

582

Московский государственный университет  
прикладной биотехнологии

*На правах рукописи*

*Абрамов Алексей Николаевич*

**РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ И ЭКСПРЕСС-МЕТОДА  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА ФАРША И КОЛБАСНЫХ ИЗДЕЛИЙ  
ПО СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ.**

*Специальность 05.18.12. - Процессы и аппараты пищевых производств*

**Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Москва-1997

к

проф. э.т.н. Болотову В.П.

Работа выполнена на кафедре "Гидравлика, сантехника и промстроительство"  
Московского государственного университета прикладной биотехнологии  
(МГУПБ)

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор Косой В.Д.

Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор Мачихин С.А.

- кандидат технических наук, ст. н. с. Проселков В.Г.

Ведущее предприятие - ОАО "МИКОМС"

Защита состоится "23.09" 1997г. в 11.ч. на заседании диссертационного совета К 063.46.01 Московского государственного университета прикладной биотехнологии по адресу: 109316, г.Москва, ул. Талалихина, 33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГУПБ.

Автореферат

Ученый секретарь  
совета к.т.н.

Г.

## Общая характеристика работы

### Актуальность проблемы.

Одной из важных задач в условиях рыночных отношений и конкуренции между производителями является улучшение и стабилизация качества, оптимизация выхода мясoproдуктов при более полном и рациональном использовании сырья. Ускорение научно-технического прогресса производства неотделимо от решительного улучшения качества продукции. Несоответствие ее современным технико-экономическим и потребительским требованиям, а порой и явный брак, является расхищением материальных ресурсов и растратой труда рабочих. Поэтому всемерное повышение качества продукции должно быть в основе экономической политики страны.

Качество мясной продукции и наиболее полный выход зависят не только от сырья, но и от соблюдения рациональных режимов обработки на каждом технологическом процессе (созревание, измельчение, перемешивание, шприцевание, термообработка). Применяемые в настоящее время методы поэтапного контроля при оценке готовности продукта - органолептический и среднестатистический - не всегда могут быть признаны удовлетворительными, так как зависят от субъективных факторов, а лабораторный биохимический анализ занимает много времени. Поэтому наряду с органолептическим методом контроля необходимо, особенно в спорных вопросах, использовать инструментальные методы экспресс-контроля. При поэтапном контроле качества сырья, фарша и готовых изделий по структурно-механическим характеристикам (СМХ) перспективен инструментальный пенетрационный метод экспресс-контроля.

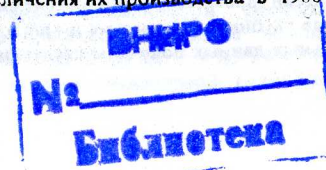
Анализ отечественной и зарубежной литературы дает основание считать, что несмотря на возможность широкого выбора конструкции реологических приборов и перспективность их использования для контроля качества мясного сырья, фарша и готовых изделий необходимы современные лабораторные и производственные электронные приборы с цифровой индикацией показаний, а также автоматические системы и устройства для регулирования консистенции фарша в процессе его приготовления.

С целью широкого их использования в мясной промышленности необходим Государственный стандарт Российской Федерации на метод по определению пенетрации мясoproдуктов для оценки характеристики - консистенции.

Исследование качества фарша и колбасных изделий по СМХ посвящено много работ ряда авторов: Большакова А.С., Горбатова А.В., Журавской Н.К., Косого В.Д., Лимонова Г.Е., Рогова И.А., Соколова А.А., Спирина Е.Т., Хлебникова В.И., Федорова Н.Е., Мозенина Н.Н., Чойшнера Х.Д., Хамма Р. и других.

Учитывая изложенное, представляется актуальным разработка принципиально новых устройств для контроля качества фарша и колбасных изделий по их СМХ, проведение реометрических исследований и разработка ГОСТа на этот метод.

Работа проводилась по "Программе создания новых видов машин, приборов и оборудования для перерабатывающих отраслей Агрпромышленного комплекса и увеличения их производства в 1988-1995годах", утвержденной СМ СССР 16.07.1990 г.



1-314

### Цель и задачи исследования.

Целью является создание технических устройств (приборов) для оценки и регулировки качественной характеристики (консистенции) фарша и колбасных изделий по их структурно-механическим характеристикам и разработка Гостированного метода по их определению.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- разработка технического задания и создание прибора для оценки консистенции вязко-пластических и упруго-эластичных мясopодуKтов методом пенетрации, апробация их в производственных условиях;
- определение и анализ СМХ фарша и готовых традиционных видов вареных, полукопченых и варено-копченых колбасных изделий на различных реологических приборах;
- анализ инвариантности показаний СМХ фарша и колбасных изделий, полученных на различных реологических приборах;
- обоснование выбора типа прибора для использования его в промышленности;
- определение рациональных динамических, геометрических и временных параметров выбранного прибора и вида индентора;
- разработка методики определения консистенции фарша и готовых колбасных изделий методом пенетрации;
- определение точности метода пенетрации для мясopодуKтов;
- разработка и утверждение ГОСТа на методы определения пенетрации мясopодуKтов конусом и игольчатым индентором;
- рассмотрение способов регулирования консистенции фарша в процессе куттерования по СМХ и получение их алгоритмов.

### Научная новизна.

На базе проведенных реометрических исследований:

- разработан ГОСТ Р 50814-95 по определению СМХ вязко-пластических и упруго-эластичных, как однородных, так и неоднородных комбинированных мясных продуктов, используя метод пенетрации;
- определены рациональные условия проведения эксперимента:
  - для фарша бесшпиковых и шпиковых колбас (конический индентор с углом при вершине 60° и подвижной массой 0,095 кг) и готовых изделий из него (конус с углом 10° или четырехигольчатый индентор и подвижной массой 0,2857 или 0,38кг);
  - для фарша шпиковых вареных, полукопченых и сырокопченых колбас, и готовых изделий из него, с целью уменьшения погрешности замера, рекомендуется дополнительно измельчать на мясорубке с диаметром отверстий решетки 2мм, при этом измельченная масса плотно уложенная в емкость перед проведением замера, должна подпрессовываться при давлении  $4 \times 10^3$  Па в течении 180с, что уменьшает погрешность замера СМХ с 10% до 5% от среднего значения;
- установлено, что при использовании конусов с гладкой или рифленой поверхностью определяемая величина предельного напряжения сдвига (ПНС) лежит в пределах ошибки эксперимента;
- разработан метод определения ПНС продукта, ускоряющий замер в 36 раз по сравнению с существующим методом, за счет получения соотношения величин при 5с ( $h_n$ ) и при 180 с ( $h$ ), когда практически достигается равновесие системы, т.е. определяется практически максимальная глубина погружения ( $\epsilon = h/h_n$ ). На основе статической обработки экспериментальных данных получены следующие соотно-

шения  $\epsilon$ : для фарша бесшпиковых колбас - 1,33, для фарша шпиковых колбас - 1,3, для готовых колбасных изделий - 1,15;

- предложены следующие рекомендации определения ПНС по формуле Ребиндера П.А. для фарша твердых колбас с влажностью более 50% использовать для расчета константы конуса с углом при вершине ( $2\alpha$ ) в пределах от 10° до 90° общезвестную формулу Агранат Н.Н. и Воларовича М.П., а с углом от 30° до 90° упрощенную зависимость Косоого В.Д., Карпычева В.А. и других; при определении ПНС фарша готовой колбасы измельченной на мясорубке с влажностью менее 50% следует применять для расчета константы конуса ( $2\alpha = 10^\circ + 60^\circ$ ) формулу Агранат Н.Н. и Воларовича М.П. с поправкой Арета В.А., что обеспечивает получение практически одинаковых результатов;
- получен алгоритм регулировки консистенции фарша в процессе куттерования;
- определены рациональные технологические и реологические параметры для 4-х видов фарша и колбас.

### Практическая ценность.

На базе проведенных экспериментальных исследований и их статистической обработки:

- усовершенствованы и широко используются в научных исследованиях МГУПБ и ряда других учебных и научно-исследовательских институтов методы изучения СМХ мясных, молочных и рыбных продуктов с помощью разработанного прибора (устройства);
- разработано техническое задание, рабочая документация и изготовлены опытные и промышленные образцы двух устройств для исследования структурно-механических свойств вязко-пластичных продуктов:

а) совместно со специальным конструкторским бюро по проектированию приборов и средств автоматизации, на которое получено авторское свидетельство №1479874 (приоритет изобретения 24.03.87г.), зарегистрировано в Государственном реестре изобретений СССР 15.01.89 (пенетрометр ПМДП-1);

б) совместно с Исследовательским центром имени М.В.Келдыша, на которое получен патент №2075751 (пенетрометр переносной малогабаритный ППМ-4);  
- опытные образцы пенетрометров ПМДП-1 прошли межведомственные испытания (ЗЕ2.842.002ПМИ);

- Исследовательский центр имени М.В.Келдыша приступил к мелкосерийному производству пенетрометров ППМ-4 и модернизированных ПМДП-1;
- для оценки качественной характеристики - консистенции фарша и готовых изделий из него методом пенетрации разработан ГОСТ Р 50814-95 "МясopодуKты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором", который принят и введен в действие Постановлением Госстандарта России от 6 сентября 1995 г. №462.

### Апробация работы.

Основные положения и результаты работы доложены на 3 ВНТК "Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания" (Москва, 1988), на 3 ВНТК и 4 ВНТК "Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совер-

шенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств" (Москва, 1990, 1994 гг.), на Международной научно-технической конференции "Пища, экология, человек" (Россия - Москва, 1995г.).

Пенетрометры были представлены на выставках "Конверсия-91", "Конверсия-93", "Конверсия-94" в 1993 и 1994 годах в Московском Государственном университете прикладной биотехнологии - "Перспективные процессы в перерабатывающих отраслях АПК", "Технические вузы Москвы - городу" в 1994 году.

Потенциальными потребителями пенетрометров могут быть предприятия Агропромышленного комплекса, фермерские хозяйства, учебные и научно-исследовательские лаборатории и институты.

#### Публикации.

Опубликовано 18 печатных работ, включая авторское свидетельство и патент.

#### Объем работы.

Работа состоит из введения, четырех глав, общих выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 179 страницах машинописного текста, включает 15 таблиц, 27 рисунков, 6 приложений на 24 страницах и список отечественной и зарубежной литературы содержащий 154 источника.

#### Содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранного направления темы, определены цель и задачи исследований.

Первая глава посвящена изучению факторов и процессов, влияющих на изменение консистенции мясopодуKтов, существующие подходы и способы регулирования. Рассматриваются вопросы, связанные с корреляцией и идентификацией СМХ колбасных изделий с качественной характеристикой их консистенции и способы ее регулирования с целью получения готового продукта с заданными СМХ. Систематизированы методы и приборы по определению реологических характеристик вязко-пластичных и упруго-эластичных материалов. Показана необходимость совместного использования инструментальных методов контроля качественной характеристики - консистенции с органолептической оценкой, что позволит более объективно контролировать, регулировать и стабилизировать качество готовых изделий. Рассмотрены современные отечественные и зарубежные приборы для объективной оценки консистенции продуктов и материалов по СМХ.

Рассмотрены труды отечественных и зарубежных ученых в области физико-химической механики пищевых дисперсных систем (Азаров Б.М., Арста В.А., Бакунца Г.В., Баранова В.С., Большакова А.С., Бражникова А.М., Бушковой Л.А., Виноградова Г.В., Воларовича М.П., Воловиной В.П., Горбатова А.В., Жаринова А.И., Журавской Н.К., Ивашов В.И., Крыловой Н.Н., Лимонова Г.Е., Липатова Н.Н., Маслова А.М., Мачихина С.А., Мачихина Ю.А., Мизирецкого Н.Н., Минасва А.И., Пелеева А.И., Рогова И.А., Соколова А.А., Солнцевой Г.Л., Спирина Е.Т., Федорова Н.Е., Хлебникова В.И., а также Дроке Б., Крата А., Мозенина Н.Н., Чойшнера Н.Н., Хламма Р. и других), которые свидетельствуют о сложной зависимости СМХ пищевых продуктов от технологических и физико-химических параметров.

В целом сведения, приведенные в первой главе и их анализ позволили обосновать и сформулировать цель и задачи исследований, а также сформулиро-

вать технические требования к прибору для оценки качества мясopодуKтов по их консистенции, оцениваемой СМХ.

Во второй главе даны описания приборов и методика по определению реологических и технологических характеристик фарша и готовых колбас, используемых в работе, и краткая характеристика объектов исследования. Последовательность проведения экспериментов, соподчиненность и взаимосвязь этапов, методов, приборов и объектов исследования показаны на рис.1. Приведены результаты реологических исследований колбасных фаршей и готовых изделий из него на пенетрометре ПП-3М. Выявленные преимущества и недостатки применяемого прибора позволили составить техническое задание и тематическую карточку по форме ТК-1 на разработку и изготовление опытных образцов приборов. Специальным конструкторским бюро по проектированию приборов и средств автоматизации (СКБПроектприбор). На разработанное устройство - пенетрометр (рис.2) получено авторское свидетельство N1479874. Целью изобретения является повышение точности измерения путем использования непосредственного цифрового отсчета погружения индентора в исследуемый продукт.

Поставленная цель достигается тем, что в устройстве применена измерительная система, которая состоит из двух свободно вращающихся дисков, спаренных редуктором. На первом диске по концентрической окружности на одинаковом расстоянии друг от друга выполнены отверстия, при этом с одной стороны данного диска на одной линии с центрами отверстий установлены источники света, а с другой фоторезисторы. Второй диск оснащен двумя шкивами, на которых одними концами закреплены тонкие гибкие тросы, другими концами один из тросов связан с валом электродвигателя, а второй - со штоком индентора. Кроме того, устройство снабжено цифровым блоком. Блок состоит из триггеров, соединенных с фоторезисторами сумматора, который подключен к симметричным триггерам, и двух каналов индикации. Каждый канал индикации состоит из последовательно включенных логического элемента 2И-НЕ, счетчика - дешифратора и цифрового индикатора, электронного ключа, электрически связанного со штоком таймера. Электронный ключ подсоединен к логическому элементу и таймеру, два выхода последнего - к каналам индикации, а третий выход - к блоку управления электродвигателя.

В зависимости от заданной точности измерения устройство может иметь различную редукцию, а в измерительную систему может входить несколько комплектов источников света и фоторезисторов.

На рис.2 показано устройство, реализованное с редукцией 1:5 и двумя парами источников света и фоторезисторов.

Кроме того, использование в предлагаемом устройстве таймера, двух счетчиков - дешифраторов и логических элементов позволяет определить глубину погружения индентора в исследуемый продукт в динамике при различном заданном времени погружения для дальнейшей математической обработки и получении математической модели исследуемого продукта, а также построения градуировочной характеристики.

СКБПроектприбор изготовил 4 стандартных образца, на двух из которых были проведены межведомственные приемочные испытания.

Составленная программа межведомственных испытаний опытных образцов включала 4 основных раздела: рассмотрение технической документации, экспериментальные исследования опытных образцов пенетрометра, методика испытаний и оформление результатов испытаний.

Экспериментальные исследования опытных образцов пенетрометров включали 13 разделов, в том числе определение: основной погрешности, система-

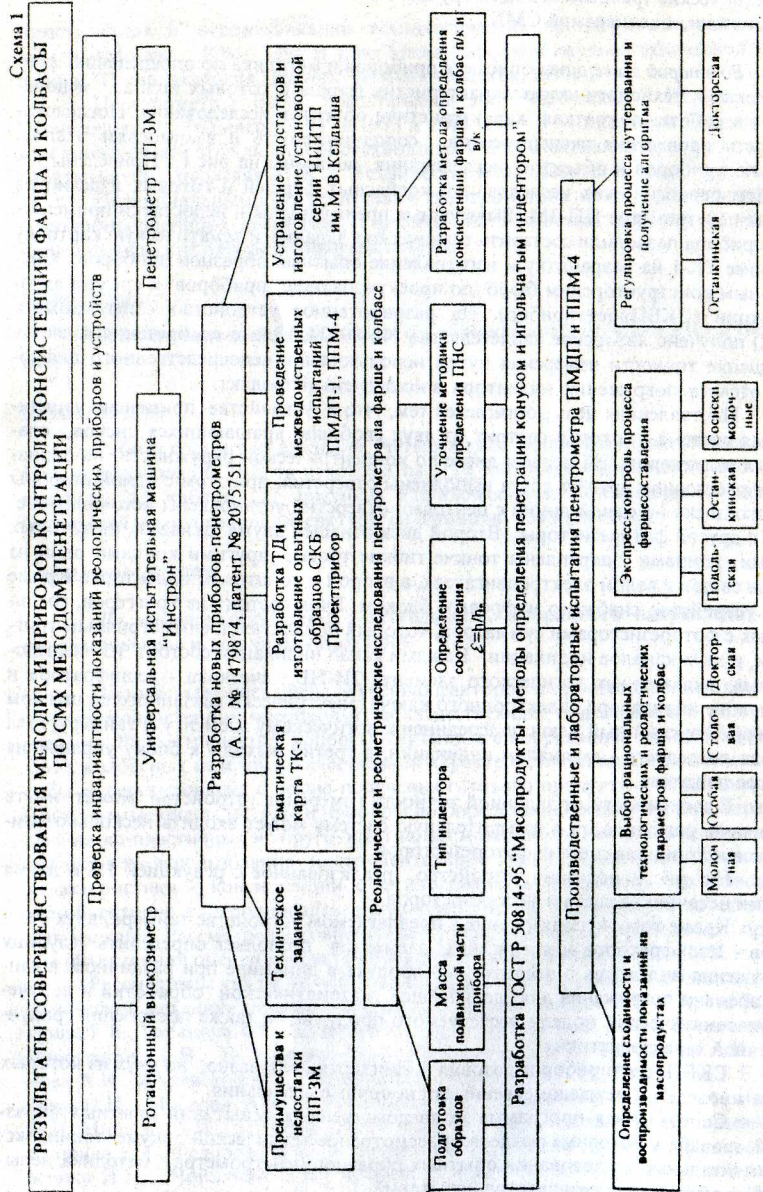


Рис.1. Схема проведения экспериментов, согласованности и взаимосвязи этапов, методов, приборов и объектов исследования.

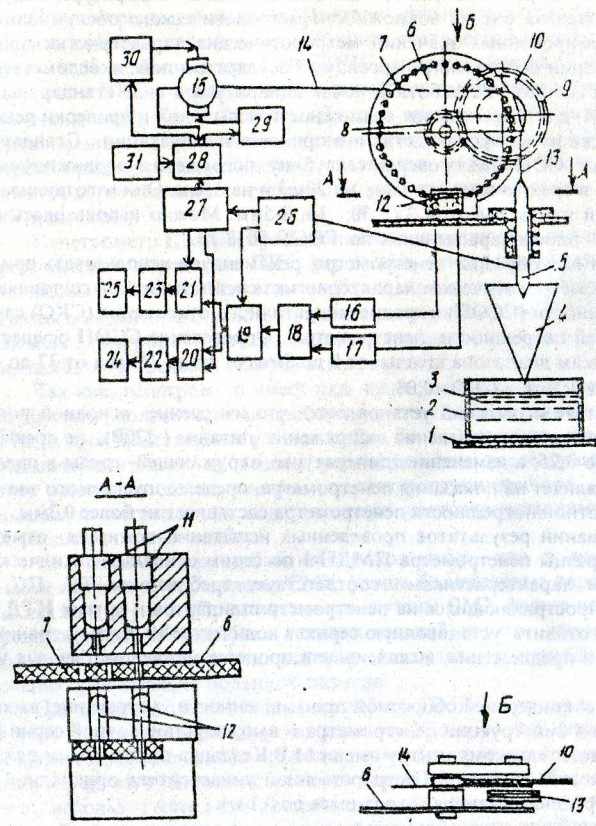


Рис.2. Принципиальная схема пенетровметра ПМПД-1 (АС № 1479874)

- 1 - предметный стол; 2 - емкость; 3 - продукт; 4 - индентор; 5 - шток;
- 6, 10 - диски; 7 - отверстия; 8, 9 - шестерни; 11 - источник света; 12 - фоторезисторы;
- 13, 14 - гибкие тросы; 15 - электродвигатель; 16, 17 - триггеры; 18 - сумматор;
- 19, 20, 21 - логические элементы; 22, 23 - счетчики-дешифраторы;
- 24, 25 - цифровые индикаторы; 26 - электронный ключ; 27 - таймер;
- 28 - блок управления; 29, 30 - электромагнитное реле; 31 - кнопка "пуск".

тической составляющей основной абсолютной погрешности, среднеквадратичного отклонения случайной составляющей основной погрешности, изменение погрешности пенетрометра от изменения питающей сети и температуры окружающей среды. Проведена оценка возможности метрологического обслуживания и обеспечения нормированных значений метрологических характеристик при выпуске и эксплуатации пенетрометра органами Государственной и ведомственных метрологических служб. Разработана новая аппаратура в виде стандартных образцов (СОП-ПМ) для обеспечения возможности испытаний и проверки пенетрометра при выпуске их из производства и в процессе эксплуатации. Стандартные образцы комплект СОП-ПМ проверяют глубину погружения подвижной головки пенетрометра в трех точках: на 5мм, на 20мм и на 35мм. Они изготавливаются из металлической плиты высотой 35, 30, 16, 3-5мм. Можно использовать меры длины концевые - плоскопараллельные по ГОСТ 9038-73.

Стандартные образцы пенетрометра рекомендуем использовать при проверке следующих метрологических характеристик: систематической составляющей основной погрешности (ССОП) и среднеквадратичного отклонения (СКО) случайной составляющей погрешности пенетрометра. Определения ССОП осуществлялось по трем точкам диапазона шкалы: от 0 до 8мм, от 16 до 24мм и от 32 до 40мм и не превышала  $\pm 0,2$ мм, а СКО - 0,08.

В результате испытаний установлено, что изменение основной погрешности пенетрометра от изменения напряжения питания (220В), не превышает значения равного 0,25, а изменение температуры окружающей среды в пределах от 5 до 40° С не влияет на показания пенетрометра, предел допускаемого значения основной абсолютной погрешности пенетрометра составляет не более 0,3мм.

На основании результатов проведенных испытаний комиссия отметила, что опытные образцы пенетрометра ПМДП-1 по своим основным техническим и метрологическим характеристикам соответствует требованиям ТУ, ПС, действующих и распространяющихся на пенетрометр стандартов и других НТД и рекомендовала изготовить установочную серию в количестве 10 штук, устранив при этом замечания и предложения, выявленные в процессе межведомственных испытаний.

В связи с конверсией оборотной промышленности, устранение выявленных недостатков в конструкции пенетрометра и выпуск установочной серии было поручено Исследовательскому центру имени М.В.Келдыша под научным руководством сотрудников Московской Государственной университетской прикладной биотехнологии. Погрешность замера сократилась до 0,1 мм.

Третья глава посвящена реологическим и реометрическим исследованиям пенетрации. Показана инвариантность показаний определяемых на различных приборах и перспективность использования пенетрометра ПМДП для определения сдвиговых структурно-механических характеристик для оценки консистенции колбасных фаршей и готовых изделий из него экспресс - методом. С этой целью были проведены исследования на одной пробе фарша по определению реологических характеристик на следующих приборах: ротационный вискозиметр, пенетрометр ПМДП и универсальная испытательная машина "Инстрон".

На ротационном вискозиметре были определены соответственно для не разрушенной и разрушенной структуры фарша следующие характеристики: статическое ( $\theta_0, \theta_0'$ ) и динамическое ( $\theta_{од}, \theta_{од}'$ ) напряжение сдвига и эффективная вязкость при различной скорости ( $w$ ) движения фарша ( $\eta_{эф} = V_w^{-m}$ ), где  $V$  - эффективная вязкость при единичном значении скорости,  $m$  - темп разрушения структуры. При этом необходимо отметить, что при определении ПНС для разрушен-

ной структуры ( $\theta_0'$ ) имелся значительный разброс экспериментальных данных, который достигал  $\pm 50\%$ . Помимо этого процесс снятия реограмм сравнительно длителен и трудоемок. Поэтому использование данного прибора для экспресс-оценки консистенции фарша является нерациональным. Кроме этого, его нельзя использовать для оценки консистенции готовых колбасных изделий.

На универсальной машине "Инстрон" сравнительно быстро и точно можно определить величину адгезионного давления, статического и динамического ПНС. При этом необходимо отметить, что ПНС, определенное на "Инстроне", хорошо коррелирует с ПНС, определенном на ротационном вискозиметре и пенетрометре с коническим индентором ( $2\alpha=60^\circ$ ). Данный прибор имеет ряд существенных достоинств, одним из них является возможность изучения СМХ в динамике. "Инстрон" предпочтительней использовать для научных исследований, так как он является дорогостоящим, требующим высокой квалификации специалистов по его обслуживанию.

Пенетрометр ПМДП, при использовании различных инденторов позволяет экспресс-методом определить ПНС фарша или пенетрационное напряжение готовых колбасных изделий. При этом необходимо отметить, что при использовании конического индентора с углом при вершине равным  $2\alpha=60^\circ$ , как на пенетрометре, так и на "Инстроне" и ротационном вискозиметре получают идентичные показания, лежащие в пределах ошибки эксперимента.

Так как, пенетрометр имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с другими реологическими приборами, то его можно рекомендовать к использованию в производственных условиях. Для более широкого его использования в промышленности нами проведены реометрические исследования, позволившие выявить рациональные параметры и характеристики прибора, обеспечивающие минимальную погрешность и достаточную достоверность измеряемых величин СМХ фарша и готовых колбас.

Из анализа литературных источников видно, что в настоящее время в основном изучены и определены СМХ фарша бесшпиковых вареных колбас и готовых изделий из него. Практически не изучены СМХ фарша полукопченых (п/к) и варенокопченых (в/к) колбас и готовых изделий из него, что можно объяснить сложностью данных объектов, которые являются неоднородными, имеющими включения сравнительно большого размера.

Для широкого использования прибора ПМДП в промышленности необходима уточненная методика для каждого конкретного объекта. Поэтому перед нами была поставлена задача провести реометрические исследования с целью разработки методики оценки консистенции фарша п/к и в/к колбас и готовых изделий из него, используя метод пенетрации, который включали: изучение влияния подготовки образца; определение массы подвижной части прибора; выбор типа индентора; выбор соотношения степени пенетрации при 5с и 180с.

Для изучения влияния способа подготовки образца на погрешность замера были проведены исследования как на образцах фарша п/к и в/к колбасы, так и готовых изделий из него с различной предварительной подготовкой.

При замере ПНС фарша использовали конический индентор с углом при вершине  $2\alpha=60^\circ$ , который обеспечивает одинаковые значения при замере на различных приборах. В результате эксперимента исходного фарша п/к и в/к колбасы определена погрешность замера, которая достигала 10% от среднего значения, за счет неоднородности образца, включающего шпик размером 8 x 8 x 8 мм. С целью увеличения точности замера из образца были изъяты крупные включения шпика, что снизило погрешность до 6-7%, что можно объяснить сравнительно крупными включениями в фарш мышечной ткани. Для получения более однородной

массы, фарш дополнительно измельчали на мясорубке с диаметром отверстий решетки 2 мм, за счет чего значение ПНС уменьшилось в среднем на 20%, а погрешность замера снизилась до 5% по сравнению с неизмельченным фаршем.

Для выбора рациональной массы подвижной части прибора, позволяющей с достаточной точностью определить консистенцию фарша, были проведены эксперименты с использованием конуса с углом при вершине  $2\alpha=60^\circ$ . На основании анализа экспериментальных данных можно сделать вывод, что при массе подвижной части прибора от 0,095 кг до 0,2857 кг, что соответствует величине от 0,2 до 0,6 Н, средние показания ПНС колеблются от 1352 до 1379 Па, что лежит в пределах ошибки эксперимента. При малой массе подвижной части прибора, например 0,0476 кг, что соответствует  $K_m=0,1$  Н, значение ПНС завышено. Это можно объяснить неоднородностью фарша, в результате чего не происходит полного сдвига продукта, а следовательно глубина погружения индентора несколько занижена. Для оценки консистенции готовых колбасных изделий, предварительно измельченных на мясорубке, с использованием конического индентора с углом при вершине  $2\alpha=60^\circ$  и с массой подвижной части прибора 0,2857 кг погрешность составила не более 4%.

С целью выбора рационального типа индентора для оценки консистенции колбасного фарша и измельченного фарша готовых колбас были выбраны иглочатые инденторы с одной или четырьмя иглами, конические инденторы с углом при вершине равным  $10^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ . Кроме этого конические инденторы использовались с гладкой и рифленной поверхностью. Глубина рифлений равнялась 1 мм.

Для колбасного фарша вареных, п/к и в/к колбас, как для исходного, так и дополнительно измельченного, наиболее рациональным, обеспечивающим минимальную погрешность, является конус с углом при вершине равным  $60^\circ$ , что подтверждается также другими исследователями.

Проведенные эксперименты при использовании конусов с гладкой и рифленной поверхностью показали, что определяемые величины ПНС лежат в пределах ошибки эксперимента.

Для определения консистенции готовых колбасных изделий использовали четырехиглочатый индентор и конический индентор с углом при вершине равным  $10^\circ$ . Результаты эксперимента показали, что можно использовать оба индентора. При этом погрешность замера не превышала  $8+10\%$ . С целью увеличения точности замера и получения усредненной характеристики готовая колбаса измельчалась на мясорубке с диаметром отверстий 2 мм. Измельченная масса готовой колбасы плотно укладывалась в емкость и перед проведением замера подпрессовывалась. Рациональным давлением подпрессовки является  $4 \times 10^4$  Па. Дальнейшее увеличение давления на точность замера практически не влияло. Подпрессовка проводилась в течении трех минут. Погрешность замера при определении степени пенетрации при соответствующих условиях и использовании различных конусов составила не более 6%. При этом необходимо отметить, что при определении ПНС используемая константа конуса, определяемая по формуле Агранат-Воларовича, с помощью которой были получены идентичные показания для сырого колбасного фарша, в данном случае не позволила получить одинаковые результаты.

Поэтому были проанализированы известные зависимости для получения константы конуса:

### 1. Формула П.А.Ребиндера

$$K = 0,52 (\operatorname{ctg} \alpha \cos^2 \alpha) \pi \quad (1)$$

### 2. Формула Н.Н.Аграната и М.П.Воларовича

$$K^{-1} = \pi \operatorname{tg}^2 \alpha \{ [2\alpha - 2(\sin \alpha + 1)^2 \ln \{ \sin \alpha / (\sin \alpha + 1) \} + [1 - \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2)] (2 \sin \alpha + 1)^2 \ln \{ 2 \sin \alpha / (2 \sin \alpha + 1) \} + [\operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2) - \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha)] \operatorname{ctg}^2(\pi/4 - \alpha) \ln \{ 2 / (\operatorname{ctg} \alpha + 1) \} + \operatorname{ctg}(\pi/4 + \alpha/2) [\operatorname{ctg}(\pi/4 - \alpha) - (2 \sin \alpha + 1)] \} \} \quad (2)$$

### 3. Формула В.Д.Косого, В.А.Карпычева

$$K = 0,687 \operatorname{ctg}^2 \alpha \quad (3)$$

### 4. Поправка В.А.Арета к формуле (2)

$$K = 1,32 \operatorname{tg} \alpha \sqrt{9 \operatorname{tg}^2 \alpha + 4} / (3 \operatorname{tg}^2 \alpha + 1) \quad (4)$$

Константы конуса, рассчитанные по различным зависимостям, приведены в таблице 1

Таблица 1

$2 \alpha$ , град	K (1)	K (2)	K (3)	K (2) с поправкой (4)
10	18,5	29,0	-	10,0
20	8,92	17,93	22,16	7,89
30	5,66	9,40	9,68	5,90
45	3,35	4,08	4,01	3,47
60	2,11	2,13	2,06	2,13
75	1,34	1,10	1,17	1,32
90	0,81	0,715	0,69	0,85

ПНС фарша готовой колбасы, рассчитанные с использованием различных констант с учетом поправочных коэффициентов приведены в таблице 2. По результатам проведенных исследований можно сделать следующие рекомендации:

Таблица 2

Значения ПНС фарша готовой колбасы ( $W > 50\%$ ) с учетом константы конуса, рассчитанной по различным зависимостям

2 $\alpha$ , град	m, кг	$\theta_0$ (1), Па	(2), Па	$\theta_0$ (3), Па	$\theta_0$ (2), с поправкой (4), Па
60	0,2861	2188	2211	2138	2211
60	0,2106	2163	2284	2113	2184
45	0,2061	2146	2613	2568	2222
30	0,1916	2105	3495	3599	2194
20	0,0766	2460	4983	6159	2192
10	0,0736	4111	6444		2221
10*	0,1226	3991	6256		2157

\* - конус с рифленой поверхностью

$\theta_{\text{оср}} = 2192$

Из анализа экспериментальных данных, можно сделать вывод, что ПНС, рассчитанные с учетом константы по формулам (2) и (3) лежат в одних пределах при угле  $60^\circ$ , а по формуле (1) при углах от  $30^\circ$  до  $60^\circ$ . Взяв за основу формулу (2) с поправкой (4) были получены одинаковые результаты, при углах от  $10^\circ$  до  $60^\circ$ , которые лежат в пределах ошибки эксперимента. По всей вероятности, это можно объяснить тем, что в сыром колбасном фарше п/к колбас преобладают вязко-пластичные свойства, а в фарше измельченных колбасных изделий - пластические свойства, где сила сцепления между частицами гораздо ниже, чем у сырого фарша.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие рекомендации:

1. Для сырого фарша п/к колбас:

с влажностью  $W > 50\%$  при расчете константы конуса с углом  $10^\circ \leq 2\alpha \leq 90^\circ$  следует принять формулу (2), а при использовании конуса  $30^\circ \leq 2\alpha \leq 90^\circ$  - упрощенную формулу (3).

2. Для фарша готовой колбасы, измельченного на мясорубке, с влажностью  $W < 50\%$  при  $10^\circ \leq 2\alpha \leq 60^\circ$  следует принять зависимость (2) с поправкой (4).

По данным литературного обзора известно, что глубина погружения индентора в колбасный фарш в течение пяти секунд составляет, в среднем, 75% от максимальной глубины погружения индентора.

С целью ускорения замера характеристик, по которым можно оценить консистенцию как фарша, так и готовых колбас, была проведена работа по выявлению соотношения между пенетрацией в течение 5 с и 180 с.

Многочисленные эксперименты показали, что соотношение для фарша п/к колбас составляет 1,3 с погрешностью до 10%, а для фарша и с погрешностью до 5% для дополнительно измельченного фарша; для готовых колбасных изделий не измельченных - 1,1 с погрешностью до 7%; для готовых колбасных изделий измельченных - 1,15 с погрешностью до 4%.

Четвертая глава посвящена экспериментальным исследованиям, проведенным в производственных условиях на ОАО "Царицыно", АО "Московский мясокомбинат МИКОМС", колбасный завод "Выхино". Для проверки метрологического обеспечения метода пенетрации конусом и игольчатым индентором вязко-пластичных и упруго-эластичных мясных продуктов, был статистически обработан экспериментальный материал, который сведен в таблицу 3.

Таблица 3

Определение пенетрации вязко-пластичных и упруго-эластичных мясных продуктов

Вид продукта	Диапазон, пенетрации, ед.	Сходимость, единицы	Погрешность, %	Воспроизводимость, единицы	Погрешность, %
Фарш вареных колбас	235-425	12-15	2,6-1,8	25-28	4,7-3,3
Готовые вареные колбасы	220-400	9-12	2,1-1,5	19-21	4,3-2,7
Фарш п/к и в/к колбас	150-230	20-25	6,6-5,4	24-30	8,0-6,5
Фарш п/к и в/к колбас дополнительно измельченный	180-280	10-12	2,8-2,5	16-24	4,5-5,0
Колбаса п/к и в/к (4-х игольчатый индентор)	170-300	20-25	5,8-4,2	25-30	7,3-5,0
Колбаса п/к и в/к дополнительно измельченная (конус $2\alpha = 60^\circ$ )	200-300	10-12	2,5-2,0	20-25	5,0-4,2

Для фарша и готовых вареных колбас, а также для фарша п/к и в/к колбас и готовых изделий из него, дополнительно измельченных, расхождение между результатами трех параллельных измерений не превышает 4% и измерений, выполненных в двух разных лабораториях на разных приборах одной партии не превышает 5%.

С целью выбора рациональных технологических и реологических параметров фарша и колбасы, которые стабилизируют качество и выход готовой продукции, проведены эксперименты на четырех видах традиционных вареных колбас, пользующихся наибольшим спросом населения. Для них были определены реологические и технологические характеристики (рН, влага, потери массы в процессе термообработки и хранения, степень пенетрации). Для фарша использовали конический индентор с углом при вершине  $60^\circ$  и подвижной массой 0,095 кг, для колбас - конус с углом  $10^\circ$  и подвижной массой 0,38 кг. У фарша величина рН колебалась от 5,2 до 6,45, а у колбас - от 6,1 до 6,6. В производственных условиях иногда изготавливают колбасы влажностью, превышающей нормативную, а чаще всего эти значения занижены (см. таблицу 4).



Таблица 4

Колбаса	Технологические параметры					
	фарша			колбас		
	производственные колебания ( $W_1$ ), %	рациональные колебания ( $W_p$ ), %	рациональная пенетрация $h_{пр}$ , мм	производственные колебания ( $W_1$ ), %	рациональные колебания ( $W_p$ ), %	рациональная пенетрация $h_{пр}$ , мм
Молочная	63-73	67,2-68,0	23-24	61-69	64,3-65	21,9-22,3
Столовая	67-71	67,2-68,0	23-24	61-68	64,3-65	21,5-22,3
Особая	67-78	76,2-77,7	25-26	64-75,3	74,2-75	23-24
Докторская	61,7-65,7	65,5-66,0	20-21	54,5-63,3	63-64	33-34

Зависимость степени пенетрации фарша от влажности имеет вид экспоненты, а ПНС в данных пределах влажности можно аппроксимировать в виде прямой зависимости. Следовательно, реологические характеристики чувствительны к изменению влажности продукта.

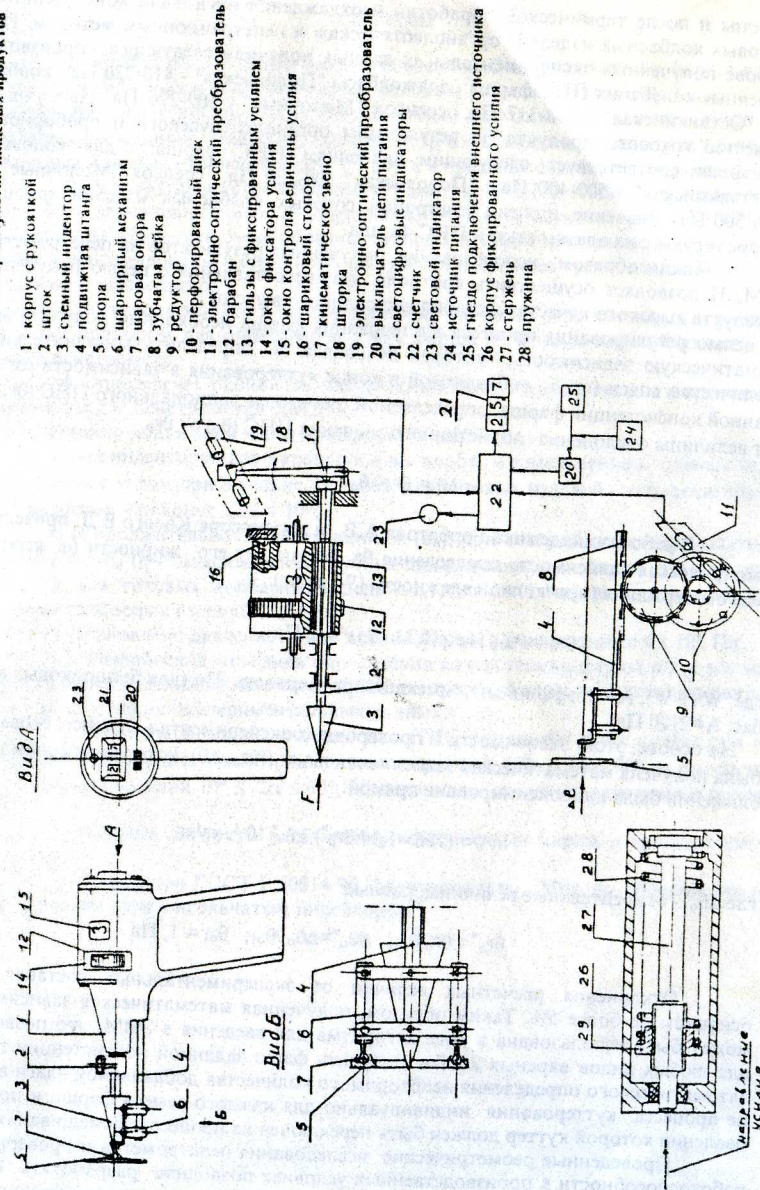
На основе анализа экспериментальных данных рекомендуются рациональные технологические (влажность  $W_p$ ) и реологические (степень пенетрации за  $S_c, h_{пр}$ ) параметры фарша и колбасы, величины которых показаны в таблице 4. Для сравнения взята колбаса "Докторская", изготовленная в цехе деликатесной продукции. Анализ этой колбасы показал, что ее влажность ниже нормативной. Продукт был хорошо измельчен и имел плотную структуру фарша, что подтвердилось реологическими исследованиями (см. таблицу 4).

Для более широкого использования метода пенетрации, расширения области его применения, сокращения продолжительности измерения на различных стадиях технологического процесса производства колбас непосредственно на рабочем месте, был разработан и запущен в мелкосерийное производство переносной малогабаритный пенетрометр (устройство) ППМ-4. Поставленная задача решена с помощью того, что предложенный пенетрометр имеет подвижную относительно индентора опору, которая при контакте с продуктом не вызывает его прессовку; использует прямой метод измерения перемещения опоры относительно индентора; имеет барабан с N-ным количеством гильз фиксированных усилий, причем каждая гильза настроена на свое значение фиксированного усилия. Количество гильз определяется областью применения пенетрометра ППМ-4. В нашем случае гильзы 0,5; 2,0; 5,0; 0,9 кг. На рис. 3 представлена схема общего вида ППМ-4 (а), гильза фиксированного усилия (б) и принципиальная схема (в).

Таким образом, используя реологические методы контроля, можно уменьшить производственные колебания влажности и консистенции до минимума. Это позволит увеличить выпуск колбасных изделий из того же количества сырья. При этом выход и качество готовых колбасных изделий стабилизируются.

С целью осуществления производственного контроля, стабилизации выпуска готового продукта и улучшения его качества необходим экспресс-контроль процесса тонкого измельчения колбасного фарша. Для изучения возможности вышеуказанного контроля и определения рациональных границ СМХ фарша нами были проведены исследования на ОАО "Царицыно". В качестве измельчающего оборудования использовали куттер фирмы "Ласка". После окончания куттерования на пенетрометре ПМД определяют степень пенетрации, ПНС и влажность фарша колбас "Подольская", "Останкинская" и сосисок "Молочные", формовали

Рис. 3. Устройство для определения структурно-механических характеристик пищевых продуктов



- 1 - корпус с рукояткой
- 2 - шток
- 3 - съемный индентор
- 4 - подвижная штанга
- 5 - опора
- 6 - шарнирный механизм
- 7 - шаровая опора
- 8 - зубчатая рейка
- 9 - редуктор
- 10 - перфорированный диск
- 11 - электронно-оптический преобразователь
- 12 - барабан
- 13 - гильзы с фиксированным усилием
- 14 - окно фиксатора усилия
- 15 - окно контроля величины усилия
- 16 - шариковый стопор
- 17 - кинематическое звено
- 18 - шторка
- 19 - электронно-оптический преобразователь
- 20 - выключатель цепи питания
- 21 - светофильтровые индикаторы
- 22 - счетчик
- 23 - световой индикатор
- 24 - источник питания
- 25 - гнездо подключения внешнего источника
- 26 - корпус фиксированного усилия
- 27 - стержень
- 28 - пружина
- 29 - пружина

батоны и после термической обработки и охлаждения оценивали консистенцию готовых колбасных изделий органолептическим и пенетрационным методом. На основе полученных экспериментальных данных получили следующее: производственные колебания ПНС фарша: для колбасы "Подольская" - 410-220 Па; колбасы "Останкинская" - 538-317 Па; сосисок "Молочные" - 509-296 Па. Наилучшее качество готового продукта по результатам органолептического и приборного контроля соответствует следующим значениям ПНС фарша: для колбасы "Останкинская" - 500-400 Па, "Подольская" 300-220 Па, сосисок "Молочные" - 380-300 Па. Значение степени пенетрации готовых колбасных изделий хорошо коррелируют с их влажностью и ПНС фарша.

Таким образом, использование полученных результатов на пенетрометре ПМДП позволяет осуществить контроль фаршесостава с целью получения продукта высокого качества и стабилизированного выхода. С целью регулирования процесса куттерования фарша необходимо получить математическую зависимость, которая позволяла бы определить дополнительное количество влаги ( $m^2$ ), добавляемой в конце куттерования в зависимости от заданной консистенции фарша, определяемой значением рационального ПНС ( $\theta_p$ ) и от величины отклонения ( $\Delta\theta$ ) истинного значения ПНС ( $\theta_0$ ) от  $\theta_p$ .

$$\Delta\theta = \theta_p - \theta_0$$

В работах академика Горбатова А.В. и профессора Косого В.Д. приведена эмпирическая зависимость определения  $\theta_p$  фарша от его жирности ( $\varphi$ , кг/кг) и влагосодержания ( $u$ , кг/кг) или влажности ( $W$ , кг/кг):

$$\theta_p = A_{\text{exp}} [4\varphi - (0,31 - 21\varphi^2)u], \text{ Па}$$

где,  $W/(1-W)$ ,  $A$  - коэффициент, имеющий размерность Па (для бесшпиковых колбас,  $A=2120$  Па).

На основе этой зависимости и проверочных экспериментальных исследований была получена математическая зависимость  $m^2 = f(\theta_p, \Delta\theta)$ , которая в первом приближении была аппроксимирована прямой:

$$m^2 = (786 - 1,34 \theta_p^*) \Delta\theta^* \cdot 10^{-5}, \text{ кг/кг}$$

где  $\Delta\theta^*$  - относительные величины, равные:

$$\theta_p^* = \theta_p / \theta_{01}; \Delta\theta^* = \Delta\theta / \theta_{01}; \theta_{01} = 1, \text{ Па}$$

Отклонения расчетных величин от экспериментальных составляли в основном не более 5%. Таким образом, полученная математическая зависимость может быть использована в виде алгоритма для введения в ЭВМ, что позволяет для любых видов вареных колбас получить фарш заданной консистенции путем автоматического определения необходимого количества добавляемой влаги в конце процесса куттерования индивидуально для каждого замеса фарша и при доавлении которой куттер должен быть переключен на процесс перемешивания.

Проведенные реометрические исследования пенетрометра и проверка его работоспособности в производственных условиях позволило разработать ГОСТ на метод определения пенетрации конусом и игольчатым индентором мясopодуKтов (ГОСТ Р 50814-95).

## Выводы:

1. Установлена идентичность показаний СМХ колбасного фарша вареных, полукоченых и варенокопченых колбас и готовых изделий из него на различных реологических приборах (ротационный вискозиметр, универсальная испытательная машина "Инстрон", пенетрометр с коническим индентором ( $2\alpha=60^\circ$ ), величины которых отличаются друг от друга в пределах ошибки эксперимента.

2. Разработаны устройства (пенетрометры ПМДП, ППМ-4) для определения СМХ вязко-пластичных и упруго-эластичных продуктов (АС N 1479874, патент N 2075751), опытные образцы которых прошли межведомственные испытания и рекомендованы к серийному выпуску, в настоящее время налажено мелко-серийное производство.

3. Установлено, что в настоящее время наиболее перспективным и универсальным прибором для определения СМХ фарша и готовых изделий из него является пенетрометр.

4. Определены рациональные динамические, геометрические и временные параметры для пенетрометра ПМДП:

а) масса подвижной части прибора  $m = 0,2857$  кг;

б) вид индентора: для фарша п/к и в/к колбас и измельченных готовых изделий - конус с углом при вершине  $2\alpha = 60^\circ$ , для готовых изделий - четырехугольный индентор или конус с  $2\alpha = 10^\circ$ ;

в) продолжительность пенетрации  $5c$  ( $h_n$ ), при которой определены соотношения  $\epsilon = h/h_n$  ( $h$  - максимальная глубина погружения): для фарша п/к и в/к колбас - 1,3; для готовых колбасных изделий - 1,1; для дополнительно измельченных готовых колбасных изделий - 1,15;

г) установлено давление подпрессовки фарша п/к и в/к колбас  $4 \times 10^3$  Па.

5. Разработана методика определения консистенции фарша п/к и в/к колбас и готовых изделий из него по их СМХ экспресс-методом, обеспечивающая минимальный разброс экспериментальных данных.

6. Уточнена методика определения ПНС фарша п/к и в/к колбас, при использовании конуса с углом при вершине в пределах  $10^\circ \leq 2\alpha \leq 90^\circ$ , и измельченных готовых изделий  $10^\circ \leq 2\alpha \leq 60^\circ$ , позволяющая получить идентичные показания.

7. Получен алгоритм регулировки консистенции фарша в процессе куттерования.

8. Разработан ГОСТ Р 50814-95 "МясopодуKты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором".

По содержанию диссертации опубликованы следующие работы:

1. А.С. СССР N 1479874, МКИ С 01 N 33/12 Тевзадзе Т.И., Бандзелазде А.Е., Дадунашвили А.А., Косой В.Д., Емельянов Ю.В., Абрамов А.Н. и др. "Устройство для исследования структурно-механических свойств вязко-пластичных продуктов". Зарегистрировано в Госреестре изобретений 15.01.89 с приоритетом 24.03.87.
2. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Жакабеков В.М., Медведев А.М. "Обоснование выбора прибора для оценки качества фарша и готовых колбасных изделий на мясокомбинатах". Тезисы докладов 3 ВНТК "Разработка получения комбинированных продуктов питания"-М., 1988, с.293-294.
3. Косая Т.В., Абрамов А.Н., Косой В.Д., Жакабеков Б.М. "Реометрические исследования пенетрометра для оценки качества неоднородных комбинированных продуктов". Тезисы докладов 3 ВНТК "Разработка процессов получения комбинированных продуктов питания"-М., 1988, с.294-295.
4. Косой В.Д., Саргсян К.Р., Абрамов А.Н. "Способы регулирования консистенции фарша по структурно-механическим характеристикам". Тезисы докладов 3 ВНТК "Теоретические и практические аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 1990, с.200-201.
5. Косой В.Д., Саргсян К.Р., Абрамов А.Н. "Получение алгоритма регулировки консистенции фарша в процессе куттеривания". Тезисы докладов 3 ВНТК "Теоретические и практические аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 1990, с.267-268.
6. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Прусаков Ю.А. "Прибор для определения жесткости мяса и мясопродуктов". Тезисы докладов 4 ВНТК "Теоретические и практические аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 1994, с.9.
7. Абрамов А.Н., Варсанович Г.Н., Косой В.Д. "Определение рациональных технологических характеристик фарша и колбасных изделий в производственных условиях". Тезисы докладов 4 ВНТК "Теоретические и практические аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 1994, с.10-11.
8. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Прусаков Ю.А., Слободянский А.М. "Влияние рН на структурно-механические характеристики мяса". Тезисы докладов 4 ВНТК "Теоретические практические аспекты применения инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 1994, с.13-14.
9. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Крылов А.И., Моисеева О.В. "Метод определения пенетрации вязко-пластичных однородно-гомогенизированных мясопродуктов". Материалы Международной научно-технической конференции "Пища, экология, человек"-М., 1995, с.64.
10. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Сюткин С.В., Виноградов Я.И. "Методы определения пенетрации вязко-пластичных неоднородных или грубодисперсных продуктов и упруго-эластичных мясопродуктов". Материалы Международной научно-технической конференции "Пища, экология, человек"-М., 1995, с.65.
11. Косой В.Д., Журавская Н.А., Крылов А.И., Абрамов А.Н. "Определение точности метода пенетрации конусом и игольчатым индентором".

Материалы Международной научно-технической конференции "Пища, экология, человек"-М., 1995, с.74.

12. Косой В.Д., Новик О.Ю., Абрамов А.Н. "Использование пенетрометров повышает гарантию качества". Мясная промышленность, N2, 1995, с.17-19.

13. ГОСТ Р-50814-95 "Мясопродукты. Методы определения пенетрации конусом и игольчатым индентором". Головин Ю.М., Абрамов А.Н., Голлендер Г.М., Косая Т.В., Косой В.Д., Помогин Н.И., Литвинова Г.А. Издание официальное. Госстандарт России, 9с.

14. Патент N2075751. "Устройство для определения структурно-механических характеристик пищевых продуктов". Головин Ю.М., Помогин Н.И., Человань П.П., Литвинова Т.А., Косой В.Д., Сентякова Т.В., Абрамов А.Н. - Приоритет изобретения 27.04.95.

15. Косой В.Д., Абрамов А.Н., Головина Н.Ю. и др. "Метод и прибор для оценки качества консистенции упруго-эластичных продуктов по структурно-механическим характеристикам". Тезисы докладов "Теоретические и практические аспекты применения методов инженерной физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств"-М., 14-15 мая 1996, с.19.

16. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Крылов А.И., Митрюшина Т.М. "Уточненная методика расчета предельного напряжения сдвига фарша полукопченных колбас". Тезисы докладов научных чтений "Теоретические и практические основы расчета термической обработки пищевых продуктов"-М., 22 апреля 1997, с.75.

17. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Крылов А.И., Митрюшина Т.М. "Ускоренная методика расчета предельного напряжения сдвига фарша полукопченных колбас и готовых изделий из него". Там же, с.76.

18. Абрамов А.Н., Косой В.Д., Крылов А.И., Митрюшина Т.М. "Уточненная методика расчета предельного напряжения сдвига полукопченных колбас". Там же, с.77.