и т.д.). Для определения энергетических характеристик установок в лаборатории кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение» НАО «Университет имени Шакарима города Семей» был изготовлен измерительный стенд.

Измерительный стенд (рисунок 2.10) состоит из вольтметра 1, амперметра 2 и фазометра 3 (прибор для измерения «cosφ»). Все приборы входят в электрическую цепь управления электродвигателями привода волчка. Для определения энергетических характеристик экспериментальной установки разработана методика, сущность которой заключается в нахождении мощности, определяемой по значениям силы тока, напряжения и cosφ, непосредственно измеренным с помощью данных приборов.

Для измерения силы тока, напряжения и cosφ загружали мяса в бункер волчка. Затем включали электродвигатель. Записывали соответствующие значения электрических величин на приборах с помощью WEB-камеры, подключенной к компьютеру. После чего результаты измерений обрабатывались на компьютере.



1 – счетчик электроэнергии; 2 – электрический щит; 3 – амперметр;
4 – вольтметр; 5 - фазометр

Рисунок 2.10 - Измерительный стенд для определения энергетических характеристик экспериментальной установки.

Выводы по главе 2

1. Разработана схема проведения эксперимента.
2. Определён режущий механизм для измельчения мясного сырья
3. Разработано устройство (решетка) для измельчения мясного и мясокостного сырья.
4. Разработано экспериментальное устройство для определения ПНС вязкопластичных продуктов.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ

3.1 Системный анализ процесса и определение стратегии исследований

При проведении системного анализа процессов была составлена блок-схема математического моделирования и определены уровни иерархической структуры [58].

Составление блок-схемы математического моделирования [59, 60].

Математическое моделирование процесса измельчения мясного сырья выполняли в следующей последовательности:

- составлена блок-схема математического моделирования процесса измельчения в соответствии с рисунком 3.1.;
- разработана структурная схема, которая удовлетворяет требованиям функционирования установки;
- предложена реологическая модель;
- математическое описание режимов течения фарша и составление уравнений материального баланса и расхода скорости потоков в элементах установки;
- разработано математическая модель процесса измельчения мясного сырья;
- экспериментальные исследования на установке и определение его рациональных конструктивных параметров и рационального режима измельчения мясного сырья;
- проверка адекватности разработанной математической модели рациональным параметрам установки и рациональному режиму измельчения [61].

В соответствии со стратегией системного анализа рассмотрен первый этап анализа процесса измельчения, дан предварительный анализ априорной информации о физико-химических особенностях процессов. В связи со сложностью взаимосвязанных физических явлений, протекающих в процессе измельчения, а также многообразием факторов влияющих на них факторов, возникает необходимость применения системного анализа как стратегии научного исследования [62, 63].

Структурный анализ волчков и пути совершенствования режущего механизма. При производстве мясных полуфабрикатов, при приготовлении фарша в колбасном и консервном производстве применяется измельчение мясного сырья путем резания - энергоемких технологий. Структурно-механические и технологические характеристики измельченного сырья, а, следовательно, качество и выход готовой продукции зависит от конструкции и динамических параметров режущих и транспортирующих механизмов [64, 65].

Следует отметить, что двумерная структурная схема, является схемой волчка с раздельным приводом, а одна одномерная структурная схема является структурной схемой волчка с совмещенным приводом шнекового питателя и ножевого вала [66].

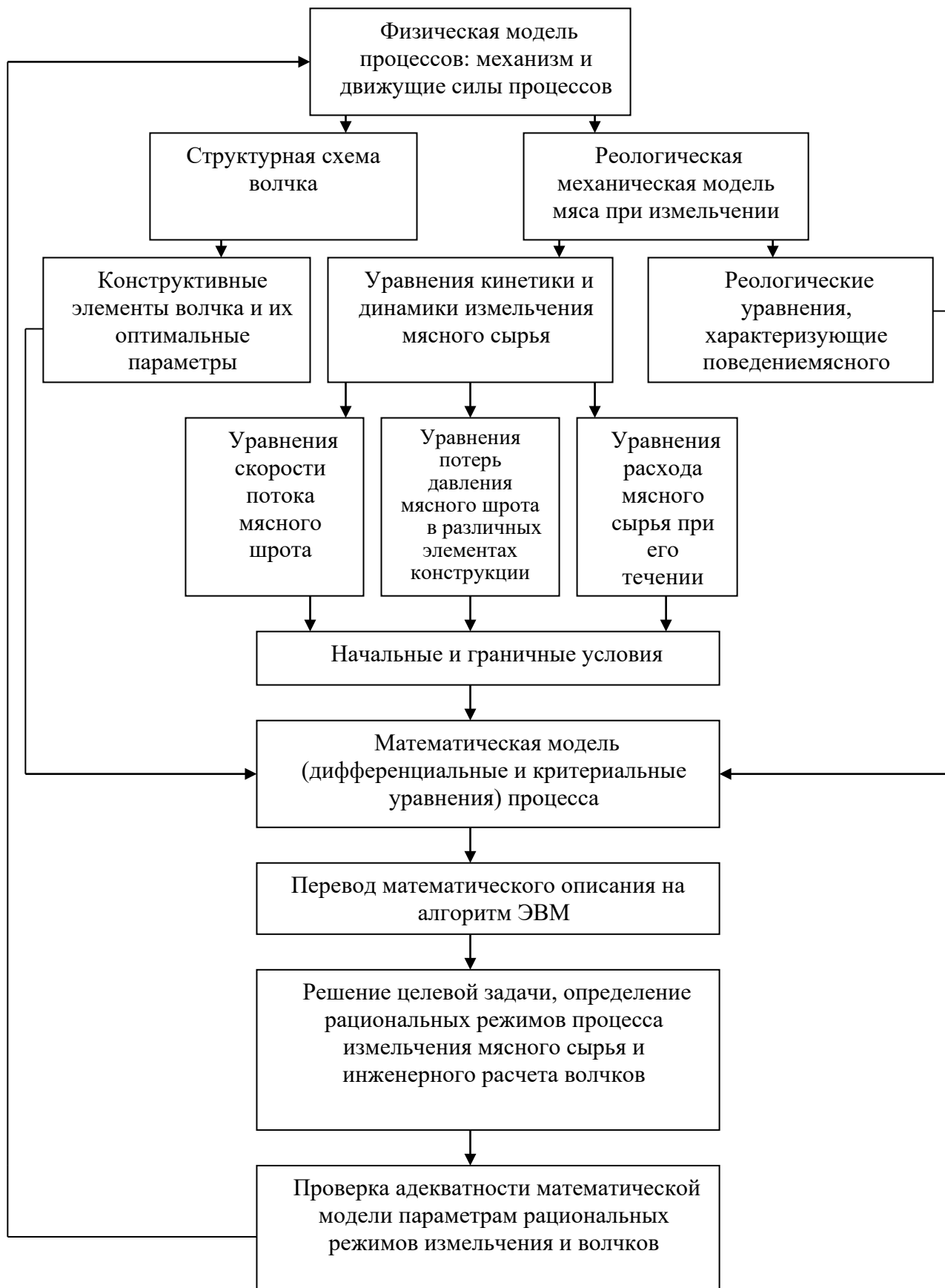
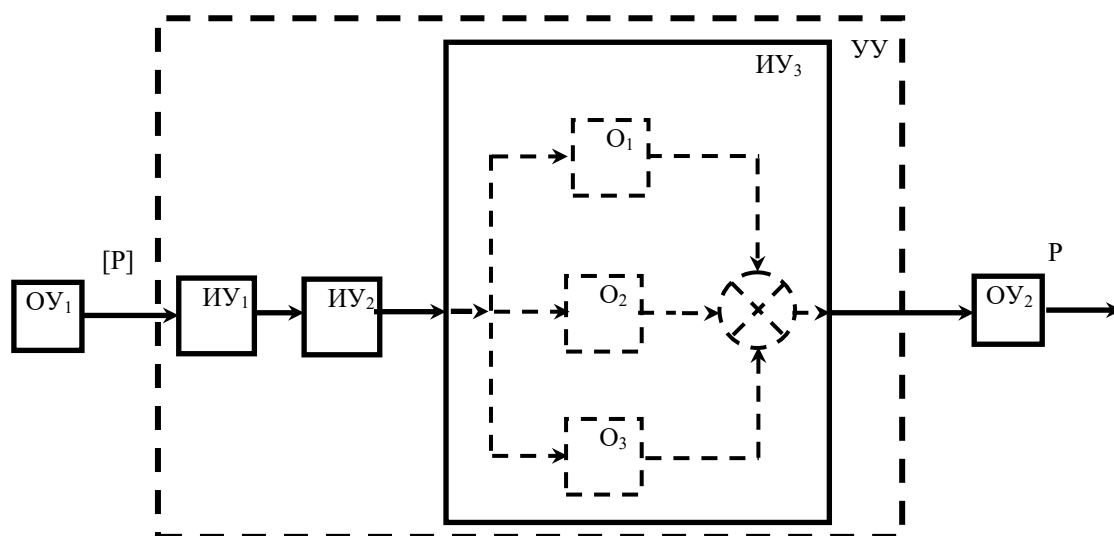


Рисунок 3.1 – Блок-схема математического моделирования процесса измельчения.

Однако, как известно многомерные системы технически трудно реализуемы и в них с большой степенью вероятности могут возникать перекрестные связи. Поэтому предложено разделить двумерную систему на две одномерные и построить структурные схемы, которые сравнительно легко технически реализовываются и не имеют перекрестных связей [67].

Структурный анализ волчков позволяет систематизировать существенные недостатки, определить регулируемые параметры, влияющие на процесс и качество измельчения [68].

Структурная схема волчка показана на рисунке 3.2, где каждый конструктивный элемент выделен отдельным блоком.



ИУ₁ – шнек; ИУ₂ – нож; ИУ₃ – модифицированная ножевая решетка; УУ - составляющие в комплексе управляющее устройство; ОУ₁ – мясное сырье; ОУ₂ – фарш.

Рисунок 3.2 – Структурная схема волчка.

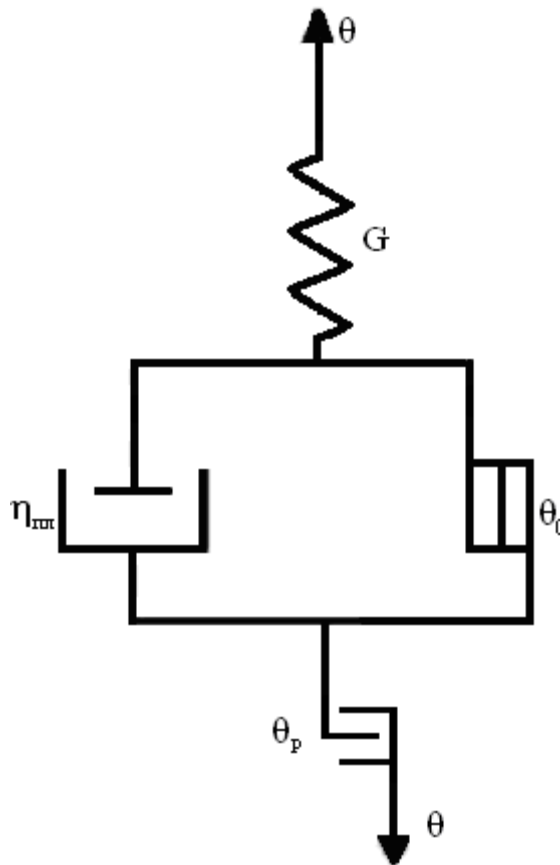
Данная структурная схема предполагает исследование работы волчка, включающий, следующие конструктивные элементы: ИУ (исполнительные устройства) шнек – ИУ₁, нож – ИУ₂ и модифицированная ножевая решетка – ИУ₃, составляющие в комплексе управляющее устройство - УУ, которое в свою очередь воздействует на ОУ (объекты управления): ОУ₁ – мясное сырье, ОУ₂ - фарш и позволяет определить оптимальные конструкции исполнительных устройств.

3.2 Разработка и обоснование реологической механической модели мясного сырья при измельчении

При составлении механических моделей исходят из предположения, что деформация сложного тела является результатом наложения деформаций элементарных механических моделей Ньютона, Гука, Сен-Венана и др. [69, 70]

На основе изучения реологических механических моделей Бингама, Шведова [20, с. 186], Шоффильда-Скотт-Блера [71]. и проведенного обоснования для описания поведения мясного сырья при измельчении была разработана реологическая механическая модель в соответствии с рисунком 3.3, которая состоит из модели Бингама с элементами, отражающими изменение прочности мяса при резании [46, с. 43].

При измельчении давление через нож передается мясу, которое измельчается при напряжении, превышающем предельное напряжение резания (θ_p). Время приложения силы резания настолько мало, что происходит мгновенно-необратимая деформация. Мясо вначале измельчается, далее измельченные частицы испытывают вязко-упругую деформацию ($G, \eta_{пл}$), затем при напряжении, превышающем ПНС (θ_0), фарш пластически деформируется и начинает течь. Измельченное мясо (фарш) ведет себя подобно телу Бингама, сочетающего упругость, вязкость и пластичность [46, с. 43; 72, 73, 74, 75].



G - модуль сдвига; $\eta_{пл}$ - пластическая вязкость; θ_0 - предельное напряжение сдвига; θ_p - предельное напряжение резания (предел мгновенно-необратимой деформации).

Рисунок 3.3 - Реологическая механическая модель мяса при измельчении.

Реологическое уравнение модели фарша при измельчении можно получить следующим образом.

Общая деформация модели фарша равна сумме деформаций [17, с 41]:

$$d\gamma = d\gamma_{\Gamma} + d\gamma_{H} + d\gamma_{C} + d\gamma_{P}, \quad (3.1)$$

где $d\gamma_{\Gamma}$, $d\gamma_{H}$, $d\gamma_{C}$, $d\gamma_{P}$ - угловые деформации соответственно тел Гука, Ньютона, Сен-Венана и элемента, отражающего потерю прочности фарша при резании [17, с 41].

Взяв производную от левой и правой частей уравнения (3.1), получим [17 с.41]:

$$\frac{d\gamma}{dt} = \frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt} + \frac{d\gamma_{H} + d\gamma_{C}}{dt} + \frac{d\gamma_{P}}{dt}, \quad (3.2)$$

Величину $\frac{d\gamma_{H} + d\gamma_{C}}{dt}$ определим из реологического уравнения тела Ньютона с учетом условия Сен-Венана [17, с 41]:

$$\frac{d\gamma_{H} + d\gamma_{C}}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{\theta - \theta_0}{\eta_{nl}}, \quad (3.3)$$

Величину $\frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt}$ определим из реологического уравнения тела Гука [17, с 41]:

$$\frac{d\gamma_{\Gamma}}{dt} = \frac{1}{G} \cdot \frac{d\theta}{dt}, \quad (3.4)$$

Величину $\frac{d\gamma_{P}}{dt}$ определим из реологического уравнения тела Ньютона [17, с 42]:

$$\frac{d\gamma_{P}}{dt} = \dot{\gamma} = \frac{\theta_P}{\eta_{nl}}, \quad (3.5)$$

Подставив уравнения (3.3, 3.4) в (3.5), получим реологическое уравнение модели фарша [17, с 42]:

$$\dot{\gamma} = \frac{\dot{\theta}}{G} + \frac{\theta - \theta_0 - \theta_P}{\eta_{nl}}, \quad (3.5)$$

где θ_P - предельное напряжение резания.

Приведенные реологическая механическая модель и физико-механические характеристики необходимы не только для объективной оценки консистенции продукта, но и для изучения поведения фарша на стадии его измельчения [17, с 41; 76].

3.3 Моделирование реологического поведения объектов в процессе измельчения

Для математического моделирования рассмотрим технологический процесс измельчения мясного сырья, а именно течение фарша в волчке и взаимодействие с ее различными рабочими органами. Течение фарша как реологически сложной дисперсной системы, происходит при условии создания в продукте давлений, достаточных для преодоления внутренних и внешних сопротивлений. В основе гидродинамики данных процессов лежат уравнения напряжений и деформаций, связывающие между собой приложенные извне давления с реологическими характеристиками фарша, кинематическими и геометрическими факторами [77, 78, 79, 80].

Для математического моделирования использовали компьютерный математический пакет MathCAD компании MathSoft, с помощью которого можно решать самые разные математические задачи и оформлять результаты расчетов на высоком профессиональном уровне MathCAD является математическим редактором, позволяющим проводить разнообразные научные и инженерные расчеты. Анализ текста математических выражений проводится с помощью символьного процессора, встроенного в MathCAD [80, с. 185- 201].

Традиционная теория реодинамики, кроме гипотез сплошности и непрерывности, использует следующие допущения и ограничения: скорость жидкости на стенке принимается равной нулю, продукт считается несжимаемым; реологические характеристики неизменны по длине трубы и не зависят от времени, т.е. на течение не оказывают влияние процессы тиксотропии, реопексии и релаксации. Однако, отмечены случаи проскальзывания продукта относительно стенки, т.е. скорость на стенке не равна нулю [81]. Фарш имеет структурный режим движения при котором скорость в тонком слое около стенки (градиентный слой) резко возрастает, в следующем промежуточном слое увеличивается незначительно, а центральная часть потока (ядро) движется, испытывая незначительные деформации за счет его ползучести и пластичности. Он имеет небольшую величину числа Рейнольдса, что обусловлено высокой вязкостью и наличием ПНС [80, с. 185-201].

В предлагаемом режущем механизме волчка возможны два случая течения мясного шрота:

- 1) течение между параллельными решетками;
- 2) истечение через отверстие в решетке [68, с. 187].

3.3.1 Течение между параллельными решетками

Рассмотрим течение мясного шрота в пространстве между параллельными решетками волчка (рисунок 3.4).

На рисунке 3.3 показана схема движения потока мясного шрота между плоскими параллельными пластинами с шириной слоя h , длиной L и высотой

B [17, с. 212; 82].

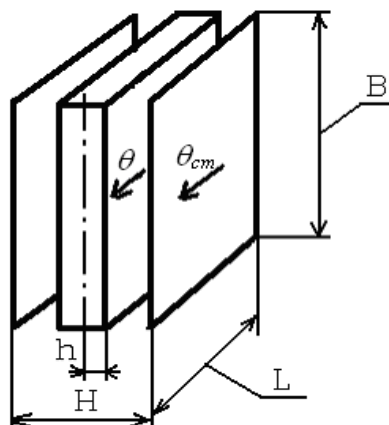


Рисунок 3.4 - Схема движения потока мясного шрота между параллельными плоскими пластинами.

Уравнение, описывающее баланс сил, действующих на элементарный слой:

$$2 \cdot h \cdot \Delta p_1 \cdot B - 2 \cdot B \cdot L \cdot \theta = 0, \quad (3.7)$$

Откуда:

$$\theta = h \cdot \Delta p / L, \quad (3.8)$$

Изменение скорости сдвига:

$$du / dh = f(\theta), \quad (3.9)$$

Касательное напряжение у стенки в соответствии с уравнением:

$$\theta_{cm} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta p \cdot H}{L}, \quad (3.10)$$

Откуда:

$$\theta = \theta_{cm} \cdot \frac{2 \cdot h}{H}, \quad (3.11)$$

Подставим уравнение (3.11) в зависимость (3.9):

$$-\frac{du}{dh} = f\left(\theta_{cm} \cdot \frac{2 \cdot h}{H}\right), \quad (3.12)$$

После интегрирования получим уравнение, описывающее профиль скоростей между плоскими параллельными стенками:

$$u_1 = \int_h^{H/2} f(\theta_{cm} \cdot \frac{2 \cdot h}{H}) dh, \quad (3.13)$$

Для определения расхода мясного шрота рассмотрим его движение через площадь Bdh , находящуюся между h и $h+dh$ от осевой линии:

$$dV_c = u \cdot Bdh, \quad (3.14)$$

где dh – ширина элементарного слоя мясного шрота.

Проинтегрируем уравнение (3.14) в пределах от 0 до $H/2$:

$$V_c = 2 \cdot B \cdot \int_0^{H/2} u dh, \quad (3.15)$$

Проведем интегрирование по частям:

$$V_c = 2 \cdot B \cdot (u \cdot h - \int h du)_0^{H/2}, \quad (3.16)$$

У стенки $u = 0$ (при $h = H/2$), потому первый член правой части уравнения (3.16) исчезает. Из уравнения (3.12) выразим:

$$h = \frac{H}{2} \cdot \frac{\theta}{\theta_{cm}}, \quad (3.17)$$

Продифференцируем:

$$dh = \frac{H}{2 \cdot \theta_{cm}} d\theta, \quad (3.18)$$

и подставим в уравнение (3.16):

$$V_c = 2 \cdot B \cdot \int \frac{H}{2} \cdot \frac{\theta}{\theta_{cm}} \cdot f(\theta) \cdot \frac{H}{2 \cdot \theta_{cm}} d\theta, \quad (3.19)$$

После упрощения находим:

$$V_c = \frac{B \cdot H^2}{2 \cdot \theta_{cm}^2} \cdot \int_0^{\theta_{cm}} \theta \cdot f(\theta) d\theta, \quad (3.20)$$

Подставив в это уравнение соответствующую функцию $f(\theta)$, получим уравнения расхода для мясного шрота, движущегося между плоскими

стенками:

$$f(\theta) = (\theta - \theta_0) / \eta_{nl}, \text{ при } \theta_0 \leq \theta \leq \theta_{cm} \quad (3.21)$$

При краевых условиях:

$$f(\theta) = 0 \text{ для } 0 \leq \theta \leq \theta_0, \quad (3.22)$$

После подстановки в уравнение (3.20) имеем:

$$V_c = \frac{B \cdot H^2}{2 \cdot \theta_{cm}^2} \cdot \left[\int_0^{\theta_0} \theta(0) d\theta + \int_{\theta_0}^{\theta_{cm}} \theta \left(\frac{\theta - \theta_0}{\eta_{nl}} \right) d\theta \right], \quad (3.23)$$

Проинтегрировав уравнение (3.23), получим:

$$V_c = \frac{B \cdot H^2 \cdot \theta_{cm}}{6 \cdot \eta_{nl}} \cdot \left[1 - \frac{3}{2} \cdot \frac{\theta_0}{\theta_{cm}} + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\theta_0}{\theta_{cm}} \right)^3 \right], \quad (3.24)$$

Уравнение, описывающее профиль скоростей мясного шрота, движущегося между плоскими параллельными стенками, получим из уравнения (3.13):

$$u_1 = \frac{1}{\eta_{nl}} \cdot \int_h^{H/2} \left(\frac{\Delta p_1 \cdot H}{2 \cdot L} \cdot \frac{2 \cdot h}{H} - \theta_0 \right) dh, \quad (3.25)$$

и после интегрирования:

$$u_1 = \frac{\Delta p_1}{2 \cdot \eta_{nl} \cdot L} \cdot \left[\left(\frac{H}{2} \right)^2 - h^2 \right] - \frac{\theta_0}{\eta_{nl}} \cdot \left(\frac{H}{2} - h \right), \quad (3.26)$$

Выразим потери давления Δp_2 из уравнения (3.26):

$$\Delta p_1 = \frac{u_1 + \frac{\theta_0 \cdot (H - h)}{\eta_{nl}} \cdot 2 \cdot \eta_{nl} \cdot L}{\frac{H^2}{4} - h^2}, \quad (3.27)$$

3.3.2 Поток мясного фарша через отверстие в решетке

Рассмотрим установившийся поток мясного фарша отверстиях решетки. Если выделить в движущемся потоке мясного шрота цилиндр длиной ℓ и радиусом r (рисунок 3.5), то этот цилиндр будет находиться в равновесии под действием силы сопротивления, определяемой разностью давлений на обоих концах, выделенного элементарного объема и напряжения сдвига [17, с. 214; 82, с. 46].

$$\Delta p_2 \cdot \pi \cdot r^2 - 2\pi \cdot r \cdot \ell \cdot \theta = 0, \quad (3.28)$$

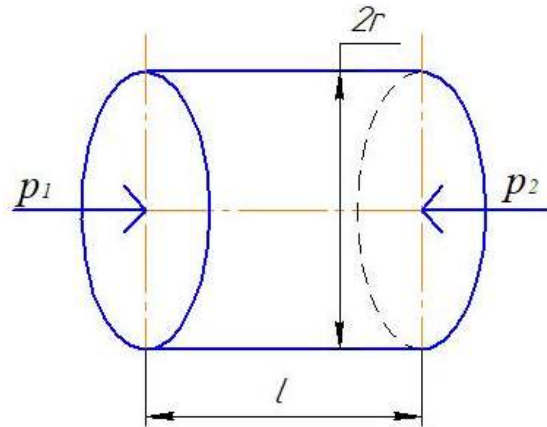


Рисунок 3.5 –Истечение через отверстие в решетке.

Откуда:

$$\theta = \frac{\Delta p_2 \cdot r}{2\ell}, \quad (3.29)$$

Максимальное напряжение у стенки решетки:

$$\theta_{cm} = \frac{\Delta p_2 \cdot R}{2\ell}, \quad (3.30)$$

Таким образом:

$$\theta = \frac{\theta_{cm} \cdot r}{R}, \quad (3.31)$$

На рисунке 3.6 приведена схема распределения скоростей, касательных напряжений и градиента скорости мясного фарша в отверстиях решетки, причем следует отметить, что хотя напряжение θ падает до 0 в центре, но существует зона (вблизи осевой линии), где отсутствует скорость сдвига. В этой зоне мясной фарш движется как твердый поршень. Рабочее пространство отверстия решетки обусловлено присутствием двух областей течения: при $\theta > \theta_0$ - область сдвигового течения; при $\theta = \theta_0$ - область ядра [17, с. 215].

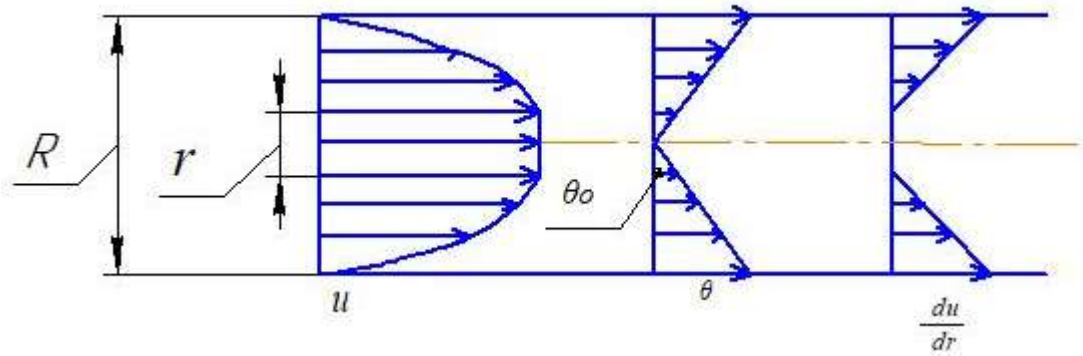


Рисунок 3.6 – Распределение скоростей, напряжений сдвига и градиента скорости мясного фарша в отверстиях решетки.

Аналогично подпункту 3.2.1 получим:

$$u_2 = \frac{\Delta p_2}{4\ell \cdot \eta_{nl}} \cdot (R^2 - r^2) - \frac{\theta_0}{\eta_{nl}} \cdot (R - r), \quad (3.32)$$

Для ламинарного течения в отверстии решетки получим потери давления из уравнения (3.31) [17, с. 215]:

$$\Delta p_2 = \frac{4u_2 \cdot \ell \cdot \eta_{nl}}{(R^2 - r^2) - \frac{\theta_0}{\eta_{nl}} \cdot (R - r)}, \quad (3.33)$$

3.3.3 Составление и решение математической модели процесса измельчения мясного сырья

В результате исследований составлена математическая модель процесса измельчения и проведено ее аналитическое решение при следующем допущении: действие сил инерции не учитывалось при ламинарном режиме течения мясного фарша, т.к. они очень малы по сравнению с силами внутреннего трения. Поэтому основой математического моделирования процесса измельчения служило приближенное описание течения мясного фарша на границах поток - нож и межрешеточное пространство, поток - отверстия в решетке [17, с. 215].

Запишем уравнения, описывающие баланс сил, действующих при измельчении:

$$\begin{cases} 2 \cdot h \cdot \Delta p_1 \cdot B - 2 \cdot B \cdot L \cdot \theta = 0 \\ \pi \cdot r^2 \cdot \Delta p_2 - 2\pi \cdot r \cdot \ell \cdot \theta = 0, \end{cases} \quad (3.34)$$

где Δp_1 , Δp_2 - потери давления на преодоление трения при движении потока

мясного фарша между параллельными решетками и в отверстиях решетки; h, L, B - ширина, длина и высота элементарного слоя мясного фарша, движущегося между параллельными пластинами; r и ℓ - радиус и длина элементарного слоя мясного фарша, движущегося в отверстии решетки; θ - напряжение сдвига.

Математическое описание процесса измельчения мясного сырья при установившемся режиме, представлено в виде системы уравнений, связывающих градиенты скорости сдвига и потерь давления:

$$\begin{cases} \frac{\partial u_1}{\partial h} = \frac{1}{2\eta_{nl}} \cdot \left(\frac{H}{2L} \cdot \Delta p_1 - \theta_0 \right) \\ \frac{\partial u_2}{\partial r} = \frac{1}{\eta_{nl}} \cdot \left(\frac{R}{2\ell} \cdot \Delta p_2 - \theta_0 \right) \end{cases}, \quad (3.35)$$

или в обобщенном виде:

$$\frac{\partial u}{\partial \ell} = \frac{1}{\eta_{nl}} \left(\frac{dr}{2d\ell} \cdot \Delta p - \theta_0 \right), \quad (3.36)$$

где: R – радиус отверстия в решетке;

с граничным условием:

$$\frac{\partial u}{\partial \ell} = 0 \text{ при } \frac{dr}{2d\ell} \cdot \Delta p = \theta_0, \quad (3.37)$$

с начальным условием:

$$\theta_0 < \frac{dr}{2d\ell} \cdot \Delta p < \theta, \quad (3.38)$$

где $\frac{\partial u_1}{\partial h}, \frac{\partial u_2}{\partial r}$, - градиенты скорости сдвига; θ_0, η_{nl} - ПНС и пластическая вязкость мясного фарша; dr и $d\ell$ – ширина (радиус) и длина канала произвольного сечения.

Приведем систему уравнений (3.38) к виду:

$$\begin{cases} \Delta p_1 = \left(\eta_{nl} \cdot \frac{\partial u_1}{\partial h} + \theta_0 \right) \cdot \frac{2\ell}{H} \\ \Delta p_2 = \left(\eta_{nl} \cdot \frac{\partial u_2}{\partial r} + \theta_0 \right) \cdot \frac{2\ell}{R} \end{cases}, \quad (3.39)$$

или в обобщенном виде:

$$\Delta p = \theta \cdot \frac{2d\ell}{dr}, \quad (3.40)$$

Для составления математической модели рассмотрим общий случай движения мясного фарша (рисунок 3.7). Если действие силы тяжести не

учитывать, то проекция на ось x массовых и поверхностных сил, действующих на элементарный объем [17, с. 218; 83, 84].

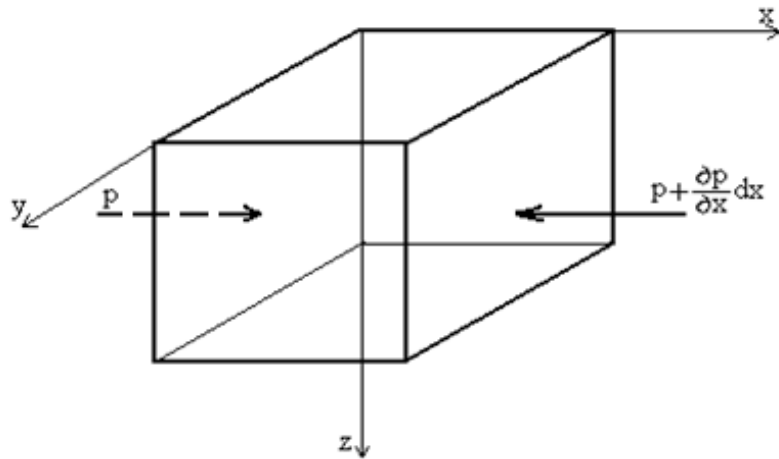


Рисунок 3.7 - Движение элементарного слоя мясного фарша в потоке.

$dV = dx \, dy \, dz$ мясного фарша, может быть получена с учетом напряжения сдвига по уравнению Бингама:

$$\theta + \left(\theta + \frac{\partial \theta}{\partial x} \cdot dx \right) \cdot dy \cdot dz, \quad (3.41)$$

Если пренебречь действием сил инерции по сравнению с силами вязкости, то установившееся элементарного объема мясного фарша будет описываться уравнениями:

$$\begin{cases} -\frac{\partial p}{\partial x} + \theta_0 + \eta_{nl} \nabla^2 u_x + \eta_{nl} \frac{\partial}{\partial x} \operatorname{div} u = 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial y} + \theta_0 + \eta_{nl} \nabla^2 u_y + \eta_{nl} \frac{\partial}{\partial y} \operatorname{div} u = 0 \\ -\frac{\partial p}{\partial z} + \theta_0 + \eta_{nl} \nabla^2 u_z + \eta_{nl} \frac{\partial}{\partial z} \operatorname{div} u = 0 \end{cases}, \quad (3.42)$$

Уравнение (3.36) для оси x можно переписать в виде:

$$-\frac{\partial p}{\partial x} + \theta_0 + \eta_{nl} \cdot (\nabla^2 \cdot u_x + \frac{\partial}{\partial x} \operatorname{div} u) = 0, \quad (3.43)$$

где ∇ - оператор Лапласа; $\operatorname{div} u$ - дивергенция вектора скорости u .

Выразим переменные, входящие в это уравнение, через константы подобия:

$$\frac{p_1}{p} = C_p; \quad \frac{u_1}{u} = C_u; \quad \frac{\theta_{0_1}}{\theta_0} = C_\theta; \quad \frac{\eta_{nl_1}}{\eta_{nl}} = C_\eta; \quad \frac{x_1}{x} = C_\ell, \quad (3.44)$$

Тогда для двух подобных систем уравнение (3.37) запишется в виде:

$$-\frac{C_p}{C_\ell} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{C_\theta}{C_\ell} \cdot \theta_0 + C_\eta \eta_{nl} \cdot (\nabla^2 \cdot u_x \cdot \frac{C_u}{C_\ell^2} + \frac{C_u}{C_\ell^2} \cdot \frac{\partial}{\partial \ell} \operatorname{div} u) = 0, \quad (3.45)$$

Вынесем в левой части уравнения (3.45) $\frac{C_u}{C_\ell^2}$ за скобки и, разделив все члены левой части уравнения на $\frac{C_\eta \cdot C_u}{C_\ell^2}$, получим:

$$-\frac{C_p \cdot C_\ell}{C_\eta \cdot C_u} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{C_\theta \cdot C_\ell}{C_\eta \cdot C_u} \cdot \theta_0 + \eta_{nl} \cdot (\nabla^2 \cdot u_x + \frac{\partial}{\partial \ell} \operatorname{div} u) = 0, \quad (3.46)$$

Из этого следует, что условием подобия систем будет равенство индикатора подобия единице:

$$\frac{C_p \cdot C_\ell}{C_\eta \cdot C_u} \cdot \frac{C_\theta \cdot C_\ell}{C_\eta \cdot C_u} = 1, \quad (3.47)$$

Заменяя константы подобия соответствующими отношениями переменных, получим:

$$\frac{p_1 \cdot \ell_1^2 \cdot \theta_{01}}{\eta_{nl1}^2 \cdot u_1^2} = \frac{p \cdot \ell^2 \cdot \theta}{\eta_{nl}^2 \cdot u^2} = idem, \quad (3.48)$$

Для характеристики установившегося движения получим критерий Лагранжа и новый безразмерный комплекс P :

$$La \cdot P = Eu \cdot \operatorname{Re} \cdot P = \frac{p \cdot \ell}{\eta \cdot u} \cdot \frac{\theta \cdot \ell}{\eta \cdot u} = \frac{p \cdot \ell}{\eta \cdot u} \cdot \frac{\theta \cdot \tau}{\eta}, \quad (3.49)$$

Безразмерный комплекс P выражает соотношение между напряжениями сдвига и силами вязкости, зависящий от реологических свойств мясного фарша, находящимися в динамическом равновесии.

Таким образом, для установившегося движения мясного фарша в условиях отсутствия инерционных сил подобие гидравлических систем обеспечивается тождеством:

$$La \cdot P = idem, \quad (3.50)$$

Используя уравнение (3.43), запишем:

$$\frac{\Delta p \cdot \ell}{\eta_{nl} \cdot u} = \theta \cdot \frac{2\ell}{r} \cdot \frac{\tau}{\eta_{nl}}, \quad (3.51)$$

Левая часть полученного равенства представляет собой критерий Лагранжа, а правая содержит безразмерный комплекс P и геометрический симплекс $\Gamma = \frac{2\ell}{r}$

$$La = P \cdot \Gamma, \quad (3.52)$$

Так как $La = Eu \cdot Re$, то:

$$Eu = C \cdot Re^A \cdot P^B \cdot \Gamma, \quad (3.53)$$

Безразмерный комплекс P будет равен:

$$P = \frac{\theta \cdot \tau}{\eta_{nl}} \text{ или } P = \frac{\theta \cdot l}{\eta_{nl} \cdot v}, \quad (3.54)$$

где l – определяющий геометрический размер; v – скорость движения мясного фарша.

Выведенный нами безразмерный комплекс зависит от типа машин, т. е. при расчете рабочих органов машин в действии данный комплекс, можно назвать критерием после его осмысления применительно к другим типам машин и определения его количественных значений. Параметр τ в уравнении (3.46) применительно к машинам периодического действия характеризует продолжительность обработки, а соотношение $\frac{l}{v}$ для машин непрерывного действия характеризует длину пути, где происходит обработка продукции и скорость его перемещения, т.е. характеризует геометрические и кинематические параметры машин.

С учетом уравнения (3.54) напряжение сдвига будет равно:

$$\theta = \theta_0 + \theta_p + \dot{\gamma} \cdot \eta_{nl}, \quad (3.55)$$

Напряжение резания θ_p определяется экспериментально:

$$\theta_p = \frac{F}{S}, \quad (3.56)$$

где F – сила резания, Н; S - площадь разрезаемой поверхности, м².

3.4 Пропускная способность решетки волчка

Для расчета пропускной способности решетки волчка применяем уравнение Хагена-Пуазейля. Кроме того выбор именно такого распределения диаметров отверстий на решетке (рисунок 3.8 и 3.9) связан с необходимостью получения максимально возможного значения коэффициента φ - коэффициент использования режущей способности механизма.

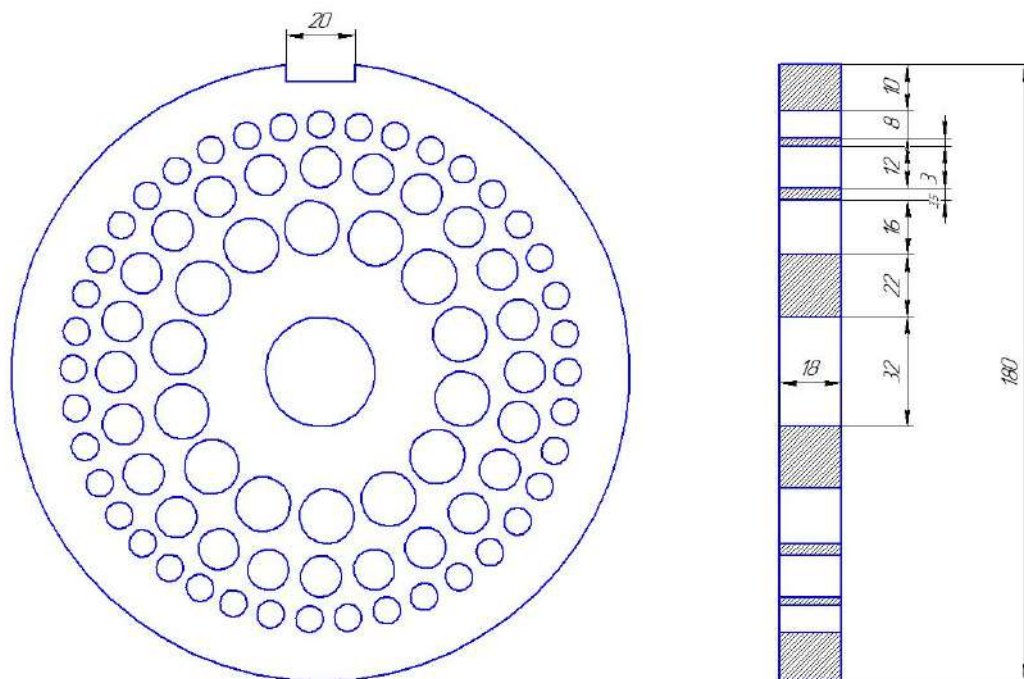


Рисунок 3.8 – Схема решётки с переменными диаметрами отверстий уменьшающиеся к периферии.

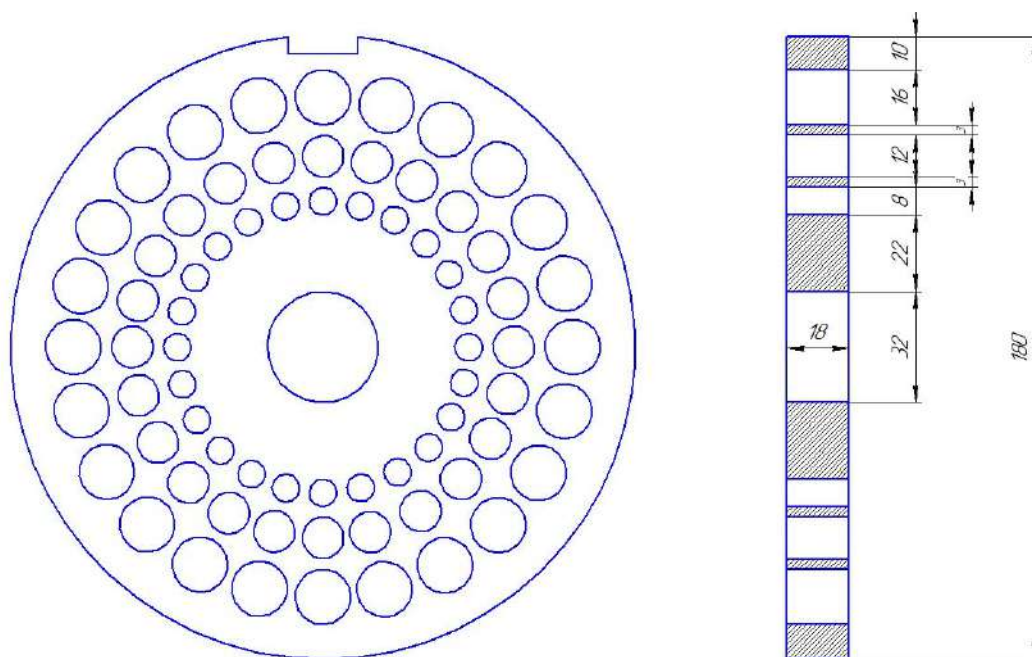


Рисунок 3.9 – Схема решётки с переменными диаметрами отверстий увеличивающейся к периферии.

Для волчков, как машин непрерывного действия производительность может определяться по режущей способности, т.к. ножи имеют свой привод, а их частота вращения больше. Таким образом, был определён φ - коэффициент использования режущей способности механизма, для существующих решёток и

предлагаемых решёток и определяется по следующей формуле [12, с. 211]:

$$\varphi = \frac{F_{\text{отв.}}}{F_{\text{реш.}}} \quad (3.57)$$

где $F_{\text{отв.}}$ – площадь одного отверстия;
 $F_{\text{реш.}}$ – площадь решетки.

Общая площадь отверстия определяем по следующей формуле для предлагаемых решёток:

$$F_{\text{отв.}} = \frac{\pi \cdot d_1^2}{4} \cdot z_1 + \frac{\pi \cdot d_2^2}{4} \cdot z_2 + \frac{\pi \cdot d_3^2}{4} \cdot z_3 \quad (3.58)$$

где d_1^2, d_2^2, d_3^2 – диаметры отверстий;
 z_1, z_2, z_3 – количество отверстий.

Площадь решётки определяем по формуле:

$$F_{\text{реш.}} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \quad (3.59)$$

где D^2 – диаметр решётки.

Теоретическую производительность решетки определим путем рекомендаций проф. Ивашова В.И. Он определял теоретическую производительность машины АВЖ-400 имеющая отверстия в барабане по уравнению Хагена-Пуазейля [12, с. 523].

$$Q = \frac{\pi \cdot d^4}{128} \cdot \frac{P}{\eta_{\text{эф}} \cdot l}, \quad (3.60)$$

где d – диаметр отверстия, м; P – давление, Па; $\eta_{\text{эф}}$ – эффективная вязкость, Па·с;

l – длина отверстия, м.

Здесь Ивашов В.И. представляет эту формулу для объемной производительности. Размерность Q – м³/с. Но это очень просто преобразовать в (кг/с) путем умножения этого уравнения на плотность продукта - ρ (кг/м³), что Ивашов В.И. делает далее на основании Хагена-Пуазейля, в формуле которую он предлагает ниже.

Однако, преобразуя данное уравнение, Ивашов В.И. выделяет из него так называемый, геометрический параметр [12, с. 536].

Геометрический параметр отверстий барабана АВЖ-400:

$$k_2 = \frac{\pi \cdot d^4}{128 \cdot l}, \quad (3.61)$$

где d – диаметр отверстий в барабане;
 l – длина отверстий в барабане.

Геометрический параметр - очень важный для нас. Он показывает два конструктивных параметра решетки – диаметр отверстий и длину отверстий или толщину решетки.

Ивашов В.И. перенес длину отверстия из второй дроби в первую. В результате получился параметр, который характеризует решетку. Думаю что в идеале все три решетки волчка несмотря на разное количество и диаметр отверстий должны очевидно иметь одинаковые или хотя бы близкие параметры k_2 . Преобразуем уравнение применительно к нашей решетки с различными диаметрами отверстий.

$$k_2 = \frac{\pi \cdot (d_1^4 + d_2^4 + d_3^4)}{128 \cdot l}, \quad (3.62)$$

Для расчета же производительности Ивашов И.В. рекомендует следующую зависимость, выведенную на основании уравнения Хагена-Пуазейля:

$$M = k_2 z \rho \frac{P}{\eta_{эф}}, \quad (3.63)$$

где k_2 – геометрический параметр круглого отверстия, м³;

z – количество отверстий в барабана;

ρ – плотность жира;

$\eta_{эф}$ – эффективная вязкость жира;

P – давление жиромассы в барабане (по Ивашову В.И.), Па.

Таким образом теоретическую производительность решетки волчка выведем на основании уравнения Хагена-Пуазейля.

$$M = k_2 z \rho \frac{P}{\eta_{эф}}, \quad (3.64)$$

где k_2 – геометрический параметр круглого отверстия, м³;

z – количество отверстий в решетке;

ρ – плотность мяса;

$\eta_{эф}$ – эффективная вязкость мяса:

P – давление шнека.

Результаты расчетов теоретической производительности решетки приведены в таблице 3.1

Таблица 3.1 - Результаты расчетов теоретической производительности решетки.

Показатели	Решётка				
	d - 8 мм	d - 12 мм	d - 16 мм	d - 16, 12, 8 мм	d - 8, 12, 16 мм
z – количество отверстий	132	72	46	78 (14;24;40)	72 (24;24;24)
φ - коэффициент использования режущей способности механизма	0,33	0,37	0,46	0,40	0,38
M – производительность (кг/с)	0,24	0,67	1,4	0,80	0,76

По данным приведенные в таблице 3.1 определено, что наиболее рентабельной решёткой является решётка с переменными диаметрами отверстий уменьшающиеся к периферии.

В соответствии с рисунком 3.10 нами предложено устройство (решетка) для измельчения мясного и мясокостного сырья, позволяющее повысить его производительность [85].



Рисунок 3.10 – Решетка с переменными диаметрами отверстий.

Техническим результатом изобретения является получение монодисперсного измельченного мясного и мясокостного сырья.

Это достигается за счет того, что известное устройство для измельчения мясного сырья содержит неподвижную приемную, промежуточную и выходную решетку, имеющее отверстия с переменным диаметром, увеличивающимся от периферии к центру.

При совершенствовании конструкции решеток волчков значительное место отводится изучению технологических параметров процессов, происходящих в режущем механизме волчка при мелком измельчении мясного сырья и его качеству. При изучении технологических параметров процессов происходящих в режущем механизме при мелком измельчении был рассмотрен вопрос, связанный с технологическими потерями [86].

Выводы по главе 3

1. Построена структурная схема волчка, позволяющая моделировать процесс измельчения в пространстве между решетками и ножом, а также определить оптимальные конструкции исполнительных устройств.

2. Разработана реологическая механическая модель, описывающая поведение мяса при измельчении. При измельчении мясо испытывает вязко-упругую, пластическую деформацию и мгновенно-необратимую деформацию, в

результате действия которой при предельном значении напряжения резания происходит измельчение мяса.

3. Получены аналитические выражения, характеризующие параметры процесса измельчения мяса и позволяющие управлять его режимом. Установлено, что основным фактором является безразмерный комплекс, характеризующий реологические свойства мясного шрота, а именно напряжение сдвига и пластическую вязкость. Результаты расчетов показали, что критерий Эйлера при измельчении зависит от значения этого фактора.

4. Для расчета теоретической пропускной способности решетки волчка использовали зависимость на основании уравнения Хагена-Пуазейля учитывающий геометрический параметр круглого отверстия, количество отверстий в решетки, плотность мясного сырья, эффективную вязкость и давление создаваемое шнеком.

4 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ МЯСНОГО СЫРЬЯ НА ВОЛЧКЕ

4.1 Исследование химического состава мясного сырья

Проведены исследования химического состава мясного сырья. В качестве объектов исследования взято мясо говядины, конины, курятины, баранины и свинины, выращенных в Семейском регионе Восточно-Казахстанской области. В ходе исследований получены результаты в соответствии с таблицей 4.1.

Химический состав мяса характеризуется содержанием влаги, жира, золы и белка. Высокое содержание жиров и белков делает мясо подходящим сырьем для самых разных продуктов. В то же время высокая влажность мяса заставляет его обрабатывать сразу после получения или хранения в условиях, исключающих или подавляющих процессы гнилостного разложения при температуре от 2 °С до 6 °С - не более 24 часов, при минус 12 °С - 1 месяц и при минус 18 °С - не более 2 месяцев.

Таблица 4.1 - Химический состав различных видов мяса, %

Наименование мяса	Содержание массовой доли, %			
	Влага	Жир	Зола	Белок
Говядина	63,9	16	1,3	18,8
Конина	71	8,7	2,2	18,1
Курятина	71,4	6,1	1	21,5
Баранина	61,5	20,5	1,6	16,4
Свинина	53,7	21,7	1,4	23,2

Из таблицы 4.1 видно, что по содержанию жира и белка баранина и свинина превосходят другие виды мяса.

Таким образом, проведенные исследования позволили определить химический состав различного мясного сырья, которое после соответствующей обработки может быть использовано в качестве основного сырья для производства мясных продуктов, обогащенных необходимыми и полезными для человека элементами.

4.2 Влияние конструкции режущего механизма на изменение водосвязывающей способности мясного фарша

При совершенствовании конструкции режущего механизма волчка значительное место отводится изучению технологических параметров процесса измельчения мясного сырья и его качеству. Качество устанавливалось на

основании исследования ВСС (водосвязывающие способности) измельчаемого сырья.

Для определения рациональных режимов измельчения мясного сырья были проведены комплексные исследования в лабораторных условиях на установке, конструкция и принцип работы которого описаны выше. Изучали зависимость ВСС и ПНС мясного фарша от конструкции режущего механизма.

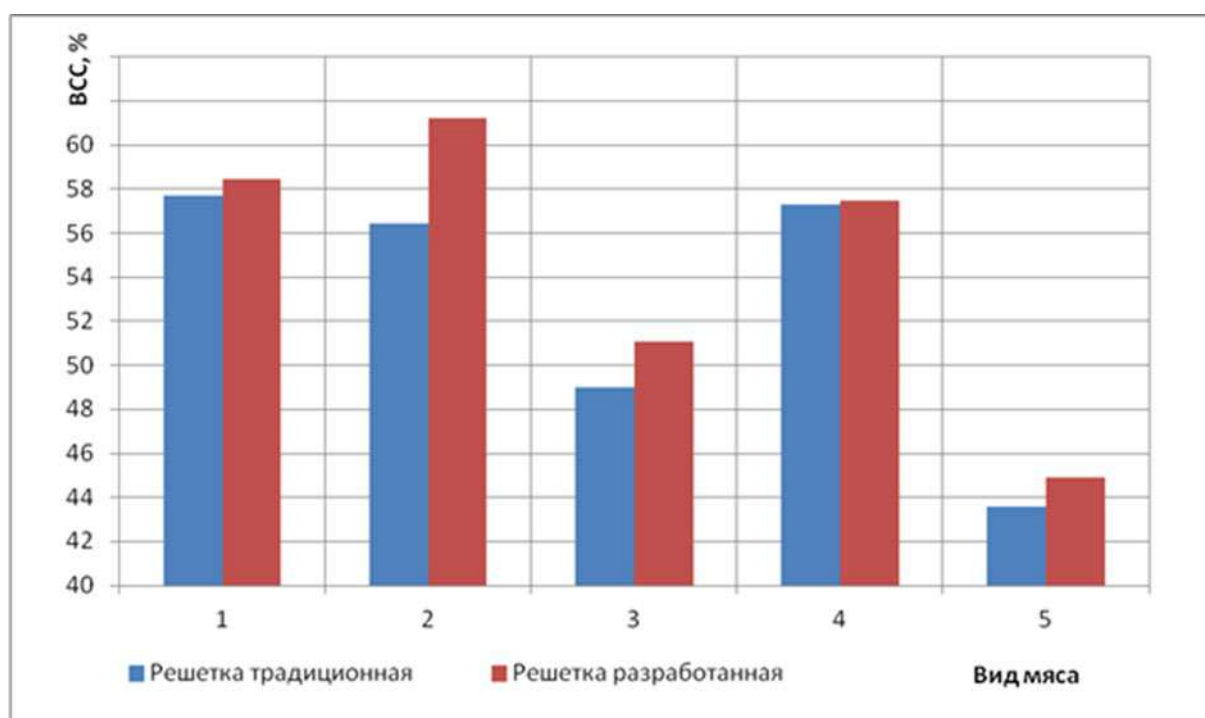
Объектом для экспериментов был выбран фарш различных видов мясного сырья: говядины, баранины, конины, курятины, свинины. Определяли изменение ВСС и ПНС фарша в зависимости от конструкции режущего механизма. Использовали 2 комплекта режущего механизма:

1 комплект (традиционный) – приемная решетка, крестовидный нож, решетка с диаметром отверстий 12 мм;

2 комплект (разработанный) – приемная решетка крестовидный нож, решетка с переменными диаметрами отверстий.

Значения ВСС определяли по методике, описанной в разделе 2.

Результаты экспериментального определения ВСС мясного фарша в работе исследовалось методом прессования и представлены в виде зависимостей ВСС мясного фарша от вида мясного сырья и конструкции режущего механизма (рисунок 4.1).



1 – говяжий фарш, 2 – фарш из конины, 3 – куриный фарш, 4 – бараний фарш, 5 – свиной фарш

Рисунок 4.1 - Изменение ВСС различного вида мясного фарша в зависимости от конструкции режущего механизма.

Эксперименты позволили установить, что для второго комплекта

режущего механизма на некоторых видах мясного фарша характерны повышение значения ВСС мясного фарша, что подтверждает эффективность использования разработанной решетки с переменным диаметром отверстий при измельчении различных видов мясного сырья.

4.3 Проверка адекватности математической модели

Проведены комплексные экспериментальные исследования процесса измельчения мясного сырья с целью проверки адекватности результатов экспериментов с аналитическими исследованиями на основе изучения сил взаимодействия сырья с режущим механизмом.

На первом этапе определены средние значения ПНС и напряжения резания мясного сырья в каждом опыте:

$$\theta_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \theta_i, \quad (4.1)$$

Результаты приведены в таблицах 4.2, 4.3.

Таблица 4.2 – Значения ПНС мясного фарша после измельчения на волчке.

Вид мяса	θ_{01}	θ_{02}	θ_{03}	θ_{0cp}
говядина	39,22	41,65	45,67	42,18
конина	46,61	53,15	57,68	52,48
курятина	49,099	61,46	64,521	58,36
баранина	43,47	54,59	70,3	56,12
свинина	37,15	43,84	65,38	48,79

Таблица 4.3 – Значения напряжения резания мясного фарша после измельчения на волчке.

Вид мяса	θ_{p1}	θ_{p2}	θ_{p3}	θ_{pcp}
говядина	94,32	94,45	94,28	94,36
конина	100,04	100,06	100,01	100,03
курятина	71,02	70,58	70,01	70,5
баранина	85,45	86,08	85,70	85,65
свинина	76,35	76,02	76,10	76,15

Затем по полученным данным были рассчитаны остаточная дисперсия:

$$S_o^2 = \frac{m \sum_{i=1}^N (\theta_i - \theta_{cpi})^2}{N - 1}, \quad (4.2)$$

где $m = 1$;

и дисперсия воспроизводимости:

$$S_{\text{вос}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N S_i^2}{N-1}, \quad (4.3)$$

где S_i^2 – выборочная дисперсия, определяемая для каждого опыта.

В результате расчетов по формулам (4.2) и (4.3) получены следующие значения: $S_o^2 = 6,09$; $S_{\text{вос}}^2 = 18,54$.

Тогда расчетный критерий Фишера определяется отношением:

$$F = \frac{S_o^2}{S_{\text{вос}}^2}, \quad (4.4)$$

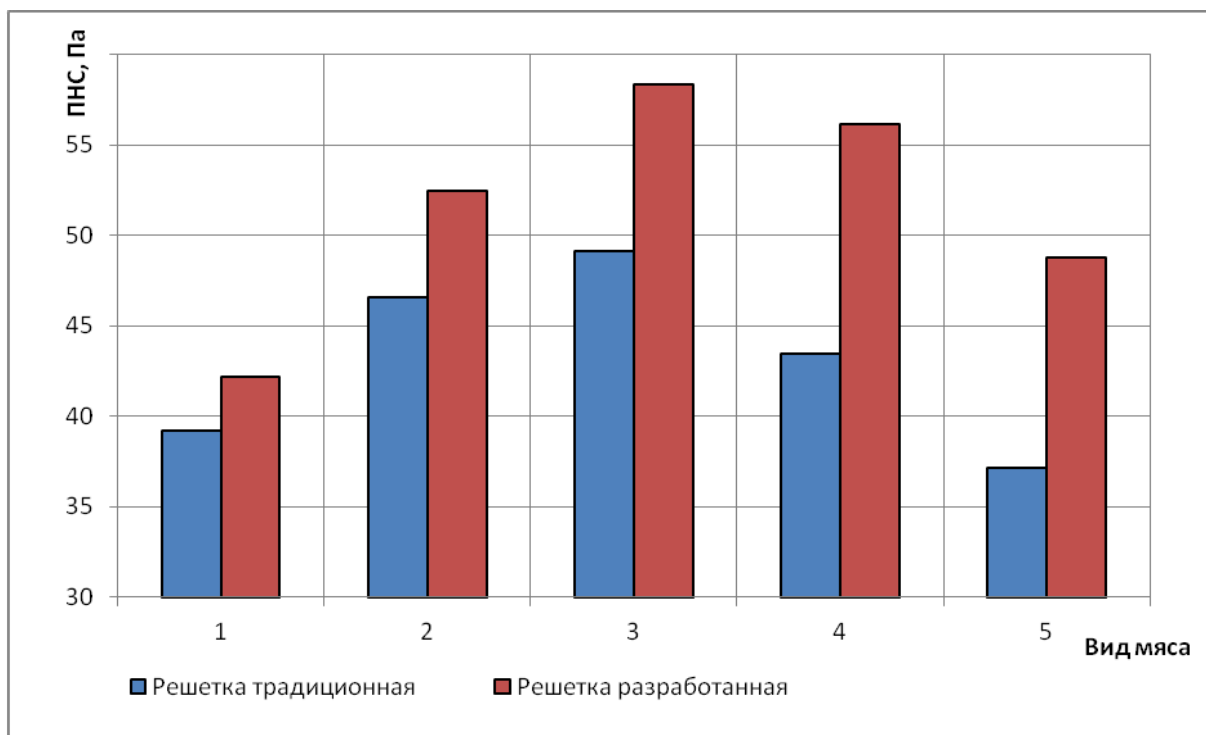
Расчетное значение критерия Фишера $F_i = 0,3285$ значительно меньше табличного $F_{\text{тма}} = 1,02$ для числа степеней свободы $f_1=3$, $f_2=4$ и уровня значимости $\alpha=0,1$. Расчет произведен с использованием математического процессора MatCad [80, с. 278]. Из этого можно сделать вывод, что уравнение (4.1) модели адекватно описывает эксперимент и пригодно для практической реализации при расчетах значений ПНС и напряжения резания мясного сырья.

4.4 Влияние конструкции режущего механизма на изменение предельного напряжения сдвига мясного фарша

Наиболее важным фактором, влияющим на величины реологических параметров фаршей, является ПНС. ПНС мясного фарша оказывает влияние на технологические режимы обработки и качество готовых изделий. Определение ПНС проводили на стенде по методике, описанной в разделе 2.

С помощью экспериментального устройства определены величины ПНС различного вида мясного фарша. При проведении исследований использованы 2 комплекта режущего механизма: традиционный и разработанный. Проведено более 10 опытов.

В соответствии с рисунком 4.2 на основании результатов экспериментов был построен график значения ПНС различного вида мясного фарша, обработанные разными конструкциями режущего механизма.



1 – говяжий фарш, 2 – фарш из конины, 3 – куриный фарш, 4 – бараний фарш, 5 – свиной фарш

Рисунок 4.2 - Изменение ПНС различного вида мясного фарша, обработанные разными конструкциями режущего механизма.

При измельчении традиционным режущим механизмом значения ПНС не достигали своих экстремальных значений, наибольшее значение ПНС имел куриный фарш. Фарш, полученный разработанным режущим механизмом, достигал экстремальных значений ПНС, также имел наибольшее значение для куриного фарша.

При изменении вида мясного фарша значения ПНС для бараньего и свиного фарша уменьшались по экспоненциальной зависимости. Угловая скорость шнека не оказывает существенного влияния на изменение значения ПНС фарша, поэтому частота вращения шнека была постоянной. Следовательно, при использовании разработанного режущего механизма, имеющего в своем составе решетку с переменными диаметрами отверстий, ПНС различного вида мясного фарша имеет наибольшие рациональные значения по сравнению с традиционным режущим механизмом.

4.5 Влияние конструкции режущего механизма на изменение гранулометрического состава мясного фарша

Для определения гранулометрического состава частицы мясного фарша сортировали по размерам. Брели пробы фарша, измельченного с использованием традиционного (приемная решетка, крестовидный нож, решетка с диаметром отверстий 12 мм) и разработанного (приемная решетка, крестовидный нож, решетка с переменными диаметрами отверстий) режущего механизма. При этом частицы делили в зависимости от степени измельчения в

пределах от 3 до 14 мм [3, с. 244-246].

Для выявления изменения значений гранулометрического состава частиц различного вида мясного фарша, построены графики распределения частиц по размерам в зависимости от конструкции режущего механизма в соответствии с рисунками 4.3 – 4.7. При проведении исследований использованы 2 комплекта режущего механизма: традиционный и разработанный.

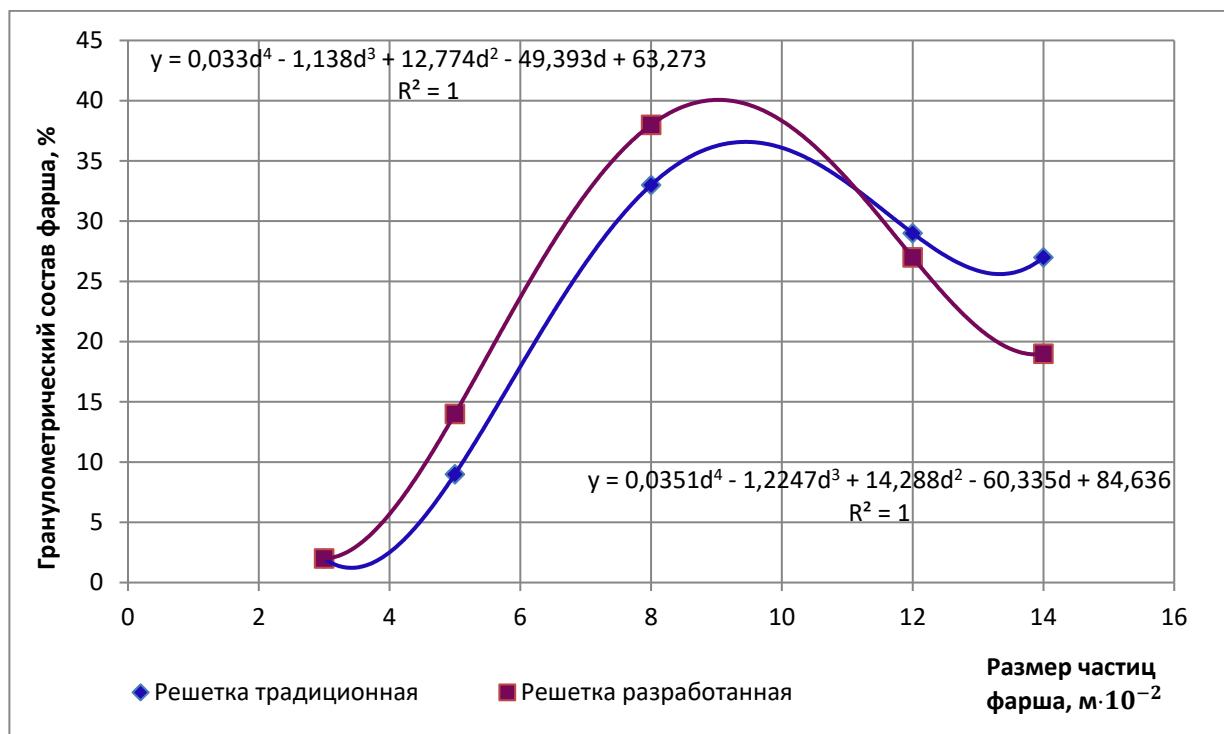


Рисунок 4.3 - Изменение гранулометрического состава говяжьего фарша в зависимости от конструкции режущего механизма.

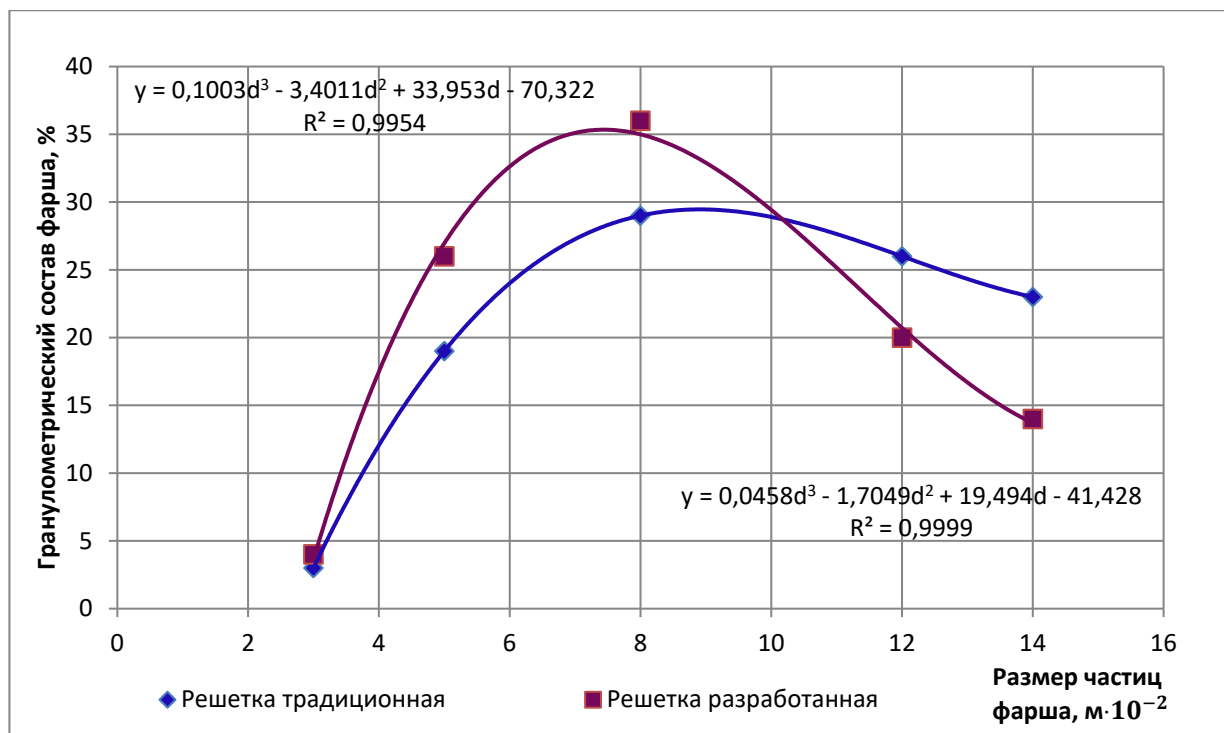


Рисунок 4.3 - Изменение гранулометрического состава бараньего фарша в зависимости от конструкции режущего механизма.

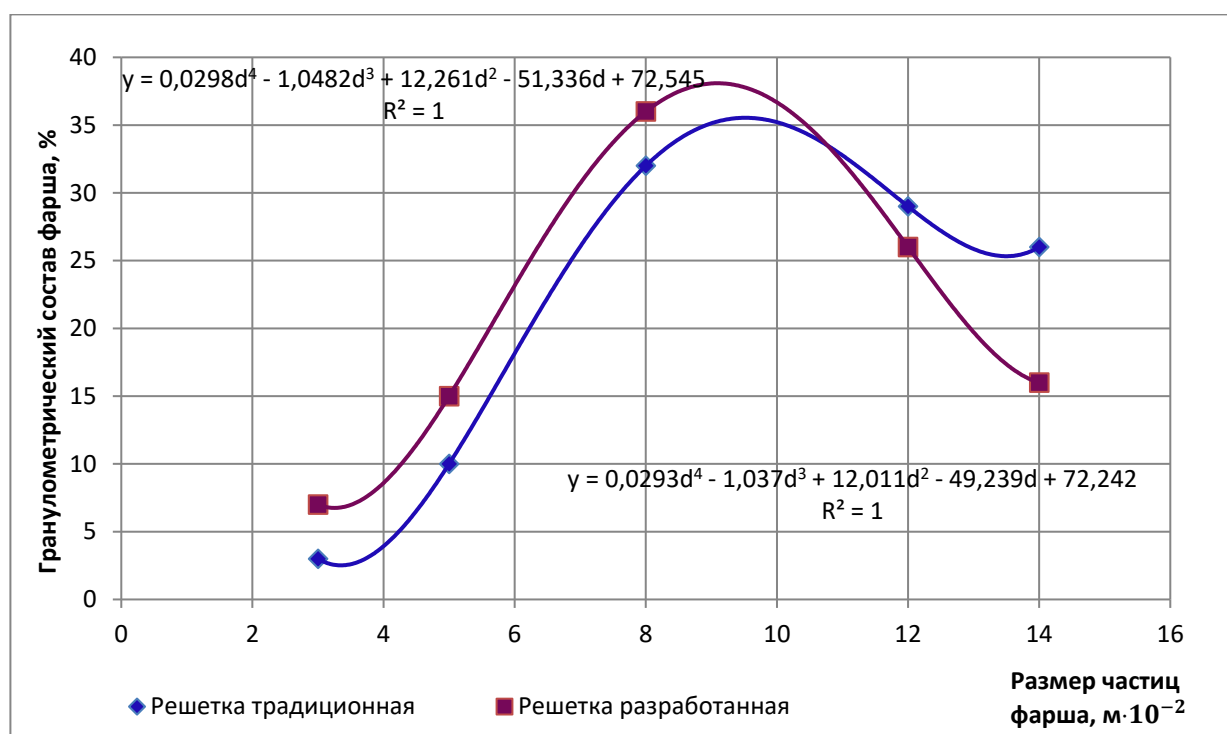


Рисунок 4.5 - Изменение гранулометрического состава куриного фарша в зависимости от конструкции режущего механизма.

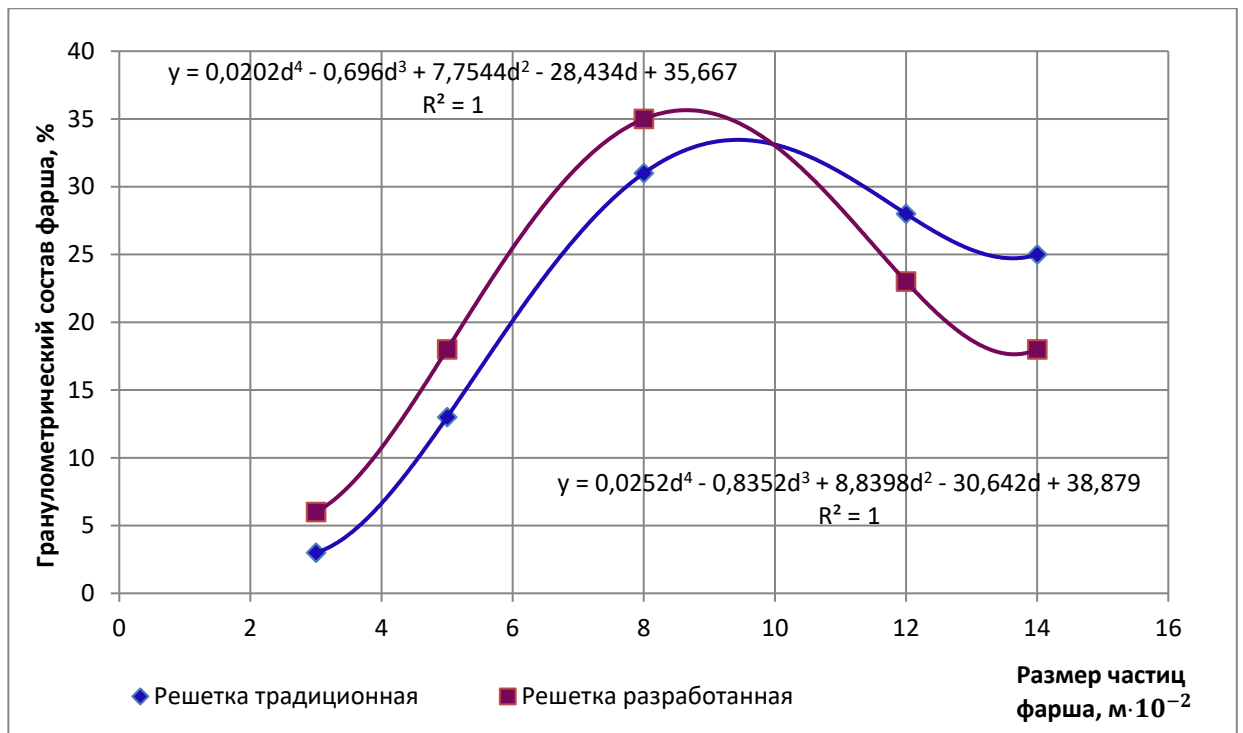


Рисунок 4.6 - Изменение гранулометрического состава фарша конины в зависимости от конструкции режущего механизма.

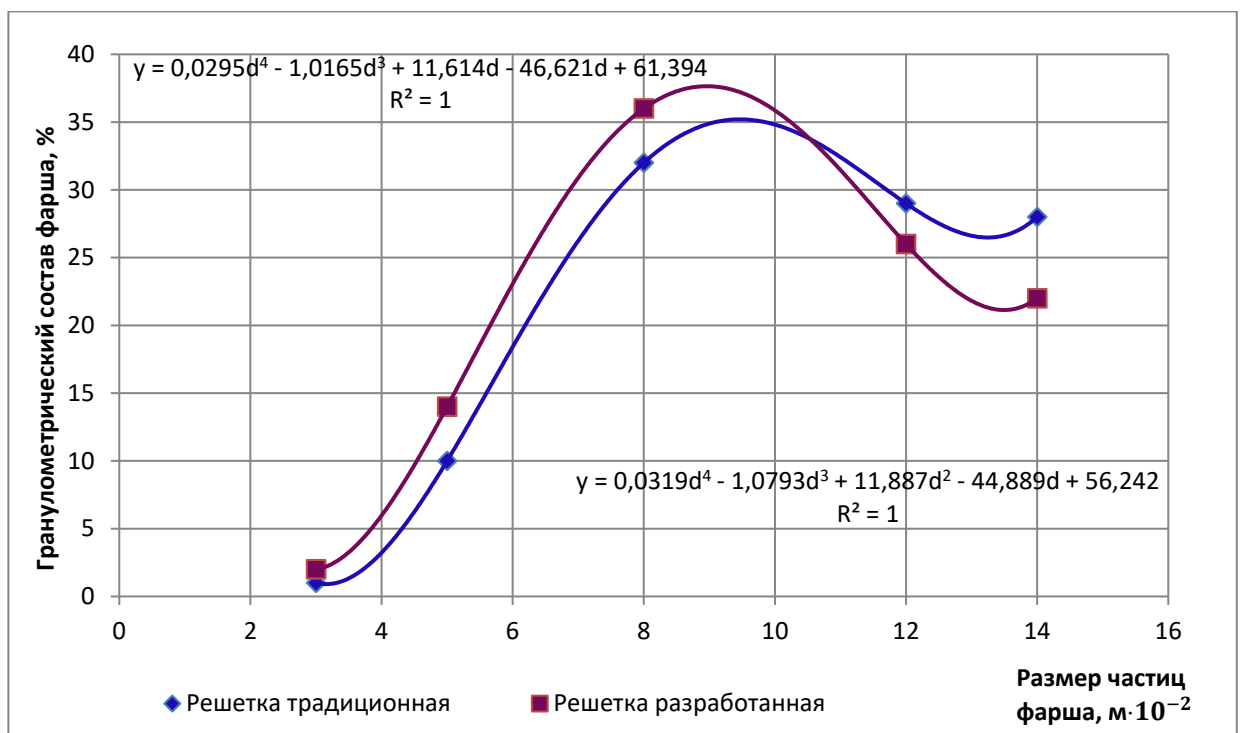


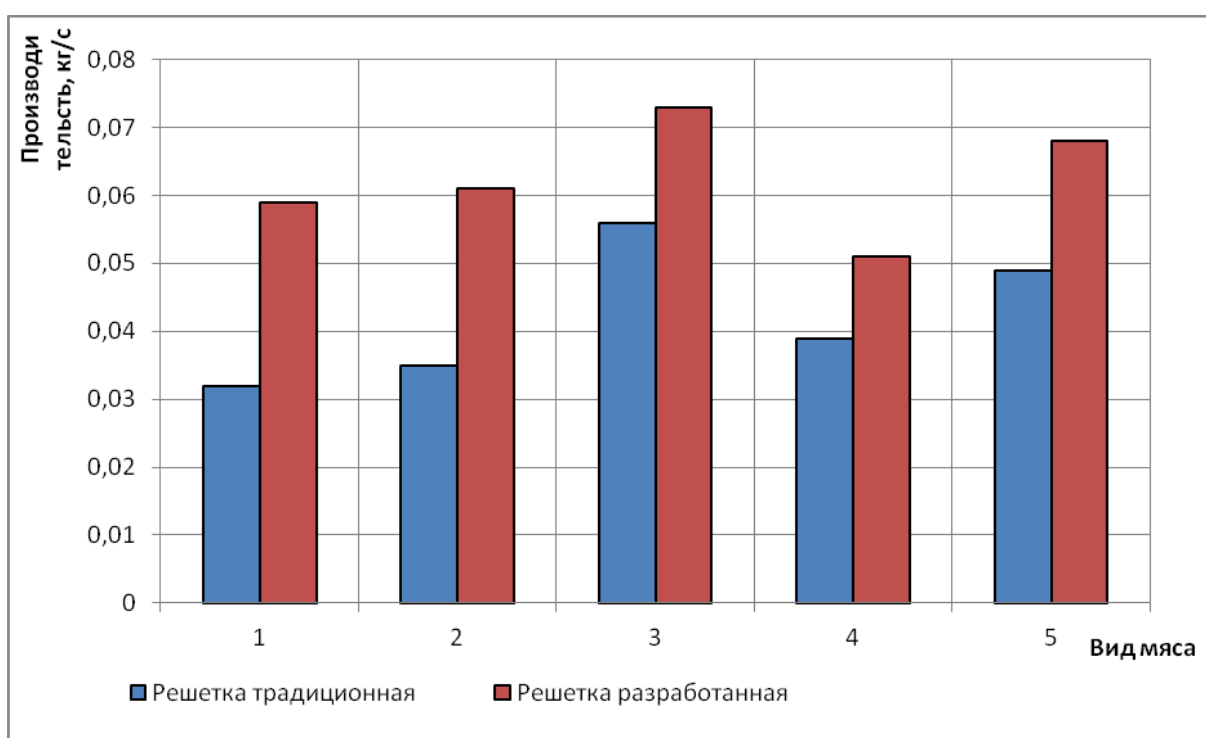
Рисунок 4.7 - Изменение гранулометрического состава свиного фарша в зависимости от конструкции режущего механизма.

Из графиков гранулометрического состава частиц мясного фарша по размерам видно, что при распределении частиц по крупности в зависимости от конструкции режущего механизма наиболее предпочтительным для измельчения различных видов мяса будет разработанный режущий механизм,

имеющий в своем составе решетку с переменными диаметрами отверстий.

4.6 Влияние вида мясного сырья и конструкции режущего механизма на изменение производительности экспериментальной установки

Производительность экспериментальной установки определяли по времени измельчения фиксированного объема мясного сырья (10 кг) с помощью просмотра отснятого видеоматериала экспериментов. Видео съёмка экспериментов проводилась для анализа и обработки экспериментальных данных. По результатам определения времени измельчения мясного сырья построен график производительности экспериментальной установки. При применении исследуемых конструкции режущего механизма и вида мясного сырья и показан на рисунке 4.8.



1 – говяжий фарш, 2 – фарш из конины, 3 – куриный фарш, 4 – бараний фарш, 5 – свиной фарш

Рисунок 4.8 - Изменение производительности экспериментальной установки при применении исследуемых конструкции режущего механизма и вида мясного сырья.

По графику изменения производительности экспериментальной установки видно, что при измельчении в зависимости от вида мясного сырья и от конструкции режущего механизма, производительность экспериментальной установки выше. И составляет в среднем 0,6 т/ч., тогда как производительность на традиционной решетке составило в среднем 0,5 т/ч. Из этого следует, что наиболее выгодным по производительности для измельчения различных видов мяса будет разработанный режущий механизм, имеющий в своем составе

решетку с переменными диаметрами отверстий.

4.7 Влияние вида мясного сырья и конструкции режущего механизма на изменение мощности экспериментальной установки

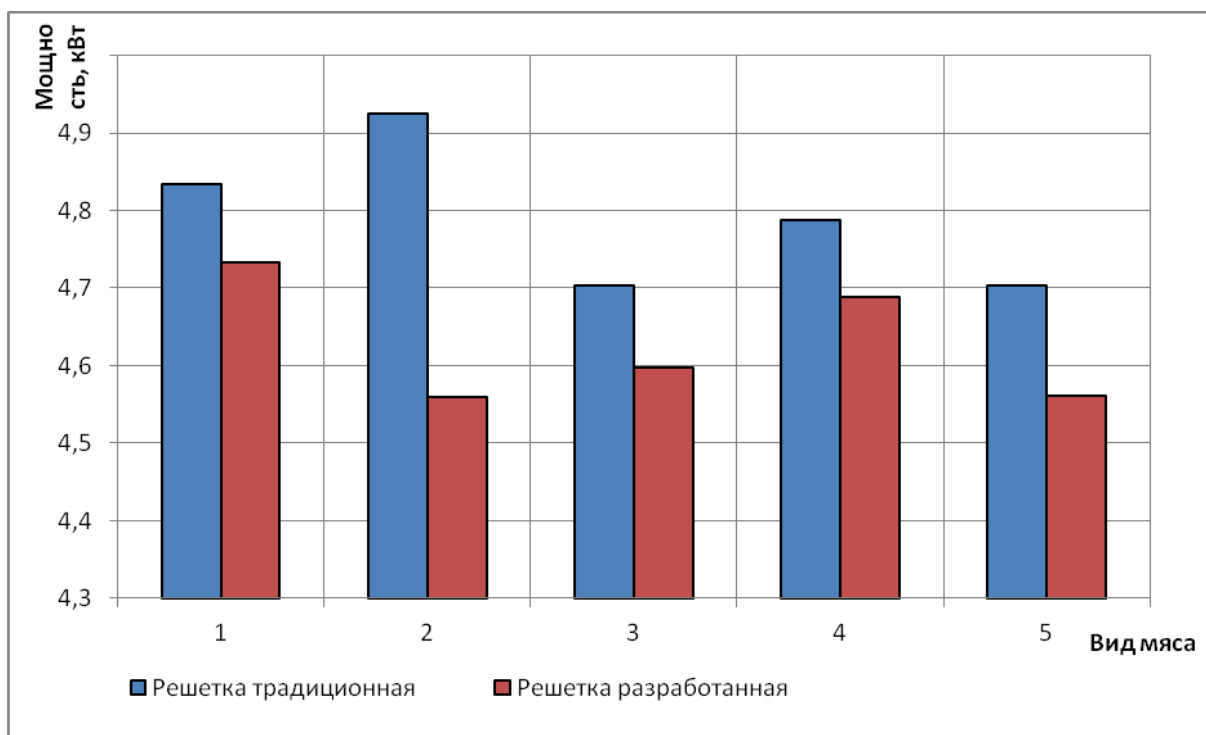
Энергетические характеристики процесса измельчения мясного сырья определяли по мощностям, расходуемым режущим механизмом на преодоление сил резания, давления и трения [87, 88, 89].

Известно, что потребляемая электродвигателем электрическая мощность преобразуется в механическую. Эта мощность представляет собой активную мощность. В начальный период измельчения активная мощность электродвигателей максимальная. С увеличением нагрузки активная мощность увеличивается. При установившемся режиме измельчения мощность N можно определить по формуле [88, с. 183-185]:

$$N = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi, \quad (4.5)$$

где: U - напряжение, показываемое вольтметром; I - сила тока, показываемая амперметром; $\cos \varphi$ - коэффициент мощности. Значения U , I и $\cos \varphi$ определяли по методике, описанной в приложении.

Характер изменения мощности экспериментальной установки (волчка) в зависимости от вида мясного сырья и конструкции режущего механизма представлен в соответствии с рисунком 4.9.



1 – говяжий фарш, 2 – фарш из конины, 3 – куриный фарш, 4 – бараний фарш, 5 – свиной фарш

Рисунок 4.9 - Изменение мощности экспериментальной установки в зависимости от вида мясного сырья и конструкции режущего механизма.

Из графика изменения мощности экспериментальной установки видно, что при измельчении в зависимости от вида мясного сырья от конструкции режущего механизма наименее затратным по расходу энергии для измельчения различных видов мяса будет разработанный режущий механизм, имеющий в своем составе решетку с переменными диаметрами отверстий.

Выводы по главе 4

1. Исследован химический состав мяса говядины, конины, курятины, баранины и свинины, выращенных в Семейском регионе Восточно-Казахстанской области. Которое, можно использовать после соответствующей обработки в качестве основного сырья для дальнейших экспериментов.
2. На основе исследования установлено, что при измельчении мясного сырья с использованием разработанного режущего механизма наблюдается повышение значения ВСС мясного фарша. Что подтверждает эффективность использования разработанной решетки с переменным диаметром отверстий при измельчении различных видов мясного сырья.
3. Проверена адекватность математической модели на основе изучения сил взаимодействия сырья с режущим механизмом. Установлено, что модель адекватно описывает эксперимент и пригодно для практической реализации при расчетах значений ПНС и напряжения резания мясного шрота. Установлено что значение ПНС мясного фарша достигает рациональных значений при использовании разработанного режущего механизма.
4. Установлено, что при распределении частиц мясного фарша по размерам в зависимости от конструкции режущего механизма наиболее предпочтителен для измельчения различных видов мяса разработанный режущий механизм.

5 ПРАКТИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

5.1 Инженерная методика технологического расчета волчка

1 *Определение производительности волчка по режущей способности.*

Поскольку волчок состоит из трех последовательно установленных механизмов:

- питающего механизма,
- подающего механизма,
- режущего механизма.

Все они должны быть рассчитаны на одну производительность, и работать синхронно. Лимитирующей является производительность режущего механизма [90].

Производительность режущего механизма, любой мясорезательной машины, для тонкого, мелкого и среднего измельчения без сохранения формы кусочков, т.е. волчков, куттеров, измельчителей и других машин, можно определить по методике проф. Пелеева А.И, исходя из режущей способности механизма:

$$M_1 = \varphi F_1 / F_2, \text{ кг / час}, \quad (5.1)$$

где: F_1 - режущая способность механизма, $\text{м}^2/\text{час}$;

F_2 - удельная поверхность раздела кусочков продукта, полученного в результате измельчения 1 единицы массы сырья, $\text{м}^2/\text{кг}$;

φ - коэффициент использования режущей способности механизма.

Под *режущей способностью* понимается возможность механизма образовывать новую поверхность, т.е. *режущая способность* – это поверхность (площадь), перерезаемая ножами в единицу времени.

$$F = 60 S f_i k n, \text{ м}^2/\text{час} \quad (5.2)$$

где: n – число оборотов ножей в минуту, об/мин;

k – количество перьев ножа ($k=4$);

f – площадь, перерезаемая ножом за один оборот, м^2 ;

i – количество режущих плоскостей.

Конкретно, для волчков режущую способность ($\text{м}^2/\text{час}$) можно определить по зависимости:

$$F = 60 \cdot k \cdot n \cdot [z_1 \cdot (\pi d_1^2 / 4) + z_2 \cdot (\pi d_2^2 / 4) + \dots + z_i \cdot (\pi d_i^2 / 4)], \quad (5.3)$$

где: d_i – диаметр отверстий в решетках, м;

z_i – количество отверстий в решетке, шт.

Зависимость (5.3) можно существенно упростить. Известно, что большинство волчков в режущем механизме имеет несколько одинаковых по

конструкции ножей с одинаковым количеством перьев, следовательно $k = \text{const} = 4$.

Все ножи устанавливаются на одном валу, следовательно, $n = \text{const}$, и формула приобретает следующий вид:

$$F = 15 \cdot \pi \cdot n \cdot k \cdot (z_1 d_1^2 + z_2 d_2^2 + \dots + z_i d_i^2), \text{ м}^2 / \text{ час} \quad (5.4)$$

Формулу для нахождения режущей способности можно преобразовать:

$$F = 15 \cdot \pi \cdot n \cdot D^2 \cdot k \cdot (\varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i), \text{ м}^2 / \text{ час} \quad (5.5)$$

Удельная поверхность кусочков продукта полученного при измельчении 1 кг массы сырья (F_1) определяется из экспериментальных данных.

2 *Определение производительности волчка по пропускной способности шнека.*

Производительность питающего механизма волчка определяется как максимальная производительность питающего механизма волчков (без сопротивления, оказываемого режущим механизмом), может быть определена:

$$M_{2\text{max}} = 3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \psi_0 \cdot (r_a^2 - r_b^2) \cdot v_{0\text{max}}, \text{ кг/час} \quad (5.6)$$

где: $\pi \cdot (r_a^2 - r_b^2)$ – площадь поперечного сечения цилиндра волчка, м^2 ;
 $(r_a - r_b)$ – разность между радиусом шнека и радиусом вала шнека, м.

Минимальная производительность шнекового питающего устройства со свободным отводом продукта, может быть с достаточной точностью определена:

$$M_{2\text{min}} = 3600 \cdot \pi \cdot \rho \cdot \psi_0 \cdot (r_a^2 - r_b^2) v_{0\text{min}}, \text{ кг/час} \quad (5.7)$$

3 *Определение производительности волчка по пропускной способности решетки.*

Производительность по пропускной способности решетки может быть определена с использованием уравнения Хагена-Пуазейля и по рекомендациям проф. Ивашова В.И.:

$$M_3 = 3600 \cdot \rho \cdot K \cdot z_i \cdot \Delta p / \eta_{\text{пл}}, \text{ кг/час}, \quad (5.8)$$

где: ρ - плотность мясного фарша (шрота), кг/м^3 ;
 K – коэффициент, учитывающий геометрические параметры решетки;
 z_i - количество отверстий в решетке, шт.;
 Δp - перепад давления в отверстиях решетки, Па;
 $\eta_{\text{пл}}$ - пластическая вязкость, Па·с.

Коэффициент, учитывающий геометрические параметры решетки, можно определить:

$$K = \pi \cdot d_i^4 / 128 \cdot l_o, \quad (5.9)$$

где: l_o - длина отверстия в решетке, м.

4 Определение мощности двигателя.

В наиболее общем случае мощность двигателя любого волчка определяется:

$$N = (N_1 + N_2 + N_3 + N_4) \eta_a / \eta, \text{ кВт} \quad (5.10)$$

где: N_1 – мощность для резания продукции, кВт;

N_2 – мощность для преодоления трения в деталях режущего механизма, кВт;

N_3 - мощность для работы шнека, кВт;

N_4 – мощность для работы механизмов подающих продукт из бункера в цилиндр, кВт.

Каждый из этих параметров определяется по отдельности.

4.1 Мощность для резания продукта:

Выразим мощность для измельчения мясного шрота через крутящий момент и гидравлическое сопротивление:

$$N_1 = M_n^{kp} \cdot \omega_n = \sum_{i=1}^{z_n} M_n \cdot \omega_n, \quad (5.11)$$

где M_n^{kp} - крутящий момент на ножевом валу, Н·м;

M_n – момент гидравлического сопротивления ножа, Н·м;

ω_n - угловая скорость вращения соответственно ножевого вала, с⁻¹;

z_n – число ножей.

Крутящий момент, приложенный к ножевому валу, равен сумме моментов гидравлического сопротивления, приложенных при обтекании всех его элементов. В соответствии с уравнением (5.11) сумма моментов, приложенных к элементам конструкции ножевого вала, может быть выражена как:

$$M_n^{kp} = P_n \cdot r_n \cdot z_n \text{ или } M_n^{kp} = \sum_{i=1}^{z_n} M_n = \sum_{i=1}^{z_n} \frac{5}{2} \cdot P \cdot \eta_{nl} \cdot r_n^3 \cdot \omega_n, \quad (5.12)$$

где P_n – сила резания, Н;

P - безразмерный комплекс, определяемый по формуле (2.46),

η_{nl} – пластическая вязкость,

r_n – радиус вращения ножей, м.

Тогда мощность для измельчения (резания) продукта будет равна:

$$N_1 = \sum_{i=1}^{z_n} 2,5 \cdot P \cdot \eta_{nl} \cdot r_n^3 \cdot \omega_n^2, \quad (5.13)$$

1.2 Мощность для преодоления трения в деталях режущего механизма:

$$N_2 = \mu_p P_y b k z \omega_n (D^2 - d^2) / 3 \cdot 10^5, \text{ кВт}, \quad (5.14)$$

где: μ_p - коэффициент трения скольжения ножа по решетке, (0,05)
 P_y - усредненное удельное давление в поверхности стыка, (200-300 Н /см²)
 b - ширина контакта лезвия ножа и решетки, см;
 k - коэффициент, учитывающий соотношение размеров кусочка, диаметр отверстий и скорость истечения продукта (2-5)
 z - общее количество лезвий в данном режущем механизме;
 $(D^2 - d^2)$ - разность квадратов внешнего и внутреннего диаметров лезвия ножа, см.

1.3 Мощность для работы шнека:

$$N_3 = P_o (1 + \alpha_o) M_o / 1000, \text{ кВт}, \quad (5.15)$$

где: P_o - общее давление, необходимое для преодоления сопротивлений, ($P_o = 20 - 30 \text{ н/см}^2$);
 α_o - коэффициент, учитывающий потери энергии на трение продукта в цилиндре, (= 0,72 - 2,0);
 M_o - объемная секундная производительность волчка, м³/с.

4.4 Мощность для привода механизмов, подающих продукт в цилиндр волчка:

$$N_4 = k_o M_B L_{сш} / 102, \text{ кВт} \quad (5.16)$$

где k_o - коэффициент сопротивления при перемещении продукта спиралью и шнеками, ($k_o = 4 - 8$);
 M_B - весовая (массовая) секундная производительность, кг/с;
 $L_{сш}$ - длина подающих спиралей или шнеков, м.

5.2 Разработка операторной схемы механической обработки мясного сырья

В ходе выполнения научно-исследовательской работы предложена новая операторная схема механической обработки мясного сырья при производстве колбасных изделий, в виде совокупности нескольких типовых технологических операторов (рисунок 5.1). На этой схеме рециклическая технологическая связь характеризуется наличием замкнутого технологического потока, связывающего зоны измельчения, перемешивания и формования между собой [91, 92].

На основе данной операторной схемы составили новую технологическую схему производства вареных колбас, показанной на рисунке 5.2. Для выработки колбасных изделий используют сырье здоровых животных без признаков микробиальной порчи и прогоркания жира [93, 94]. Перед поступлением на разделку его осматривают ветеринарные врачи, загрязненные участки поверхности промывают водой и срезают клейма, нанесенные непищевой

течение 1÷3 часов. Далее батоны охлаждаются в течение 4÷8 часов. Готовые колбасные батоны хранятся при 281К от 48 до 72 часов [92, с. 107-110].

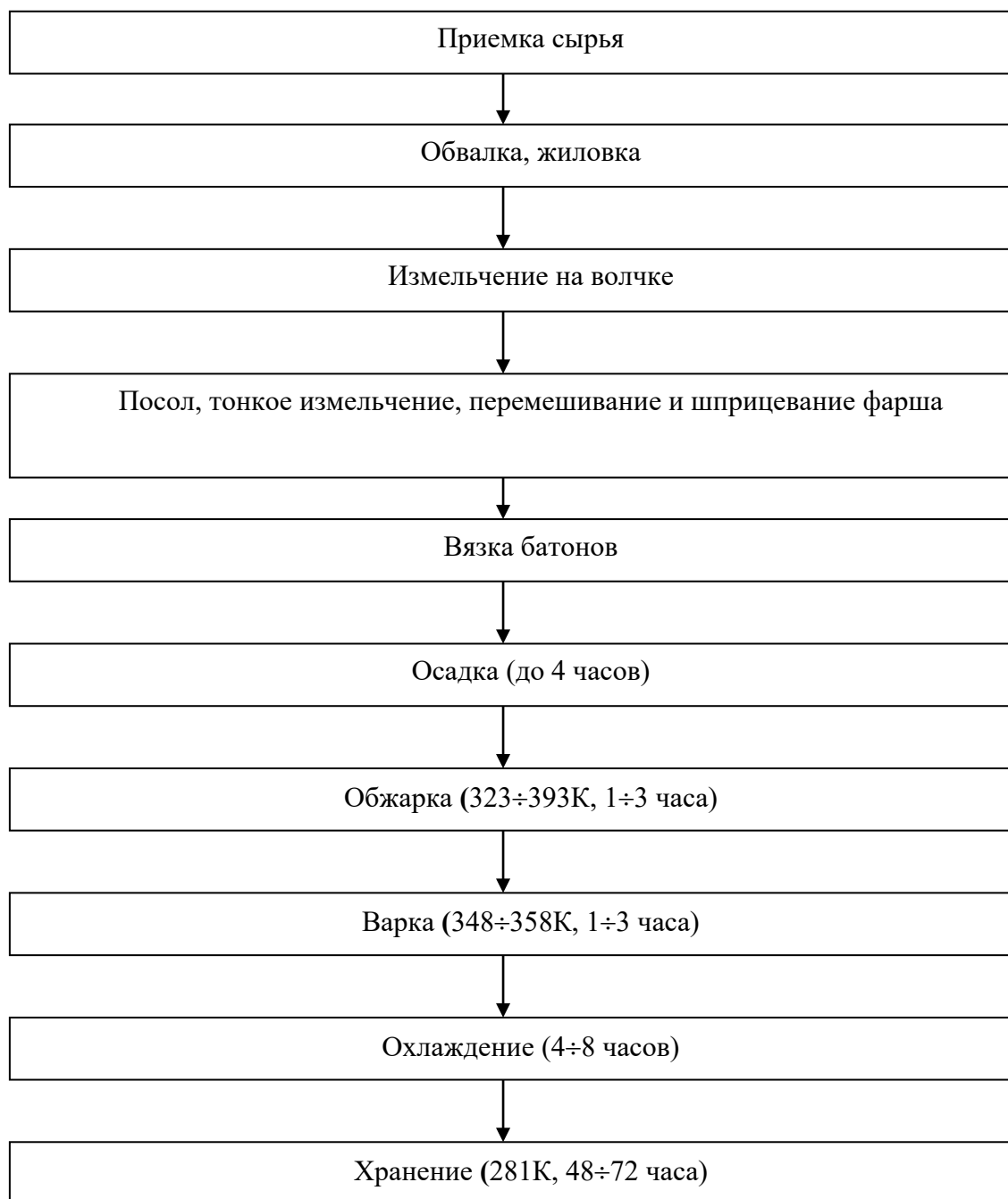


Рисунок 5.2 -Технологическая схема производства вареных колбас.

5.3 Производственные испытания и внедрение результатов экспериментов

Экспериментальные исследования были выполнены в условиях научно-исследовательской лаборатории кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение» с использованием разработанного режущего устройства (решетки) экспериментального волчка. По разработанным режимам с использованием волчка в этих лабораториях с 26 марта по 5 апреля 2019 г. были

изготовлены опытные партии в количестве 10 кг.говяжьего фарша, 10 кг. бараньего фарша, 10 кг. свиного фарша, 10 кг. фарша из конины и 10 кг. куриного фарша.

Производственные испытания, обуславливающие увеличение и стабилизацию выходов, снижение брака при наилучших показателях готовой продукции, были проведены в условиях колбасного цеха ИП «Альтеев» города Семей и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности». По разработанным режимам с использованием экспериментального волчка-дробилки на ИП «Альтеев» с 15 по 19 апреля 2019 г. были изготовлены вареные колбасы «Докторская» и «Мусульманская», сосиски «Молочные», сардельки «Говяжьи» в общем объеме 300 кг. Экономический эффект при выработке этих партий колбас составил: для вареных колбас «Докторская» и «Мусульманская» – соответственно 3787 и 4165 тенге, для сосисок «Молочных» и сарделек «Говяжьих» – соответственно 3755 и 3520 тенге за 100 кг продукции. При выработке колбасных изделий по предложенной операторной схеме механической обработки мясного сырья их выход стабилизировался.

Результаты исследований опубликованы в работах [95-100], которые могут быть использованы в учебном процессе в качестве дополнительной литературы для студентов, магистрантов и докторантов специальности «Технологические машины и оборудование». Разработан ряд устройств, позволяющих интенсифицировать процесс производства колбасных изделий, в том числе режущее устройство (решетка) экспериментального волчка, на который получен патент на полезную модель. Использование разработанной решетки позволило повысить качество измельчения мясного сырья и ее долговечность. Разработанное режущее устройство (решетка) прошёл производственные испытания на ИП «Альтеев» и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности». Эти испытания показали пригодность данного устройства для использования в производственных условиях. В настоящее время он широко используется в учебных и научных целях при исследованиях в лабораториях кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение» в НАО «Университет имени Шакарима города Семей».

5.4 Технико-экономическое обоснование разработки режущего механизма волчка

В экономическом обосновании выявили положительные и отрицательные качества существующих однотипных машин для измельчения мяса. Всесторонне учли новейшие научно-технические достижения в области конструирования, технологии изготовления, применения прогрессивных материалов и т.д. Чтобы проектируемое режущее устройство (решетка) имело по сравнению с существующим, технические и экономические преимущества (таблица 5.1). Для сравнения использовали существующую традиционную

решетку и разработанную решетку с переменными диаметрами отверстий.

Таблица 5.1 - Сравнительная характеристика существующей и разработанной решетки.

Показатели	Оборудование	
	Существующее	Разрабатываемое
Производительность волчка, т/час	0,5	0,6
Масса решетки, кг	2,3	2,3
Удельная материалоемкость решетки, тенге/кг	4,60	3,83
Трудоемкость изготовления маш., чел-час.	7	7
Количество обслуживающих рабочих, чел.	1	1
Выработка продукции на одного рабочего в смену, т/см	1,75	4,2
Стоимость решетки, тенге	31000	35000
Установленная мощность, кВт	7,5	7,5
Занимаемая производственная площадь, м ²	1,2	1,2

Особое внимание было уделено уменьшению размеров и снижению материалоемкости разрабатываемой решетки. Снижение размеров и массы решетки во многом способствовало уменьшению себестоимости ее изготовления. Экономия металла, способствуя удешевлению решетки, позволяет экономить средства на капитальные затраты в отраслях промышленности, применяющих волчки.

Затем анализировали трудоемкость изготовления существующих решеток. Для этого вначале сравнивали затраты труда в человек-часах на изготовление решетки, а затем в расчете на единицу производительности решетки. Далее определяли: долю затрат труда на изготовление решетки в общей трудоемкости; структуру трудоемкости изготовления решетки по видам работ.

Характеристика эксплуатационных качеств ножевого механизма укомплектованного предлагаемой решеткой проводилась по следующим показателям: эксплуатационные расходы на единицу продукции; выход продукции из единицы сырья или расход сырья на единицу продукции; съем продукции с 1 м² площади; уровень производительности труда рабочих, обслуживающих машины; качество продукции; коэффициент машинного времени работы машин за смену; удельные нормы расхода разных видов энергии

на единицу продукции и др. Определяли оптимальные эксплуатационные показатели решетки в сравнении с другими существующими однотипными образцами.

В заключение технико-экономического обоснования, используя данные характеристик существующих режущих устройств для измельчения мяса и результаты расчетов, составили сводную таблицу 5.2. При этом установили как положительные, так и отрицательные показатели существующих решеток.

Таблица 5.2 - Основные технико-экономические показатели существующей и разработанной решетки.

Показатели	Оборудование	
	Существующее	Разрабатываемое
Производительность, т/час	0,5	0,6
Капитальные затраты всего, млн. тенге	0,073	0,079
Удельные капитальные затраты, тенге	83,886	75,238
Удельная материалоемкость, т	4,60	3,83
Себестоимость единицы продукции, тенге	1131,305	964,114
Трудоемкость единицы продукции, чел.-час./т	2,000	1,667
Годовая экономия от снижения себестоимости, тыс. тенге	-	175,550
Срок окупаемости кап.затрат, лет	-	0,225
Съем продукции с 1м ² площади за смену, т	4,0	4,8
Годовой экономический эффект, тыс. тенге	-	177,366

Мероприятия, проведенные по достижению требуемых технико-экономических показателей разрабатываемого режущего устройства:

- а) снижен вес и стоимость решетки за счет изменения ее конструкции.
- б) сокращены текущие затраты на изготовление продукции за счет уменьшения потерь сырья, снижения энергетических расходов и расходов по заработной плате.

Выводы по главе 5

1. Разработана инженерная методика технологического расчета волчков.

2. Разработана операторная схема механической обработки мясного сырья и технологическая схема производства вареных колбас.
3. Проведены лабораторные и производственные испытания разработанного режущего устройства (решетки) экспериментального волчка в ИП «Альтеев» города Семей и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».
4. Проведено технико-экономическое обоснование разработки режущего механизма волчка, в результате которого установлена эффективность использования разработанного устройства (решетки). Годовой экономический эффект при выработке продукции на разработанном режущем устройстве составил 177366 тнг., срок окупаемости – 0,2 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткие выводы по результатам диссертационной работы:

1. Анализ процесса измельчения мясного сырья и конструкций машин для осуществления этого процесса позволил выявить имеющиеся резервы для совершенствования данного процесса путем разработки режущего устройства - решетки с переменным диаметром отверстий.

2. Разработанные реологическая механическая модель и реологическое уравнение показывают, что поведение фарша при измельчении описывается моделью с элементом, отражающим потерю прочности фарша при резании. При измельчении давление через нож передается фаршу, который измельчается при напряжении, превышающем предельное напряжение резания.

3. Проведено исследование закономерностей поведения объекта в условиях измельчения и описано ее математическая модель.

4. Полученные экспериментальные данные подтверждают, что процесс измельчения мясного сырья можно совершенствовать путем разработки режущего механизма, имеющего в своем составе решетку с переменными диаметрами отверстий с увеличением их от периферии к центру.

5. Разработана инженерная методика технологического расчета волчка дополненная определением пропускной способности решетки на основе уравнения Хагена-Пуазейля, операторной схемы процесса механической обработки мясного сырья.

6. Разработана техническая документация, принципиально новая конструкция решетки, новизна которой подтверждена патентом на полезную модель РК № 2484 и изготовлен и внедрен образец решетки предлагаемой конструкции в ИП «Альтеев» и в Семейском филиале ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности».

Поставленные задачи решены. Решены вопросы совершенствования процесса измельчения за счет разработки режущего устройства (решетки) с переменным диаметром отверстий.

Предлагаемые аналитические выражение описывающие параметры процесса измельчения мясного фарша вносят дополнения в инженерную методику технологического расчета волчков.

Годовой экономический эффект от предлагаемых конструктивных решений режущего механизма волчка – решетки, составляет 177366 тенге и срок окупаемости 0,2 года.

Внесенные изменения в конструкцию режущего механизма волчка способствует совершенствованию процесса измельчения мясного фарша. Благодаря чему, сохраняется качество фарша и улучшаются технико-экономические показатели производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Назарбаев Н.А. Рост благосостояния казахстанцев: повышение доходов и качества жизни. Послание Президента Республики Казахстан народу Казахстана, 05.10.2018.
2. Сидоряк А.Н. Совершенствование процесса измельчения мяса. Диссертация на соискание к.т.н. Москва – 2007 г. с. 142-154
3. Мустафаева А.К., Кабулов Б.Б., Бакиева А.Б., Ташыбаева М.М., Жаппаров П.А. Анализ оборудования для измельчения мясокостного сырья. Сборник материалов XX международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств». - Барнаул, АлтГТУ, 14.03.2019. – с. 244-246.
4. Чижикова Т.В. Машины для измельчения мяса и мясных продуктов. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. - 302 с.
5. Жайлаубаев Д.Т. Процессы и аппараты перерабатывающих производств. Семипалатинский государственный университет имени Шакарима, Семипалатинск. 2006. – том 1. с.213
6. Шувалов В.Н., Харламов С.В. Расчет и конструирование торгово-технологического оборудования. Учебное пособие для вузов, обучающихся по специальности «Машины и аппараты пищевых производств» Л. И. Гордон, Т. А. Корнюшко, И. И. Лангенбах и др.;– Машиностроение, Ленингр. отд., 1985. – 335 с., ил.
7. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. - М.: Пищпромиздат, 1963. - 685 с
8. Ивашов В.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Часть 1. Оборудование для убоя и первичной обработки. – М.: «Колос» 2001. – 552 с.: ил. – (Учебники и учеб.пособия для студентов высших учебных заведений).
9. Пелеев А.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. – М.: Пищевая промышленность, 1971. – 519 с.
10. Ребиндер П.А. Физико-химическая механика. Изд-во Знание, 1958.
11. Кузнецов В.Д. Поверхностная энергия твердых тел. – М.: Гостехиздат, 1954.
12. Ивашов В. И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности: учеб. / В. И. Ивашов. — СПб. : ГИОРД, 2010. — 736 с. : ил. ISBN 978-5-98879-103-4
13. White, Tames, Lindsay. Rheological and energetic considerations of the fluid dynamic and scale-up of internal mixer.- Polymer Engineering and Science, 1979, №11.-P. 818-823.
14. Strange E.D., Whiting R.C. Effect of temperature on collagen extractability and Kramer Shear force of restructured beef// J.FOOD Sci. 1988.V53.№4.-P. 1224-1225,1233.
15. Eves A., Kilcast D. Assessing food texture // Food process. (Cr. Brit). 1988., V. 57. №1. –P.23-24.

16. Namarui D.D. Rheology as a means of evaluating muscle functionality of processed foods // *Food Technol.*, 1988, V. 42, №6. –Р. 66-67.
17. Дорохов В.П., Косой В.Д., Рыжов С.А., Какимов А.К., Кабулов Б.Б., Азарова Н.Г. Механическая обработка мясного и мясокостного сырья. – Москва: ДеЛи плюс, 2011 г. с. 470.
18. McCormick R. Analytical development target food structure and tezture// *Prep. Food.* 1988.V. 157.№5.-р. 235-236.
19. Акимов М.М. Исследование динамических характеристик мясокостного сырья с целью совершенствования процесса его измельчения. Автореферат диссертации ... канд. техн. наук. – Семипалатинск, 1995. – 134с
20. Мачихин Ю.А. Реометрия пищевого сырья и продуктов. Справочник. М.: Агропромиздат, 1990. – 271 с.
21. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 383 с.
22. Мачихин Ю.А., Мачихин С.А. Инженерная реология пищевых материалов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 216 с.
23. Szczeniak S.D. Texture: is it still an over looked food attribute?// *Food techol.* – 1990. V. 44. №9. – Р. 264-266.
24. tomohikko М. Инструментальный метод исследования текстуры вязкопластичных пищевых продуктов / Кето дайгаку секуре кагаку кенкюдзе хококу // *Bull.Res.Inst.Food Sci., Kyoto Univ.* 1982.№52.-Р. 34-36.
25. Brennan J.G. (ed.). (2005). *Food Processing Handbook*, 608 pp. J. Wiley & Sons, Bognor Regis, West Sussex, UK, 2005.
26. Конников А.Г. Справочник по производству колбасных изделий и мясных полуфабрикатов. - Москва: Пищепромиздат, 1960. – 296 с.
27. <http://www.Seydelmann.com/ru/volchki/promyshennye-volchki> 05.16, 08.11.21.
28. Сыроватский Э.Ф. Волчок. Патент РФ №2082503, В02С18/30, А22С17/00. Оpubл. 20.07.1997.
29. Волчок. Патент США № 7461800, В02С18/36. Заявитель: WeilerandCo.,Inc. Авторы: LesarNickJ., AlbrechtChristopherE. № 11/551173, опубл. 09.12.2008.
30. Волчок. Патент РК №22118. Темиртасов Д.К., опубл. 15.01.2010.
31. Мясорубка-волчок. Патент РК № 24078. Темиртасов Д.К., Еренгалиев А., Тюменбаев Х.И., Темиртасов О.Т., опубл. 15.06.2011.
32. <http://www.orbitalfoods.com/Default.aspx?pid=9&catid=33> 9.25, 22.04.2019.
33. Машина тонкого измельчения мясного и мясорастительного сырья. Паспорт КазНИИКИММП. Республика Казахстан. г. Семипалатинск, 2000. 30 с.
34. Технологическое механическое оборудование мясной отрасли : учебное пособие / Д. В. Хрундин [и др.]; М-во образ. и науки России,

- Казан. нац. исслед. технол. ун-т. - Казань : Изд-во КНИТУ, 2016. - 120 с.
35. Пеленко В.В., Демченко В.А., Бобров С.В., Усманов И.И. Технологическое оборудование предприятий мясной промышленности. Мясорубки: Учеб.-метод. пособие. – СПб.: Университет ИТМО; 2018. – 138 с.
 36. Патент 203733 РФ, МПК В02С 18/36(2006.01), опубл. 27.10.2006.
 37. Патент 57639 РФ, МПК В02С 18/36(2006.01), опубл. 19.06.1995.
 38. Патент 198456 РФ, В02С 18/36(2006.01), опубл. 10.07.2020.
 39. Патент 135540 РФ, В02С 18/36(2006.01), опубл. 20.12.2013.
 40. Патент 156979 РФ, МПК В02С 18/36(2006.01), опубл. 20.11.2015.
 41. Патент 2368423 РФ, МПК В02С 18/30(2006.01), опубл. 27.09.2009.
 42. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Утегенов Д.М. Разработка нового режущего механизма волчка-дробилки. Материалы 20-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова «Актуальные вопросы устойчивых, потребитель-ориентированных технологий пищевой и перерабатывающей промышленности АПК». – М.: ВНИИМП им. В.М. Горбатова, 7-8.12.2017. – с. 18-19.
 43. Акимов М.М., Мустафаева А.К., Кундызбаев Д.К., Бекбаев К.С. Исследование качества измельчаемого сырья ножами различных конструкций. //Тезисы докл. международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию Омского государственного аграрного университета, «Перспективы производства продуктов питания нового поколения». - Омск, 2003. – С. 32-33.
 44. Belton P. (ed.). (2007). The Chemical Physics of Food, 264 pp. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
 45. Журавская Н.К., Алехина Л.Т., Отряшенкова Л.М. Исследование и контроль качества мяса и мясопродуктов. М.: Агропромиздат, 1985, - 296 с.
 46. Есимбеков Ж.С. Разработка технологии комбинированных мясных продуктов функционального назначения на основе мясного сырья. Диссертация на соискание ... PhD. – Семей: 2017 г., с. 148
 47. A. Kakimov, G. Bekesheva, M. Akimov, Ye. Kadyrbayev, R. Zalilov, Yu. Baykin, E. Cherkasova, A. Bakieva, Zh.Imangaliyeva. «Ultrafine grinding process calculation of meat-bone by-product». В журнале «International Journal of Engineering & Technology», страна ОАЭ, выпуск 7 (4.42), ноябрь 2018, 60-63
 48. Bhuyan M. (ed.). (2006). Measurement and Control in Food Processing, 340 pp. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2006

49. ГОСТ 9793-2016. Мясо и мясные продукты. Методы определения влаги. – Введ. 2018-01-01. – М.: Стандартиформ, 2018. – 6 с. 109
50. ГОСТ 33319-2015. Мясо и мясные продукты. Метод определения массовой доли влаги. – Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 6 с. 110
51. ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. – Введ. 2017-01-01. – М.: Стандартиформ, 2017. – 9 с. 111
52. ГОСТ 25011-2017. Мясо и мясные продукты. Методы определения белка. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартиформ, 2018. – 14 с.
53. Какимов А.К., Кабулов Б.Б., Ибрагимов Н.К., Есимбеков Ж.С. Способ определения водосвязывающей способности пищевых продуктов. Инновационный патент РК № 28152, опублик. 17.02.2014, бюл. № 2.
54. Бакиева А.Б., Акимов М.М., Лобасенко Б.А., Ибрагимов Н.К. Устройство для определения консистенции вязкопластичных материалов. Научный журнал Вестник Государственного университета имени Шакарима города Семей № 2(90)2020. – с. 173-175.
55. Патент 5123 РК, Рег. № 2020/0377.2, опублик. 03.07.2020.
56. Косой В.Д., Малышев А.Д., Юдина С.Б. Инженерная реология в производстве колбас. – М.: КолосС, 2005ю – 264 с.
57. Sun D-W. (ed.). (2005). Emerging Technologies for Food Processing, 792 pp. CRC Press, Boca Raton, FL, USA, 2005
58. В.В. Кафаров, В.Л. Перов, В.П. Мешалкин. Принципы математического моделирования химико-технологических систем (Введение в системотехнику химических производств). – М.: Химия, 1974. – 344 с.
59. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 2-е изд., 1971. – 496 с.
60. Кафаров В.В., Макаров В.В. Гибкие автоматизированные производственные системы в химической промышленности: Учебник для вузов. – М.: Химия, 1990. – 320 с.: ил.
61. Какимов А.К. Научные основы технологических процессов обработки комбинированных мясных продуктов с добавлением костного сырья. Диссертация на соискание ... докт. техн. наук. – Алматы: АТУ, 2007. – 286с.
62. Кафаров В.В. и др. Математические основы автоматизированного проектирования химических производств. Методология проектирования и теория разработки. – М.: Химия, 1979. – 320 с.
63. Кафаров В.В. Методы кибернетики в химии и химической технологии. – М.: Химия, 3-е изд., 1976. – 464 с.
64. Кафаров В.В., Дорохов И.Н. Системный анализ процессов химической технологии. Статистические методы идентификации процессов химической технологии. – М.: Химия, 1982. – 344 с.
65. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств: Учеб.пособие для вузов. – М.:

- Высш. шк., 1991. – 400 с.
66. Ивашкин Ю.А. Системный анализ в технологии переработки био сырья животного происхождения. - М.: научно-технический журнал «Мясная индустрия», № 4, 1987. – с. 40-43.
 67. Оспанов А.А., Остапчук Н.В. Основы теории и моделирования процессов измельчения пищевого сырья и кормов. – Алматы: Ғылым, 1992. – 224 с.
 68. Оспанов А.А. Совершенствование процессов измельчения пищевого и кормового сырья. Диссертация на соискание ...докт.техн. наук. – Алматы: 1992г., с. 14-18.
 69. Szczenaik S.D. Texture:is it still an over looked food attribute? // Food techol. - 1990. V. 44. №9. -P.264-266
 70. Tscheuschner H.D. Rheological properties and food technology / Proc. 4th Int. Conf. Phys. Properties Agr. Mater and Influence Technol. Process.Step.4-8.1989:4thICPPAM.V.2. Berlin,1989.-S. 848-852.
 71. Gupta N.K. Tscheuschner H.D. Moglichkeiten zur Gestaltung des Schneidprocesses fur die Herstellung von Schittrot aus ofenfrischem Brot. // Backer und Konditor, № 10, 1976, S. 300-302.
 72. Дарков В.П., Шапиро Г.С. Соппротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1989. – с. 625.
 73. Горбатов А.В. Реология мясных и молочных продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1979. – 384 с.
 74. Heath M.R., Lucas P.W. Oral perception of texture / Food Struct., its Treat and Eval.: proc. 44th Nottingham Easter School Agr.Sci., 1988. London etc, 1988. –P. 465-481.
 75. Какимов А.К., Тулеуов Е.Т., Кабулов Б.Б. К проблеме гидродинамики механической обработки колбасного фарша. Материалы межрегионального научно-практического семинара «Теория и практика новых технологий в производстве продуктов питания,» - Омск.: ОмИПП, 2005. – с. 52-54.
 76. Barjaktarevic-Dobran H. Review of methods for the determination of the longitudinal turbulent dispersion coefficient.// Гласник хемиског друштва, - Белград, 1980,№1-2. -79р.
 77. Кабулов Б.Б., Акимов М.М., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Утегенов Д.М. Новый подход в моделировании деформационного поведения пищевого сырья. Материалы 6-й Международной научно-технической конференции «Техника и технологии: пути инновационного развития». – Курск, 29-30.06.2017. – с. 50-53.
 78. Sacks M.S., Kronick P.L, Buechler P.R Contribution of intramuscular connrctive tissue to the viscoelastic properties of post-rigor bovine muscle // J. Food Sci.1988. V.53. №1.-P. 19-24.
 79. Autio L.K. Rheological measurement in the food industry/Kemi, 1990, V.17.
 80. Дьяконов В. Mathcad 2000: учебный курс – СПб: Питер, 2000. – 592 с.:

- ил.
81. Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Абдилова Г.Б., Жаппаров П.А. Моделирование реологического поведения мясного фарша в процессе измельчения. Научный журнал «Научный альманах». – Тамбов, 30.06.2017. – с. 185-188.
 82. Горбатов А.В. и др. Гидравлика и гидравлические машины для пластично-вязких мясных и молочных продуктов. – М.: Агропромиздат, 1991. – 176 с.: ил.
 83. Кабулов Б.Б. Интенсификация процессов комплексной механической обработки фарша. Диссертация на соискание ... канд. техн. наук. – Семей, 2005. – 142 с.
 84. Знаменский Н.Г. Гидравлические и тепловые процессы пищевых производств. – М.: Пищевая пром-сть, 1975. – 256 с.
 85. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Утегенов Д.М., Солтанбеков Ж.А. Устройство для измельчения мясного и мясокостного сырья. Патент РК на полезную модель № 2484, опубл. 30.11.2017, бюл. № 22.
 86. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б. Разработка установки для среднего и мелкого измельчения пищевого сырья. Материалы 3-й Международной научно-практической «Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров». – Курск, 06.04.2017. – с. 86-88.
 87. Buttкус Н., Tarr Н. Apparatus for measurny the energyinput in cutting fibers of fичmusсbe. Yournal Fичhereis Restarch Bjard of Canada? V 20, № 1, 1962 r.
 88. М.М. Акимов, А.К. Мустафаева, А.Г. Джилкишева, А.Б. Бакиева, Г.Б. Бекешова. Определение энергетических характеристик экспериментальной установки для тонкого измельчения. Материалы Международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы производства продуктов питания: состояния и перспективы развития», посвященной 75-летию член-корреспондента КазАСХН, доктора технических наук, профессора Е.Т. Тулеуова. – Семей, 24.11.2017. – с. 183-185.
 89. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Бакиева А.Б., Бидахметов Д.Т. Влияние плотности мясного сырья на расход энергии при измельчении. Материалы 21-ой Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова «Информационно-технологическое развитие пищевой промышленности – тенденции, стратегии, вызовы». – М.: ВНИИМП им. В.М. Горбатова, 6.12.2018. – с. 94-95.
 90. A. Bakieva, B. Kabulov, Zh. Imangalieva, E. Dick, S. Arslanbekova, L. Tukhvatulina, E. Murzina, G.Peshcherov, A. Ovsyannikova. Engineering methods of technological calculation of meat grinders. В журнале ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences HOMEP ISSN (II): 1819-

- 6608; Выпуск 14, Ноябрь 2019
91. Scott Smith, J., Hui, Y.H. (2004). Food Processing, 528 pp.. Wiley-Blackwell, Bognor Regis, West Sussex, UK.
 92. Мустафаева А.К., Кабулов Б.Б., Бакиева А.Б., Жаппаров П.А. Операторная схема процессов механической обработки мясного сырья. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции». - Краснодар, 8-19.04.2019. – с. 107 – 110.
 93. Kamoun M., Culioli J. Influence of ageing on the mechanical properties of bovine cooked meat // Sci. Mm. 1989. V. 9. №1.-P. 3-18.
 94. Koohmarail M., Seideman S.C., Schhoolmeyer J.E., Dutson T.K. Babiker A.S. Factors associated with the tenderness of three bovine muscles // J.Food Sci. 1988. V. 53. №2. –P. 407-410.
 95. A. Bakieva, M. Akimov, G. Abdilova, N. Ibragimov, G. Bekesheva «Developing new type of disk plate for meat chopper and its effect to water-binding capacity and yield stress of minced meat» Международный журнал механики и производства . Инженерные исследования и разработки (IJMPERD) HOMEP ISSN (П): 2249-6890; HOMEP ISSN (E): 2249-8001 Том. 9, Выпуск 6, Декабрь 2019, 377-390
 96. Б.Б.Кабулов, М.М. Акимов, А.К. Мустафаева, А.Б. Бакиева, М.М. Ташыбаева. Исследование химического состава мясокостного сырья. Материалы IV Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». – Воронеж, 9-10.11.2017. – с. 148-151.
 97. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Утегенов Д.М., Бидахметов Д.Т. Новое в технике для измельчения пищевого сырья. Аналитический обзор. - Семей, 2017. – 79 с.
 98. Бакиева А.Б., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Акимов М.М., Кадырбаев Е.А. Разработка инженерной методики технологического расчета волчков и волчков-дробилок. Сборник материалов V Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство». – Воронеж: ВГУИТ, 16.11.2018. – с. 164-168.
 99. Акимов М.М., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Ташыбаева М.М. Способ измельчения замороженного мясного сырья. Сборник материалов IX-ой Международной научно-технической конференции «Казахстан-холод 2019». – Алматы, 20-21.02.2019. – с. 87-89.
 100. Акимов М.М., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Бекешова Г.Б. Современное состояние реологии мясных и молочных продуктов. Монография. – Семей: ГУ им. Шакарима г. Семей, 2018. – 249 с.

Приложение А

Экспериментальная установка (волчок) и его составные части.



Приложение Б

Основной исполнительный орган волчка – измельчительное устройство, представляющее собой набор решёток и ножей.





Приложение В



Приложение Г
Экспериментальная установка (волчок) готовый к работе процесса
измельчения.





Приложение Д

Процесс измельчения мясного сырья на экспериментальной установке (волчок), на традиционной решетке и разработанной решетке.



Приложение Е



МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

УДОСТОВЕРЕНИЕ АВТОРА

№ 100190

Настоящим удостоверяется, что Бакиева Анара Баглановна (KZ)

и Акимов Мухамеджан Мансурович (KZ); Кабулов Болат Бейсенгалиевич (KZ); Мустафаева Аяулым Какеновна (KZ); Утегенов Дауренбек Муратпекович (KZ); Солтанбеков Жунус Айтмурзаевич (KZ)

является(ются) автором(ами) полезной модели

(11) 2484

(54) *Ножевое устройство для измельчения мясного и мясокостного сырья*

(73) *Патентообладатель: Акимов Мухамеджан Мансурович (KZ)*

(21) 2016/0630.2

(22) 22.11.2016

Заместитель министра юстиции
Республики Казахстан

Э. Азимова

Приложение Ж

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ **РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН**

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 5123

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2020/0377.2



(22) 16.04.2020



(45) 03.07.2020

(54) Тамақ өнімдерінің консистенциясын анықтауға арналған құрылғы
Устройство для определения консистенции пищевых продуктов
Device for determination of food consistency

(73) Акимов Мухамеджан Мансурович (KZ); Бакиева Анара Баглановна (KZ)
Akimov Mukhamedzhan Mansurovich (KZ); Bakiyeva Anara Baglanovna (KZ)

(72) Акимов Мухамеджан Мансурович (KZ) Akimov Mukhamedzhan Mansurovich (KZ)
Бакиева Анара Баглановна (KZ) Bakiyeva Anara Baglanovna (KZ)
Лобасенко Борис Анатольевич (RU) Lobasenko Boris Anatolyevich (RU)
Ибрагимов Надир Кадырович (KZ) Ibragimov Nadir Kadyrovich (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Е. Қуантыров
Е. Қуантыров
Y. Kuantyrov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директоры
Директор РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Director of the «National Institute of Intellectual Property» RSE

Приложение 3



«УТВЕРЖДАЮ»
Директор ИП «Альтеев»
Б.Р. Альтеев
« 19/ » 04 2019 г.

АКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Комиссия в составе: директор ИП «Альтеев» - Альтеев Б.Р.; гл.технолог ИП «Альтеев» - Абенев К.М.; зав. кафедрой «Технологическое оборудование и машиностроение» - PhD, Тохтаров Ж.Х.; профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н., доцент – Акимов М.М.; профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н., доцент - Кабулов Б.Б.; и.о. ассоциированного профессора кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н. – Ибрагимов Н.К.; докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение» - Бакиева А.Б., составили настоящий акт о том, что в ИП «Альтеев» было проведено производственное апробирование, внедрение новой конструкции режущего механизма волчка. Апробация была проведена с 15 по 19 апреля 2019 года.

Режущий механизм волчка состоит из неподвижных решеток и вращающихся ножей. Неподвижные ножевые решетки выполнены в виде дисков с круглыми отверстиями и являются парными режущими деталями с вращающимися ножами.

Разработанная конструкция режущего механизма содержит неподвижную приемную, промежуточную, выходную решетку и крестовидный нож.

Предлагаемая конструкция режущего механизма позволяет получить монодисперсный измельченный продукт за счет того, что выходная решетка имеет отверстия с переменным диаметром, увеличивающимся от периферии к центру.

Комиссия отметила, что использование разработанного механизма позволяет повысить его производительность, улучшить однородность измельченного сырья, сохранить качество измельченного сырья, снизить энергозатраты. Апробация показала пригодность данного устройства для использования в производственных условиях.

Главный технолог ИП «Альтеев»

Абенев К.М.

Зав. кафедрой «Технологическое оборудование и машиностроение»,
PhD

Тохтаров Ж.Х.

Профессор кафедры
«Технологическое оборудование и
машиностроение», к.т.н., доцент



Акимов М.М.

Профессор кафедры
«Технологическое оборудование и
машиностроение», к.т.н., доцент



Кабулов Б.Б.

И.о. ассоциированного профессора
кафедры «Технологическое
оборудование и машиностроение»,
к.т.н.



Ибрагимов Н.

Докторант кафедры
«Технологическое оборудование и
машиностроение»



Бакиева А.Б.

Приложение И

«Утверждаю»

Директор Семейского филиала
ТОО «Казахский научно-
исследовательский институт
перерабатывающей и пищевой
промышленности»

А.К. Суйчинов

2021 г.



АКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ АПРОБАЦИИ

Комиссия в составе: Директор Семейского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности», PhD А.К. Суйчинов; главный инженер ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» - Д.О. Кунанбаев; заведующая лабораторией «Технология мяса и мясной продукции», к.б.н., Семейского филиала ТОО «Казахский научно-исследовательский институт перерабатывающей и пищевой промышленности» - Г.Е. Сыдыкова; Декан факультета дальнейшего образования ГУ имени Шакарима города Семей, д.т.н., профессор – А.К. Какимов; заведующий кафедрой «Технологическое оборудование и машиностроение», PhD Ж.Х. Тохтаров; и.о. ассоциированного профессора кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», к.т.н. – Н.К. Ибрагимов; соискатель PhD доктора специальности 6D072400 – «Технологические машины и оборудование» - А.Б. Бакиева, составили настоящий акт о том, что в результате проведения научно-исследовательской работы на тему «Разработка конструкции режущего механизма волчка с целью совершенствования режимов измельчения пищевого сырья» на базе лаборатории СФ ТОО «КазНИИППП» проведена производственная апробация конструкции режущего механизма – решетки для измельчения мясного сырья.

Производственная апробация конструкции режущего механизма – решетки для измельчения мясного сырья проведённая 04.03.2021 года, показало целесообразность применение решетки волчка для измельчения мясного сырья. По физико-химическим показателям измельченное мясное сырье соответствует требованиям нормативных документов.

Сравнительные технические показатели решеток внесены в таблицу 1.

Таблица 1. - Сравнительные технические показатели решеток

Показатели	Оборудование	
	Существующее	Разрабатываемое
Производительность волчка, т/час	0,5	0,6
Масса решетки, кг	2,3	2,3
Удельная материалоемкость решетки, тенге/кг	4,60	3,83
Грудоемкость изготовления маш.,чел-час.	7	7
Количество обслуживающих рабочих, чел.	1	1
Выработка продукции на одного рабочего в смену, т/см	1,75	4,2
Стоимость решетки, тенге	31000	35000
Установленная мощность, кВт	7,5	7,5
Занимаемая производственная площадь, м ²	1,2	1,2

По результатам апробации комиссия отмечает, что данная решетка может быть рекомендована для применения в качестве режущего механизма - решетки волчка для измельчения мясного сырья в производственных условиях на предприятиях пищевой промышленности.

Режущий механизм – решетка волчка не требует больших капитальных вложений.

Главный инженер СФ ТОО
«КазНИИППП»



Кунанбаев Д.О.

Заведующая лабораторией
«Технология мяса и мясной
продукции», к.б.н., СФ ТОО
«КазНИИППП»



Сыдыкова Г.Е.

Декан ФДО ГУ им. Шакарима
г. Семей, д.т.н.
профессор



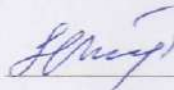
Какимов А.К.

Зав. кафедрой
«Технологическое
оборудование и
Машиностроение», PhD



Тохтаров Ж.Х.

И.о. ассоциированного
профессора кафедры
«Технологическое
оборудование и
машиностроение», к.т.н.



Ибрагимов Н.К.

Соискатель PhD доктора
специальности 6D072400 –
«Технологические машины и
оборудование»



Бакиева А.Б.