

Авторы: канд.техн.наук С.А.Александров, Л.А.Царя, канд. техн.наук И.Г.Бабанов (ВНИКИМП), д-р техн.наук проф. А.С.Большаков (МТИМП)

УДК 637.52.03.004.67(47+57) + (-87)

Александров С.А., Царя Л.А., Большаков А.С., Бабанов И.Г. Совершенствование тепловой обработки мясных продуктов в среде повышенной влажности: Обзорн. информ. - М.:АгроНИИТЭИМП, 1987. - 32 с.:4 табл. Библиогр. (54 назв.).- (Мясная промышленность).

В обзоре приведены данные периодической и патентной литературы о перспективных способах тепловой обработки мясопродуктов (СВЧ-энергия, ИК-излучение, принудительная циркуляция и пр.), используемых в СССР и за рубежом. Описан разработанный авторами обзора метод тепловой обработки крупнокусковых соленых мясопродуктов в среде повышенной влажности.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	I
Современные способы тепловой обработки мясопродуктов ...	2
Методы измерения относительной влажности при повышенных температурах	13
Тепловая обработка мясопродуктов в среде с повышенной относительной влажностью	17
Заключение	28
Литература	29

Ответственные за выпуск Н.А.Александрова, С.К.Апраксина
Редакторы М.А.Привезенцева, Л.В.Золотова

Подписано в печать 17.04.87. формат 60x90/16 Бумага
книжно-журнальная Печать офсетная Печ.л. 2,0 Уч.-изд.л. 2,0
Тираж 2800 экз. Цена 40 к. Заказ 107

АгроНИИТЭИМП, I27254, Москва, ул.Руставели, I4
МП АгроНИИТЭИМП, I27254, Москва, ул.Руставели, I4

ОБЗОРНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

По информационному обеспечению отраслевых программ
и основным направлениям развития отрасли

МЯСНАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

Введение

В Основных направлениях социального и экономического развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 года и Продовольственной программе СССР перед трудящимися поставлены задачи ускорения социально-экономического развития страны, всех отраслей промышленности, и в частности агропромышленного комплекса. Решение этих задач невозможно без интенсивной разработки и внедрения новейших достижений научно-технического прогресса [1].

Увеличения выпуска и улучшения качества мясных продуктов можно достигнуть в результате применения принципиально новых видов оборудования, обеспечивающих значительное повышение эффективности производства и снижение затрат физического труда; создания и освоения новых, прогрессивных и совершенствования существующих технологических процессов производства мясных продуктов с применением физических методов их обработки, и пр.

В практике мясной промышленности в настоящее время наметился переход к широкому применению технологических процессов, обеспечивающих комплексную механизацию и автоматизацию производства, техническому перевооружению, созданию и выпуску машин и оборудования, позволяющих улучшать условия труда и повышать его производительность, экономить материальные ресурсы, повышать технический уровень вспомогательных и обслуживающих производств [2].

Работая над решением этих проблем, советские и зарубежные ученые все больше внимания уделяют совершенствованию техники и технологии тепловой обработки пищевых продуктов. Современное оборудование, новые технические средства и методы позволяют углубить исследования и анализировать различные факторы, ранее не доступные для наблюдений.

Основа автоматизации производства - системы управления технологическими процессами и оборудованием с широким применением микро-

процессорной техники. В мясной промышленности наиболее подготов-
ленным для автоматического управления температурно-влажностными
режимами является тепловая обработка мясных изделий.

Внедрение более совершенного оборудования для тепловой обра-
ботки и применение оптимальных ее режимов способствует сокращению
производственных потерь и повышению уровня рентабельности выраба-
тываемых мясoproдуктов.

Большое значение имеет совершенствование процесса тепловой об-
работки крупнокусковых мясoproдуктов из говядины и свинины, кото-
рое может осуществляться как на базе традиционных способов, так и
с использованием новых электрофизических методов обработки. При
этом должны обеспечиваться минимальные потери и сохранение каче-
ства исходного сырья.

В последние годы специалисты уделяют большое внимание изучению
влияния температуры и влажности греющей среды на основные каче-
ственные показатели мясoproдуктов. Анализ опубликованных за по-
следнее время данных показал, что основными направлениями тепло-
вой обработки являются использование принудительной циркуляции,
перегретого пара в процессе жаренья, избыточного давления, инфра-
красного и диэлектрического нагревов. Один из перспективных спо-
сбoв - тепловая обработка мясoproдуктов при высокотемпературном
нагреве с высокой относительной влажностью греющей среды.

В настоящем обзоре приводятся сведения об этих и других наи-
более интересных и перспективных способах тепловой обработки мя-
сoproдуктов, а также результаты собственных исследований авторов
обзора по применению тепловой обработки в среде повышенной влаж-
ности для крупнокусковых соленых мясoproдуктов.

Современные способы тепловой обработки мясoproдуктов

При тепловой обработке мясoproдуктов на мясо комплексно воз-
действуют такие факторы, как температура, относительная влажность
и скорость движения воздуха в рабочей камере термоагрегатов.

Анализ сведений, полученных из научно-технической и патентной
литературы дал возможность авторам обзора выявить новые основные
направления разработки прогрессивных методов тепловой обработки
мясных изделий, которые наряду с модернизацией существующих спо-
собов способствуют интенсификации процесса производства, увеличе-
нию выхода и улучшению качества продукции, а также экономии энер-
горесурсов. Ниже приводится описание некоторых из них и анализи-
руется их эффективность.

Применение инфракрасного излучения для проведения разнообразных термических процессов, изученное И.А.Роговым и А.В.Горбатовым, позволяет значительно сократить продолжительность обработки продуктов, упрощает конструктивное оформление процесса, создает условия для его механизации и автоматизации и улучшает санитарно-гигиенические условия труда.

Ю.Ф.Литус и др. исследовали влияние различных типов ИК-генераторов на интенсивность прогрева отдельных слоев мясных изделий и определяли количество энергии, поглощаемой этими слоями [18]. Для обработки продуктов использовали следующие ИК-генераторы: КГ-1000-220 ($\lambda_{max} - 1,2$ мкм), трубчатый кварцевый генератор с хромоникелевой спиралью ($\lambda_{max} - 2,5$ мкм) и тэн ($\lambda_{max} - 2,9-3,2$ мкм). В качестве исследуемого образца брали бифштекс рубленый толщиной 20 мм и диаметром 80 мм.

В результате исследований авторы работы пришли к выводу, что правильный выбор ИК-генераторов для тепловой обработки бифштексов позволяет рассчитать расход энергии на образование поджаристой корочки и прогрев отдельных слоев. Так, для быстрого прогрева изделия по толщине с образованием поджаристой корочки необходимо применять среднетемпературные излучатели, а для интенсивного прогрева продуктов без предъявления особых требований к корочке - высокотемпературные ИК-генераторы.

Ю.Ф.Литус и др. исследовали влияние относительной влажности среды в рабочей камере на время тепловой обработки и качество жареных изделий [17]. В качестве генератора ИК-излучения применяли среднетемпературные (до 750°C) тэны мощностью 3,2 кВт. Пар подавался из парогенератора, величину относительной влажности регулировали в пределах 15-90% специальным регулятором [35]. В качестве объекта исследования использовали рубленый бифштекс, приготовленный в соответствии с рецептурой [27]. Готовность продукта определяли по температуре в его толще 80°C.

Бифштексы, обжаренные в камере при относительной влажности 20 и 50%, характеризовались равномерной корочкой золотистого цвета, ярко выраженным вкусом и ароматом жареного мяса. Количество теплоты, идущей на образование верхней корочки, соответственно было равно 8,2 и 4,9 кДж.

При влажности более 50% поверхность изделия не имела специфического цвета, вкус и аромат жареного мяса отсутствовал.

Применение инфракрасного излучения для тепловой обработки мясopодуlктов допустимо при условии сохранения последними высоких пищевых качесlв и отсутствия образования вредных для человека веществ.

В.В.Гутиков и др. исследовали изменение липидов при тепловой обработке мясных рубленых полуфабрикатов в поле ИК-излучения и традиционным способом [13]. В качестве объекта исследования брали бифштексы, шницели рубленые и котлеты. Источником излучения служили генераторы КГ-220-1000. Готовность определяли по температуре, равной 85°C в центре изделия.

При жарке котлет и шницелей в поле инфракрасного излучения потери липидов составляли 2,8-4,5%. При жарке бифштексов - 10,4-12,0%. Это, вероятно, объясняется тем, что котлеты и шницели панируются сухарями и вытапливаемый жир впитывается панировкой. У всех исследуемых изделий количество триглицеридов уменьшилось, а свободных жирных кислот увеличилось, что свидетельствует о гидролитических процессах при жарке рубленых полуфабрикатов. При традиционном способе нагрева полуфабрикатов в изделиях происходят аналогичные изменения, однако их определяет большое количество добавляемого жира.

При традиционном способе тепловой обработки перекисное число увеличивается в шницелях и бифштексах на 33,3%, а при жарении в ИК-поле - на 8,3%. Окисление липидов несколько больше: перекисное число увеличивается на 53-60% при традиционном нагреве, при ИК-нагреве - на 13-20%.

М.А.Кхан, Р.А.Wandermeу провели сравнительную оценку котлет из размороженной измельченной говядины, обжаренных в ИК- и газовой печах [43]. Были определены: производительность - количество готовых порций в час, уменьшение массы при обжарке, органолептические характеристики готового продукта. В печах создавалась температура от 316 до 645°C. Было установлено, что при одинаковой температуре внутри продукта количество готовых порций, полученных за час в ИК-печи, достоверно выше, чем при обжарке в газовой. Так, за час в ИК-печи получено 245 порций, а в газовой - 156. Достоверных различий в уменьшении массы при обжарке и органолептических свойствах образцов не обнаружено. Сделан вывод о целесообразности использования ИК-нагрева при обжарке мясных котлет.

Польские ученые исследовали возможность при консервировании сосисок сочетать тепловую обработку с гамма-облучением [40]. Сосиски в консервных банках облучали дозой 5,4 кГр, а затем нагревали 30 мин при температуре 100°C. Установлено, что продукт, обработанный комбинированным методом, имел лучшие как органолептические, так и физико-химические показатели по сравнению с контрольными образцами, которые подвергались только тепловой обработке. Микробиологические исследования показали, что с помощью предлагаемого комбинированного метода можно добиться максимальной безопасности процесса консервирования сосисок.

При тепловой обработке в СВЧ-поле по сравнению с традиционной не только не снижается пищевая ценность изделий, но в них более полно сохраняются витамины и обеспечивается высокое санитарное состояние готового продукта [26].

Для такой тепловой обработки следует использовать продукты, обладающие структурой с небольшой механической прочностью, быстро разваривающиеся и содержащие значительное количество воды. СВЧ-нагрев наиболее эффективен при тепловой обработке мяса, рыбы, овощей.

Добавление к мясу 5-10% воды от массы продукта позволяет получить готовое изделие, близкое по свойствам к припущенному, а добавление в том же количестве жира - к тушеному. При использовании крупнокусковых полуфабрикатов изделие получается более сочным, соответственно уменьшаются потери влаги.

При СВЧ-нагреве снижаются потери белковых веществ. Так, при СВЧ-варке измельченной говядины потери их по сравнению с традиционным нагревом меньше на 2-4%.

Диэлектрический нагрев не вызывает ухудшения аминокислотного состава, а в ряде случаев аминокислотная формула улучшается. Биологическая ценность мяса, подвергнутого СВЧ-обработке практически не отличается от обработанного традиционным способом.

Большое значение исследователи придают необходимости исключить отрицательное воздействие на организм человека продуктов, приготовленных с использованием диэлектрического нагрева.

Советские ученые И.А.Рогов и др. исследовали качество получаемых таким методом колбас в сравнении с качеством колбас, подвергнутых традиционному нагреву [25]. Традиционный нагрев осуществляли в варочной камере до температуры в центре батона 72°C , контрольный - в СВЧ-системе "Reytheon MP-1879". Режим высокотемпературной кратковременной (ВТКВ) обработки был следующим: частота - 915 МГц, мощность - 20 кВт, длительность нагрева от 10 до $97 \pm 3^{\circ}\text{C}$ - 60 с, термостатная выдержка - 3 мин, охлаждение - при температуре 10°C .

Колбасы исследовали через 24 ч на содержание жира, влаги, белка, золь, определяли переваримость белков и аминокислотный состав. Безвредность обработки оценивали по периоду полуобновления клеток почек и печени и скорости обновления клеток эпителия тонкого отдела кишечника лабораторных животных [4, 5]. В результате исследований авторы пришли к выводу, что применение ВТКВ-микроволновой термообработки для варки колбас не ускоряет старения органов пищеварения, а следовательно, не оказывает на них вредного воздействия.

С.В.Симовьян и др. из Института общественного питания (Харьков) исследовали особенности приготовления диетических мясных блюд в СВЧ-печи "Электроника-500" [28, 29]. Готовность продуктов определяли

с помощью хромаль-копелевой термопары по достижении в центре изделия температуры 80-85°C и органолептически по пятибальной системе.

Авторы пришли к выводу, что говяжья вырезка, толстый край, корейка свиная бескостная могут использоваться для приготовления кусковых полуфабрикатов СВЧ-методом. Другие сорта говядины, баранины и свинины для СВЧ-обработки необходимо нарезать мелкими кусочками. Части туши, содержащие большое количество соединительно-тканых прослоек рекомендуется использовать для приготовления фаршевых изделий, улучшить консистенцию которых можно добавлением воды или молока в количествах в 2,5-2,0 раза больших, чем предусмотрено рецептурой. Для получения блюд, близких по консистенции к тушеным, рекомендуется добавлять 5-10% жира от массы изделия. Полуфабрикаты из рубленого мяса и фарша (биточки, зразы, шницели, котлеты) в процессе тепловой обработки для равномерного прогрева рекомендуется переворачивать и термостатировать [20, 33].

Среднее время тепловой обработки кусковых мясных продуктов порциями по 100-150 г составляло 360-540 с, рубленых и фаршевых изделий - 210-240 с.

Фирма Mircrody Corp. (США) изготовила установку, которую можно использовать для обжарки бекона. Процесс осуществляется двумя способами: микроволновым нагревом и горячим воздухом одновременно или последовательно паром, горячим воздухом и СВЧ-энергией [22]. При первом способе коагуляция белка, плавление жира и подсушка происходят одновременно, причем поверхность бекона подсушивает горячий воздух.

Второй способ был разработан после того, как специалисты фирмы определили, что большая часть влаги в беконе (в основном она вводится в виде рассола) не превращается в пар, а улавливается расплавленным жиром и вместе с ним удаляется из продукта. При втором способе дорогостоящая микроволновая энергия применяется в конце обработки и не тратится на разогрев бекона. Пар нагревает его до 71-82°C, плавит жир, который уносит с собой большую часть влаги, при этом продукт не поджаривается и остается влажным. Затем горячий воздух удаляет влагу. Масса продукта последовательно уменьшается. И наконец, микроволновая энергия завершает процесс обработки.

J. Borowski, W. Kotkiewicz исследовали изменения некоторых свойств мяса индейки, подвергнутого различным способам термической обработки: обжариванию на вертеле, обжариванию с погружением мяса в жир и микроволновой обработке [54]. Нагревание проводили до температуры в толще белого мяса 80°C и в толще темного - 85°C. Установлено, что термическая обработка приводит к значительным изменениям химического состава мяса независимо от способа: количество сухих веществ, общего белка и небелкового азота повышается, а жира - понижается. Однозначной зависимости между выходом продук-

та после термической обработки и содержанием в мясе исследуемых компонентов не наблюдалось.

Изучено влияние способа тепловой обработки на качество индошатины [42]. Мясо, упакованное в алюминиевую фольгу, обжаривали в предварительно нагретых до температуры 163°C печах: традиционного типа (Frigidaire Super RSE-36L), конвекционной (Maxim model OV-300) и микроволновой (Set 880, 2450 МГц) до достижения температуры в центре образцов 77°C . Были определены время обжарки, затраты энергии, уменьшение массы, химический состав и вкусовые качества мяса. Установлено, что качество индошатины незначительно зависит от способа обжарки. Микроволновая и конвекционная обработки требовали меньших затрат энергии по сравнению с традиционной. Уменьшение массы образцов при обжарке не зависело от применяемого способа.

Использование нескольких способов термической обработки мяса показало, что оптимальным вариантом является прямая электротермическая обработка сырья [38]. Эта технология позволяет сократить потери сырья до $\leq 1\%$, увеличить выход готовых изделий приблизительно на 4% , сократить удельные энергозатраты на ≈ 80 МДж/т ($\sim 45\%$). Дополнительный эффект от внедрения этого процесса заключается в сокращении объема сточных вод и улучшении качества продукции.

B.R.Schricker и D.D.Miller исследовали возможность накопления в мясе при тепловой обработке негемового железа (НГЖ), которое хуже усваивается организмом, чем гемовое. Для этого изучали влияние условий тепловой обработки (в печи для запекания в течение 0–110 мин при 176°C или в микроволновой печи в течение 0,5 и 3 мин) в присутствии аскорбиновой кислоты (1500–2000 мг/кг), H_2O_2 (6%) и NaNO_2 (100–200 мг/кг) на образование нитрозогемоглобина в измельченной говядине [52]. В этих условиях содержание НГЖ возрастает не менее чем на 10%. Длительная тепловая обработка или воздействие сильного окислителя H_2O_2 повышает содержание НГЖ почти в 2 раза. Концентрация НГЖ несколько выше при тепловой обработке мяса в присутствии аскорбиновой кислоты, хотя эти отличия от образцов, ее не содержащих, статистически недостоверны. При введении в мясо NaNO_2 концентрация НГЖ лишь незначительно повышается, что объясняется большой стабильностью NO-миоглобина и NO-гемоглобина. Считают, что накопление НГЖ при тепловой обработке мяса происходит в результате окислительной деструкции парферинового кольца.

Во ВНИИМПе разработан способ приготовления мясопродуктов путем тепловой обработки их в три стадии [6]. На первой стадии тепловую обработку проводят при $90\text{--}110^{\circ}\text{C}$ в течение 60–90 мин при атмосферном давлении. На данном этапе может быть осуществлена варка, под-

сушка или обжарка. На второй стадии проводят варку при $58-63^{\circ}\text{C}$, на третьей - при $78-82^{\circ}\text{C}$. На второй и третьей стадиях давление повышают до $(1,5-2,5) \cdot 10^5$ Па посредством подачи сжатого воздуха.

Изучение динамики изменения массы продукта в процессе тепловой обработки показывает, что ведение процесса в три стадии при избыточном давлении на второй и третьей позволяет учесть изменения структурного и физико-химического характера и максимально использовать преимущества варки при таком давлении. Внедрение предлагаемого способа обеспечивает увеличение выхода в среднем на 3% и улучшение качества готового продукта как по органолептическим, так и по объективным показателям. Экономический эффект составляет 5555 тыс.р. в год, или III р. на I т продукта.

В.И.Волчковым и др. предложен способ тепловой обработки окороков электрическим током путем размещения их в диэлектрической емкости между эластичными токопроводящими электродами [7]. С целью увеличения выхода готового продукта и уменьшения энергозатрат, при этом способе обработку окороков осуществляют электрическим током плотностью $200-400 \text{ A/m}^2$ до достижения температуры в центре продукта $70-72^{\circ}\text{C}$.

Фирма Thermal jet Ltd. (Великобритания) разработала систему варки таких мясных продуктов, как солонина, пастрома, ростбиф, говядья грудинка и других аналогичных продуктов [23]. Сырье после посола путем инъецирования рассола в толщу продукта, а затем обработки в тумблере, укладывают в пакеты и загружают в варочную камеру, внутри которой с помощью вращающихся лопастей разбрызгивается вода, поступающая под давлением. Общая продолжительность варки при массе куска 3 кг и толщине 3,8-5 см - 70 мин, тогда как при обычном методе варки в воде с температурой $74-85^{\circ}\text{C}$ - 7 ч.

Фирма G.Fessman (ФРГ) сконструировала камеру (модель Т-4000) для тепловой обработки колбасных изделий, использование которой позволяет снизить потери массы продукта при обработке до 1,5-1,75% [12]. Она состоит из семи секций, через которые проходит продукт: первые четыре предназначены для сухого копчения, пятая - тепловой обработки паром, шестая - душирования продукта холодной водой, седьмая - рассольного охлаждения.

Фирма Altog Inox (Франция) предложила новый метод тепловой обработки ветчинных изделий и установку "Thermix" для его осуществления [21]. Он предусматривает чередование обработки ветчинных изделий, помещенных в алюминиевые формы, горячей водой и воздухом. При этом температура нагрева и продолжительность фаз обработки четко определены. Это чередование позволяет проводить тепловую обработку продукта в соответствии с идеальной кривой повышения температуры в его толще. Продолжительность фазы воздействия горячей водой незначительная, а воздухом - более длительная. Для

получения готового продукта высокого качества достаточно трехкратного чередования обработки водой и воздухом.

Преимущества предложенного метода по сравнению с традиционными следующие: экономия энергии на 40% в результате сокращения продолжительности нагрева, а также за счет того, что один и тот же объем горячей воды можно использовать после частичной регенерации для обработки последующих партий продукции; затраты тепла на нагрев 1 кг продукта составляют 110-125 ккал вместо 180-210 ккал, потребляемая мощность 40-60 вместо 250-330 кВт; повышаются выход и качество готовой продукции; улучшается санитарно-гигиеническое состояние цеха, так как при работе установки влажность воздуха в помещении почти не увеличивается; в 5 раз снижается количество сточных вод.

В последние годы значительно усовершенствовалось производство вареной ветчины в результате использования новых способов приготовления мяса перед тепловой обработкой, кондиционирования и упаковки готового продукта. J. E. Lenges определил параметры пастеризации ветчины. Он показал преимущества обработки с постоянным температурным градиентом (постоянной разницей температур жидкого теплоносителя и наименее прогреваемой части продукта - геометрическим центром блока мяса [44]). По сравнению с классической такая обработка обеспечивает более равномерное прогревание продукта, что дает важные преимущества: снижение потерь массы, увеличение сочности и пр.

При изучении влияния режима тепловой обработки на качество колбас (типа франкфуртской) и их стойкость при хранении установлено, что эмпирический подбор его параметров в каждом отдельном случае приводил к неоправданным потерям [37]. Наиболее удобным критерием оптимизации режима тепловой обработки является фактор "С" - величина, характеризующая степень термического воздействия на продукт после односторонней обработки при 100°C. Оптимальным является такой режим, при котором достигается достаточная степень подавления развития микрофлоры при минимальном значении фактора "С".

Фирмы Hendrix Machines B.V. и Michel Gleis B.V. (Нидерланды) начали выпуск новой автоматизированной установки "Sumann SRK 1300" для термической обработки колбасных изделий [53]. Управление этой установкой осуществляется с помощью компьютера "Electronic 2000", в который закладывают программы, предусматривающие определенные параметры технологического процесса в зависимости от вида обрабатываемой продукции.

Фирма Horsi Glass (ФРГ) разработала и внедрила установку для жаренья мясных продуктов без добавления жира на конвейере [39]. Обрабатываемые продукты помещаются между двумя конвейерными лентами с покрытием из тефлона, расстояние между которыми регулируется

бесступенчато. Использование жаропрочной ленты исключает пригорание продукта или его прилипание в ней. Преимущество такого способа жаренья в теплопередаче непосредственно на продукт, благодаря чему сокращаются потери тепла и энергозатраты. Производительность установки — 250–4000 порций в час.

Фирма Tustin Meatand Provision (Великобритания) предложила следующий способ тепловой обработки говядины [24]. Куски мяса массой 6,8–9,0 кг помещают в рукавную полиэфирную пленку длиной 762 мм и добавляют жидкие специи, затем из рукава удаляют воздух, запаковывают концы и при температуре 150°C мясо обрабатывают в печи. После обжарки пакет с продуктом охлаждают холодной водой, вскрывают и, удалив избыток бульона, вновь упаковывают и укладывают в тару для доставки в торговую сеть.

В последние годы наметилась тенденция к моделированию и оптимизации традиционных режимов тепловой обработки мясных продуктов. В основе оптимизации лежат теоретические исследования, направленные на изучение изменений, протекающих в мясе, при различных режимах. В теории и практике многофакторного анализа рассматриваются случаи оптимизации процессов, в которых используются многопараметрические системы для изучения тепломассообмена, изменения физико-химических, структурно-механических характеристик, позволяющие прогнозировать выходные, переменные, количественные и качественные параметры (А.М.Бражников, 1973, А.В.Горбатов, В.Г.Федоров и др., 1974; В.Д.Косой, А.В.Лыкова, 1974).

Анализу теоретических основ термической обработки колбасных изделий и аналитическому описанию процесса посвящено значительное количество работ. Формулы, приведенные в них, получены на основе изучения закономерностей нестационарного режима нагрева. Однако они являются сравнительно сложными.

И.И.Зедлец предложил новый аналитический подход к определению режимных параметров термообработки в термокамерах типа ЕЛРО (РЗ-ФАТ-12) [15]. Длительность всего цикла термической обработки определяется в следующей последовательности. В первую очередь по номограммам определяют длительность подсушки и обжарки, затем время переходного режима с обжарки на варку. Аналитические исследования и экспериментальные проверки по термограммам, полученным при работе термокамер ЕЛРО-6 на Минском мясоперерабатывающем заводе, показали, что длительность переходного режима соответствует в среднем полученному аналитически значению критерия Фурье $F_0 \pm 0,04$. В течение этого времени температура в центре батона будет повышаться в соответствии с условиями нагрева в режиме обжарки. По истечении этого времени нагрев идет в режиме варки. При скорости паровоздушного потока 2 м/с режим варки характеризуется следующим значением критерия Бис: $Bi = 4,7 - 5,0$ (для колбас диамет-

ром 30 мм); $Vi = 7,6 - 8,0$ (для колбас диаметром 65 мм); $Vi = 9,8 - 10,0$ (для колбас диаметром 100 мм). Продолжительность варки находят по номограмме.

Экспериментальная проверка предлагаемого способа определения режимов термической обработки колбасных изделий подтвердила его практическую приемлемость. Погрешность в определении температуры в центре и на поверхности батона составляет не более 4°C ; времени термообработки - 2-4 мин. Данный способ может быть использован при анализе тепловых режимов, составлении инструкций, выборе оптимальных условий термообработки.

Математическое описание процесса термической обработки мясных продуктов осуществляют с целью прогнозирования точного развития этого процесса во времени. Наиболее желательное получение таких соотношений, которые связывали бы изменения условий термической обработки с комплексным изменением качества: $f(K) = f(T, \xi, Vi, F_0)$, где K - численная оценка качества; T - безразмерная температура продукта; ξ - безразмерная координата; Vi - критерий Био; F_0 - критерий Фурье, т.е. под математическим описанием процессов термической обработки можно понимать количественные соотношения между изменениями теплофизических показателей и комплексного показателя качества, приведенными выше [II].

Описание процессов термической обработки основывается на системе упрощающих предположений, четкое формулирование которых является весьма сложной проблемой. Если упрощения, принимаемые при постановке задач описания характера термической обработки мясных продуктов таковы, что результат решения может быть соотнесен с изменениями качества, то принятые упрощения не искажают смысл явления и могут быть положены в основу описания процесса.

Термическая обработка колбасных изделий заключается в перераспределении теплоты, подводимой к продукту от греющей среды. Основное уравнение, устанавливающее связь между количеством подводимой теплоты и возможными статьями ее расхода, было предложено А.А.Пелеевым (1964). Экспериментальная корректировка его проведена А.М.Бражниковым и В.В.Карповым (1981).

В работах А.В.Горбатова и В.Д.Косого показано, что при термической обработке вареных колбасных изделий наблюдается расширение фарша, обусловленное главным образом структурно-механическими изменениями его компонентов [16]. Эмпирические выражения, выведенные этими авторами, позволяют рассчитать продолжительность термической обработки колбасных изделий на основе аналитического решения.

Значение критерия $F_{\text{ок}}$, соответствующего времени, в течение которого температура в центре колбасного батона ($t_{\text{центр}}$) достигает требуемого значения, определяется по формуле

$$F_{\text{ок}} = \frac{Bi + 4}{8Bi} \ell_i \left| \frac{t_{\text{ср}} - t_0}{t_{\text{ср}} - t_{\text{центр}}} \right| + F_0^{(1)},$$

где Bi - критерий Био;
 $t_0, t_{\text{ср}}, t_{\text{центр}}$ - значения температур соответственно начального момента; среды; в центре;
 $F_0^{(1)}$ - число Фурье, соответствующее продолжительности распространения температурного фронта.

При расчете размерного времени в выражение, определяющее $F_{\text{ок}}$, вводятся экспериментальные поправки в соответствии с

$$\tau_k = \frac{F_{\text{ок}} \cdot l_i}{\alpha} + 60 \tau_{\text{кон}},$$

где τ_k - продолжительность термической обработки колбасных изделий, ч;
 l_i - радиус колбасного батона, м;
 $\tau_{\text{кон}}$ - время, необходимое для удаления конденсата, с.

Предложенный метод определения продолжительности термической обработки вареных колбасных изделий может применяться при проектировании вновь создаваемого и контроле существующего оборудования [10].

П.А.Жирным, В.В.Рубаником и др. приведены результаты экспериментального определения плотности теплового потока и температуры поверхности колбасного батона при тепловой обработке потоком воздуха [14]. По результатам эксперимента рассчитаны значения коэффициента теплоотдачи по окружности батона и в зависимости от условий ведения процесса. Проведен анализ полученных данных и показана целесообразность определения продолжительности процесса тепловой обработки по количеству подведенной теплоты.

В ФРГ предложены критерии готовности мяса при тепловой обработке и рассмотрены возможности регулирования этого процесса при его полной автоматизации [41]. Проведено сопоставление динамики изменений показателей температуры внутри мяса, потерь массы, реологических свойств мяса и органолептических критериев. Установлено, что наиболее близким к органолептической оценке объективным критерием готовности мяса при автоматизированной термической обработке может быть один из реологических показателей, например, усилие среза.

G.S.Mittal, J.L.Bleisdell предложили математическую модель прогнозирования потерь массы сосисок при тепловой обработке

с учетом таких факторов, как температура и продолжительность процесса, относительная влажность среды, содержание влаги, жира, белка в продукте [46]. При сопоставлении расчетных данных с экспериментальными установлено, что они хорошо коррелируют между собой и что потери массы сосисок прямо пропорциональны температуре и обратно пропорциональны соотношению жира и белка в продукте.

В зависимости от конкретных задач производства оптимизация может быть направлена на интенсификацию процесса, улучшение качества, увеличение выхода готовой продукции. В литературных источниках приводятся данные о моделировании процесса тепловой обработки продуктов с помощью компьютеров.

R.I.Sarkin разработал метод моделирования тепловой обработки с применением компьютеров для решения эмпирических и математических выражений. Исследование режимов проводилось на примере обработки ветчины в форме в варочных аппаратах периодического действия в среде повышенной влажности. Математический анализ позволил точно рассчитать уравнения регрессии, с помощью которых можно прогнозировать санитарное состояние, органолептические показатели и выход мясопродуктов, обрабатываемых в различных варочных аппаратах при различных условиях, а также подбирать оптимальную температуру варки.

W.Lange указывает, что процессом термической обработки мясопродуктов можно управлять с помощью ЭВМ, которая учитывает температуру в центре батона и потери массы [47]. Это осуществила фирма KOSCH Suppbaies Inc. (США). Управление с использованием ЭВМ повышает надежность получения продукта заданного качества и уменьшает затраты энергии по сравнению с традиционными способами управления процессом термообработки [16]. Математическая модель процесса варки и копчения предусматривает различные геометрические формы продукта. Такие модели термообработки предполагают исходный материал однородным и изотропным, перенос тепла — за счет теплопроводности, излучение стенок — пренебрежительно малым.

Исследования, проведенные в ФРГ, показали целесообразность для оптимизации режимов варки мясных продуктов использовать величину Γ — эффект стерилизации, которая зависит от времени и температуры, необходимых для отмирания микрофлоры. Установлено, что для ливерных колбас (диаметр оболочки 60 мм, длина батона 500 мм) оптимальная температура варки 75°C , а для вареной (диаметр оболочки 150 мм, длина батона 500 мм) — 67°C [19].

Методы измерения относительной влажности при повышенных температурах

Влажность паровоздушной среды — один из важнейших параметров процесса тепловой обработки мясопродуктов. Непрерывный контроль

этого показателя с целью получения информации о ведении технологического режима особенно актуален.

В настоящее время применяют различные методы контроля относительной влажности дымо-воздушной среды. С использованием одного из таких методов разработана конструкция подогреваемого электролитического гигрометра для определения влажности по температуре насыщенного раствора электролита, при которой упругость водяного пара над его поверхностью совпадает с упругостью пара в исследуемой среде. В качестве влагочувствительного элемента, как правило, применяют насыщенный раствор хлористого лития. Если парциальное давление водяного пара в анализируемой среде выше давления пара над насыщенным раствором соли, последний поглощает влагу. Повышением температуры раствора до равновесной достигается равенство обоих давлений. Установившаяся равновесная температура однозначно определяет величину давления водяного пара измеряемой среды, а следовательно, ее влажность.

Электролитические чувствительные элементы могут работать при температурах среды выше 100°C , однако их применение при обработке мясных продуктов нецелесообразно ввиду ряда недостатков при эксплуатации: неоднозначности измерений в зонах гидратного перехода; значительного снижения чувствительности элементов при повышенных температурах и влажности; чувствительности к средам с химически агрессивными примесями.

Другой метод измерения влажности — конденсационный основан на принципе Ренью, согласно которому при равномерном охлаждении некоторого объема влажного газа парциальное давление водяных паров остается постоянным до момента насыщения. На этом принципе основано измерение влажности по точке росы. Однако во всех известных промышленных конденсационных гигрометрах нарушается одно из основных требований этого принципа — равенство температур газа и конденсата в момент насыщения. Вместо равномерного охлаждения всей массы газа обычно охлаждается лишь небольшая его часть, соприкасающаяся с холодной поверхностью, на которой конденсируется влага.

Измерение точки росы конденсационным методом сводится к выполнению следующих операций: понижение температуры зеркала, фиксация момента образования конденсата, измерение температуры зеркала.

Устройство конденсационного гигрометра определяется в основном системой индикации выпадения конденсата. В настоящее время существуют различные методы индикации, однако широкое распространение нашли лишь кондуктометрический и фотометрический. Ввиду того, что диапазон измерения конденсационных гигрометров с кондуктометрической индикацией точки росы в области отрицательных тем-

ператур ограничен температурой минус 20°C, ниже которой происходит замерзание переохлажденной росы, наиболее перспективными представляются автоматические гигрометры с фотоэлектрической системой индикации, позволяющие охватить широкий диапазон измерений (от минус 60 до минус 100°C).

Упругость водяного пара над растворами ниже, чем над поверхностью чистой воды, поэтому загрязнение поверхности зеркала гигроскопическими продуктами может привести к тому, что конденсация водяного пара начнется при температуре, превышающей точку росы.

Гигрометры с фотоэлектрической индикацией точки росы способны работать с высокой точностью, однако им присущи недостатки, связанные с содержанием в парогазовой среде примесей, влияющих на интенсивность светового потока. Использование их в термокамерах и ротационных печах нецелесообразно, так как при измерении влажности в широком диапазоне температур необходимо применять первичный преобразователь в проточном варианте с предварительно подготовленной пробой, что ведет к усложнению конструкции гигрометра; а применение устройства для очистки зеркала понижает надежность работы гигрометра вследствие загрязнения.

В гигрометрах, принцип действия которых основан на применении тепловой энергии, измерение влажности осуществляется на базе измерения косвенной величины влагосодержания — скрытой теплоты влажного воздуха. В этом случае для измерения влажности воздуха используется увеличивающаяся температура постоянного потока воды, охлаждающего постоянный поток среды, влажность которой измеряется. Чувствительный элемент представляет собой хорошо изолированный теплообменник, состоящий из двух теплопроводящих припаянных друг к другу трубок, выполненных в виде спирали. С помощью насосов-дозаторов через эти трубки проходят строго дозируемые количества дистиллированной воды и исследуемой паровоздушной среды. С целью расширения диапазона измерения в сторону малых влагосодержаний предусматривается создание противотока среды и охлаждающей воды. Температуры воды и паровоздушной среды измеряются на входе и выходе. Разность температур охлаждающей воды является мерой тепло-содержания (энтальпией) проходящей паровоздушной среды. При понижении влагосодержания и температуры среды энтальпия уменьшается, что создает минимальную разность температур воды и среды.

Данный метод целесообразно применять при измерении влажности при повышенных температурах. Однако, он имеет ряд недостатков: сложность конструкции и громоздкость первичного преобразователя, невозможность применять последний в погружном варианте, появление в паровоздушной среде примесей, сильно отличающихся от нее по теплопроводности.

Одним из наиболее распространенных в практике методов измере-

ния влажности воздуха является психрометрический, заключающийся в определении разности показаний сухого и влажного термометров [48]. Интенсивность испарения, а следовательно и температура влажного термометра, зависят от влажности окружающей среды. Чем ниже относительная влажность, тем интенсивнее испаряется вода с поверхности влажного термометра и тем ниже его температура.

В настоящее время для измерений относительной влажности широко используются разнообразные типы психрометров. Наибольшее распространение получил аспирационный психрометр М/34, в котором относительная влажность воздуха определяется по показаниям сухого и влажного термометров с помощью психрометрических таблиц.

Психрометры ПЭ, ПШТК-I-АФИ, имеющие ряд недостатков, не нашли широкого применения. Эти приборы имеют увлажняющий фитиль, надежный на влажный термометр. Для достижения точных измерений влажности важным является обеспечение постоянной его смачиваемости, плотного прилегания к поверхности влажного термометра и чистоты. Кроме того, при температурах выше 80°C наблюдается пересыхание фитиля. Этим недостатком обладает и ряд зарубежных фитильных психрометров [49, 50, 51].

Анализ существующих методов измерения влажности при температурах среды выше 100°C показал, что наиболее приемлемым является психрометрический метод с применением бесфитильных психрометрических чувствительных элементов.

Специалисты ВНИКИМПа и Тбилисского НПО "Аналитприбор" разработали конструкцию первичного преобразователя термогигрометра психрометрического типа для измерения относительной влажности парогазовых сред при температуре до 110°C [32]. Принцип действия преобразователя заключается в следующем. При подаче сжатого воздуха в эжектор парогазовая смесь проходит через сухую и влажную камеры со скоростью не менее $2,5$ м/с. При прохождении ее через дроссельные отверстия создается пульверизирующий эффект. Во влажной камере вода распыляется и перемешивается с парогазовой средой, т.е. образуется аэрозольная смесь.

С помощью термочувствительного элемента в сухой камере измеряется температура парогазовой среды, а во влажной - температура аэрозольной смеси. При этом с поверхности аэрозольных частиц смеси испаряется влага, т.е. выравнивается парциальное давление водяных паров и поверхности частиц воды и измеряемой среды. Относительную влажность смеси определяют по разности температур парогазовой и аэрозольной смесей.

Особенностью первичного преобразователя является наличие в распылительной камере теплообменника для воды, подаваемой на распыление.

Авторы разработки помещали первичный преобразователь в рабочую

камеру термоустановки, в которой создавали определенную влажность при фиксированной температуре.

В основу разработки первичного преобразователя с бесфитильным смачиванием влажного термометра заложен способ измерения влажности, заключающийся в соблюдении количественного соотношения парогазовой смеси и распыляемой воды [3].

Достоинства термогигрометров - возможность работы во всем диапазоне измерений без переключений, цифровой двоично-десятичный выход и цифровая индикация.

Образец термогигрометра прошел производственные испытания в термических камерах обработки мясных изделий на Туапсинском мясокомбинате. Экономический эффект от внедрения одного термогигрометра - около 1250 р. в год.

Тепловая обработка мясопродуктов в среде с повышенной относительной влажностью

Приведенный выше анализ литературных источников позволил авторам обзора выявить основные направления исследований с целью интенсификации процесса тепловой обработки мясопродуктов.

В настоящее время наиболее прогрессивным методом, используемым для тепловой обработки мясопродуктов, является применение электромагнитной энергии (СВЧ, ИК-излучения, электроконтактной обработки), однако она не может быть использована для обработки крупнокусковых соленых мясных продуктов (окоорока, буженины, филея из говядины, ветчины без оболочки). Применение комбинированных способов обработки этих продуктов создает дополнительные трудности в эксплуатации оборудования, загрузке и выгрузке продукта, выпуске его в масштабах предприятия. Следует отметить, что рассмотренные выше электрофизические способы тепловой обработки и в СССР, и за рубежом носят в основном полупроизводственный характер.

Традиционные методы нагрева мяса также имеют существенные недостатки: низкий выход, большую длительность процесса нагрева, на много превышающая продолжительность других операций технологического процесса производства мясопродуктов. Режимы тепловой обработки при использовании традиционных методов сложились в основном на основе практических наблюдений: тот или иной параметр, ту или иную греющую среду выбирали главным образом в зависимости от вида продукта. При этом часто не учитывались как физическая сущность процесса, так и характеристики перерабатываемого сырья.

Анализ данных, приведенных в литературных источниках, показал, что в процессе тепловой обработки снижается качество мяса и его пищевая и биологическая ценность. Изменение указанных показателей определяется в первую очередь способом и режимом тепловой обработки - степенью и продолжительностью нагрева. Повышение температуры

и увеличение продолжительности процесса снижают эти показатели. Биологическая ценность пищевых продуктов, подвергнутых тепловой обработке небольшой продолжительности с высокой температурой, выше, чем обработанных при более низкой температуре и более длительно.

Совершенствование существующих способов тепловой обработки мясных продуктов осуществляется с целью обеспечения высокой производительности труда при одновременном сокращении потерь массы изделий, улучшения их качества и экономии энергоресурсов.

Проблема совмещения интенсификации процесса с улучшением качества продуктов при модернизации традиционных способов тепловой обработки очень сложна. В последние годы широкое распространение получило изыскание новых путей создания технологических процессов с повышенными экономическими показателями и возможности быстрого внедрения их в промышленность. Один из таких путей - ввод в атмосферу нагретого воздуха термокамеры (120-150°C) паровоздушной смеси.

Непременное условие использования в промышленности прогрессивных методов - выявление механизма их воздействия на обрабатываемое изделие. Изучение процесса тепловой обработки мясoproдуктов в среде повышенной относительной влажности можно считать актуальным, так как направлено на его интенсификацию.

Тепловая обработка мяса указанным способом отличается от традиционной технологии механизмом нагрева, меньшей продолжительностью, а также незначительными изменениями мышечной и соединительной тканей.

В настоящее время наиболее изучены изменения мышечной ткани говядины и свинины в процессе тепловой обработки при температурах выше 100°C. Это относится как к химическим, так и к технологическим показателям. Полученные при этом данные не коррелируют с результатами, полученными при введении в греющую среду острого пара, создающего высокую относительную влажность. В литературе отсутствуют данные об изменениях свойств мяса при его обработке в интервале температур 110-160°C при относительной влажности греющей среды 30-60%. Комплексного изучения изменений температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в камере и их влияния на изменение химических и технологических показателей не проводилось.

В настоящее время в промышленности тепловую обработку крупнокусковых мясoproдуктов осуществляют в ротационных печах или термоагрегатах с использованием радиационно-контактного энергоподвода.

Тепловая обработка соленых крупнокусковых мясoproдуктов характеризуется переносом тепла и влаги в изделиях, выплавлением жира и выделением экстрактивных веществ и витаминов. Эти процессы взаимно влияют друг на друга и их взаимосвязи зависят от выбора программы

термического режима, что определяет механизм тепловой обработки. Прогрев вызывает появление в продукте влажностного и температурного градиентов, которые обуславливают перемещение влаги от внутренних к поверхностным слоям. При их совпадении определяется направление соответствующих потоков влаги, которые суммируются в один общий поток, характеризующийся зависимостью (Л.А. Кузьменко, С.А.Александров, 1979)

$$U = U_{\text{и}} + U_{\text{о}} = -K_{j_0} \Delta W - K_{j_0} \delta \Delta \theta_{\text{в.п.}}$$

где $U_{\text{и}}$ - плотность потока влагопроводности, кг/м².ч;
 $U_{\text{о}}$ - плотность потока термовлагопроводности, кг/м².ч;

$K = \frac{\epsilon}{e j_0}$ - коэффициент потенциалопроводности влаги (аналогично коэффициенту температуропроводности a), м²/с;

ϵ - коэффициент массопроводности;

e - основание натурального логарифма;

j_0 - масса абсолютного сухого продукта в единице объема влажного продукта, м²;

ρW - удельная массопроводность изделия, кг/м³;

$\theta_{\text{в.п.}}$ - удельное влагосодержание, отнесенное к единицу массы сухого остатка;

$\nabla \theta_{\text{в.п.}} = \frac{\partial \theta_{\text{в.п.}}}{\partial x} \bar{u} + \frac{\partial \theta_{\text{в.п.}}}{\partial y} j + \frac{\partial \theta_{\text{в.п.}}}{\partial z} \bar{e}$ - градиент температуры, К/мин;

δ - коэффициент термовлагопроводности.

$$\delta = \left(\frac{\partial U}{\partial \theta_{\text{в.п.}}} \right)_W$$

где $\frac{\partial U}{\partial \theta_{\text{в.п.}}}$ - температурный коэффициент, характеризующий изменение потенциала переноса влаги в зависимости от изменения потенциала переноса тепла.

Движение влаги по этому закону под действием температурного градиента (тепловлагопроводность) при нагреве мясных изделий складывается из следующих явлений: молекулярной термодиффузии влаги, происходящей за счет разной скорости движения молекул нагретых и холодных слоев продукта; капиллярной проводимости, обусловленной изменением капиллярного потенциала, пропорционального поверхностному натяжению, которое уменьшается с повышением температуры внутри изделия; перемещения воздуха, расширяющегося в парах и вызывающего увеличение упругости водяных паров, что приводит к уменьшению влажности, так как расширяющийся воздух проталкивает жидкость к слоям с более низкой температурой.

При тепловой обработке мясopодуkтов традиционным методом в начальной стадии внутренние слои продукта прогреваются очень медленно, в то время как поверхностные за счет значительной плотности

теплового потока прогреваются интенсивнее, что приводит к их обезвоживанию.

Недостаток известных традиционных способов в том, что белково-жировые ткани мясopодуктов в процессе нагревания претерпевают различные изменения, связанные с дегидратацией и денатурацией белков. Все это вызывает перемещение влаги в изделиях и ее распределение по слоям. В этом случае тепломассообменные процессы проходят хаотично и приводят к большим потерям влаги за счет испарения и вытекания мясного сока, потерям экстрактивных веществ, а следовательно, к ухудшению аромата и других качественных показателей продукта, снижению его выхода. Поэтому одним из перспективных направлений является тепловая обработка мясopодуктов в среде повышенной влажности.

Введение острого пара в рабочее пространство термоагрегата (абсолютная влажность воздуха - 40-50%) при тепловой обработке при температурах греющей среды выше 100°C приводит к изменению характера массообменных процессов. Высокая абсолютная влажность греющей среды препятствует выделению влаги из поверхностных слоев, вследствие чего возникает равновесие между поверхностным слоем и окружающей его средой, что обуславливает интенсивный и равномерный прогрев продукта, снижение количества вытекающего мясного сока, а с ним водорастворимых белков, уменьшение потерь легколетучих компонентов и жира. Заданная относительная влажность обеспечивает снижение градиента влажности между продуктом и греющей средой, способствует снижению перегрева и обезвоживания поверхностного и прилегающих к нему слоев[9].

Во ВНИКИМПе проведены работы по исследованию одного из перспективных способов обработки крупнокусковых соленых мясных продуктов в среде повышенной влажности, в процессе которых решались следующие задачи: определение влияния условий тепловой обработки (температура 110-160°C, относительная влажность 20-25%, скорость движения воздуха - 1-5 м/с) на скорость нагрева и качественные изменения мясных продуктов; изучение влияния данного способа на физико-химические, органолептические показатели продуктов, их пищевую и биологическую ценность с целью изыскания возможности интенсификации процесса при максимальном сохранении качества по сравнению с существующими способами; разработка рекомендаций по выбору режима тепловой обработки крупнокусковых соленых мясopодуктов из свинины и говядины предложенным способом; расчет экономической эффективности предлагаемого способа обработки.

Исследования проводились на экспериментальной установке с конвективно-радиационным обогревом, разработанной специалистами ВНИКИМПа и в термокамере ФОСС (ФРГ). Контроль, измерения, запись и

регулирование температуры в камере осуществляли с помощью датчика-термопары ТХК-539 в комплекте с электронным потенциометром КСП-4, регулирование и контроль влажности — при помощи мокрого термометра ТХК-539, температуры в центре образцов — игольчатого датчика-термопары ТХК-0033.

Объектом исследований служила филейная часть говяжьих туш, предварительно зачищенная от сухожилий. Образцы, приготовленные в соответствии с технологической инструкцией, подвергали обработке в установке, где поддерживался заданный режим. В процессе тепловой обработки контролировали температуру в центре образца, длительность процесса. В готовом продукте определяли выход, пищевую и биологическую ценность, органолептические показатели. Полученные результаты сравнивались с контрольными, тепловая обработка которых производилась при традиционном термическом режиме.

Первоначально определяли влияние температуры тепловой обработки говяжьего филея (от 100 до 180°C с интервалом 10°C при относительной влажности от 60 до 70%) на длительность процесса, уменьшение массы и качество продукта. Процесс заканчивали по достижении температуры в центре образца 72°C.

Результаты экспериментов приведены в табл. I.

Т а б л и ц а I

Температура термообработки, °С, при относительной влажности воздуха 60-70%	Продолжительность процесса, мин	Потери массы, %	Общая органолептическая оценка по пятибалльной шкале, балл
100	70	32	4,6
110	68	31	4,6
120	66	30	4,7
130	64	31	4,6
140	61	33	4,5
150	59	33	4,4
160	54	34	4,3
170	51	35	4,2
180	48	37	4,2

Анализ результатов исследования позволил выявить условия обработки мясопродуктов, при которых происходят минимальные потери массы. Математическая обработка данных показала, что процесс надо вести в две стадии: в начале температуру греющей среды необходимо поддерживать на уровне 110-130°C, а относительную влажность — 55-75%. Это объясняется тем, что в период прогревания продукта в нем аккумулируется тепло, что сопровождается повышением давления водяных паров и приводит к интенсивному теплообмену между продуктом и

греющей средой. Введение острого пара в рабочее пространство термокамеры — своеобразный барьер, служащий для уменьшения потерь массы. При этом исключается равномерная скорость влагоотдачи и выплавления жира.

Повышенная влажность способствует ускорению денатурации белков внутренних слоев продукта и обеспечивает оптимальное соотношение минимальных длительности прогрева продукции и общей потери массы изделий.

Первую стадию процесса проводят до температуры в центре батона $60-65^{\circ}\text{C}$, при которой завершаются основные физико-биологические превращения, влияющие на качество обрабатываемого продукта.

На второй стадии температуру греющей среды повышают до $150-170^{\circ}\text{C}$, а относительную влажность снижают до 25–30%. Завершается процесс при температуре в центре образцов 72°C . Установлено, что на этой стадии потери массы зависят от длительности обработки (в основном) и в меньшей степени от температуры греющей среды, потери массы снижаются в результате уплотнения верхних слоев продукта, коагуляции белков и уменьшения размера микропор в структуре слоя [30].

С учетом сказанного, авторами были проведены исследования по установлению оптимальных параметров тепловой обработки при двухстадийном процессе. При этом определили ее продолжительность, потери массы, физико-химические и органолептические показатели. Результаты исследований приведены в табл. 2.

В ходе исследований было установлено, что при различной температуре, но при одинаковой относительной влажности продукт прогревается неодинаково. Анализ полученных результатов показал, что наименьшие потери массы продукта — при $120-130^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 60–70%, а при температуре $150-180^{\circ}\text{C}$ и относительной влажности 30–40% потери массы резко возрастают, что, в свою очередь, приводит к снижению качества готового продукта (по органолептическим показателям и пищевой ценности).

При тепловой обработке мяса температура и относительная влажность среды влияют на гидратацию мышечных белков и соотношение белок:жир:вода, которые изменяют показатели готового продукта. Установлено, что при быстром темпе нагрева при относительной влажности 60–70% и высокой температуре $160-180^{\circ}\text{C}$ белки коагулируют, значительно деформируясь, при этом разрушаются жировые клетки, в первую очередь на поверхности продукта и в слоях, прилегающих к ней. При такой термообработке фазовые изменения поверхностных слоев происходят в меньшей степени, чем при традиционном способе нагрева. Быстрые денатурационные превращения белковых фракций за счет повышенной влажности греющей среды приводят к сокращению длительности обработки.

Таблица 2

Стадия тепловой обработки	Температура, С	Относительная влажность, %	Потери массы, %	Продолжительность обработки, мин	Массовая доля, %		Усиление среза, Ю ⁴ Па	ОБЦ, %	Органо-лепгическая оценка, баллы	Содержание витаминов, мг%	
					жира	влаги				В ₁	В ₂
Свежий образец	I	45	-	-	4,7	75,5	-	72,4	-	0,113	0,17
	II	25	72	62	2,6	71,4	20,8	64,5	4,8	0,97	0,11
I	135	50	68	60	2,2	70,6	27,2	63	4,7	0,94	0,10
	155	30									
I	145	55		54	1,7	69,6	28,7	61,5	4,6	0,85	0,90
	165	35	64								
I	115	40		73	2,4	71,0	26,6	63,5	4,8	0,93	0,10
	155	20	70								
I	105	35	71	79	2,5	71,2	26,2	63	4,7	0,92	0,90
	125	15									

Наряду с исследованиями изменений основного химического состава большое значение имеет определение влияния различных параметров термобработки на сохранение в готовом продукте наиболее лабильных компонентов. В табл.2 представлены данные по содержанию витаминов - тиамина (B_1) и рибофлавина (B_2) в мышечной ткани готового продукта. Высокая относительная влажность в сочетании с умеренной температурой приводит к незначительному их уменьшению (на 10-15%); повышение температуры приводит к уменьшению их на 20-25%.

Относительную белковую ценность (ОБЦ) определяли по формуле

$$\text{ОБЦ} = \frac{\text{КЭБ}_0}{\text{КЭБ}_K},$$

где КЭБ_0 и КЭБ_K - коэффициенты использования белка соответственно опытного и контрольного продукта [34].

Анализ изменения относительной биологической ценности готовых мясопродуктов из говядины и потерь массы продукта показал высокую корреляционную зависимость (0,96) между этими показателями и длительностью обработки, кроме того, они зависят также от температуры и влажности среды.

Усилие среза возрастает с повышением температуры обработки, что приводит к уплотнению и обезвоживанию мышечной ткани. Однако повышенная влажность среды препятствует уплотнению поверхностных слоев опытных образцов, что уменьшает усилие среза по сравнению с образцами, обработанными при традиционном режиме.

При оценке органолептических свойств не выявлено статистически достоверных различий во вкусе, а также цвете на разрезе опытных образцов по сравнению с контрольными. Кроме того, опытные образцы были более сочными, имели лучшие аромат и консистенцию.

Анализ и обобщение результатов исследований позволили предложить новую технологию тепловой обработки крупнокусковых соленых мясных продуктов [8]. Осуществляется она в два этапа. На первом температуру греющей среды поддерживают на уровне 120-130°C при относительной влажности 50-60% до температуры в центре продукта 60°C. На втором этапе температура греющей среды - 140-150°C, относительная влажность - 20-30%; нагрев продолжают до температуры в центре образца 72°C.

Проверка этого способа в производственных условиях подтвердила целесообразность его применения на существующем промышленном оборудовании (табл.3).

В табл.4 приведены данные сравнительных исследований опытных и контрольных образцов мясопродуктов; выработанных по предлагаемой технологии.

Таблица 3

Показатели	Термоагрегат	
	базовый вариант	проектируемый вариант
Единовременная загрузка, т	0,2	0,2
Расход пара, кг	—	20
Мощность электронагревателя, кВт	135	135
Длительность обработки, мин	120	80,4
Стоимость пара на выработку 1 т продукции, р.	—	0,65
Стоимость электроэнергии на 1 т продукции, р.	33,75	22,61

Таблица 4

Показатели	Продукты					
	филей говяжий		спинная мышца свиной полутуши		заднотазовая часть свиной полутуши	
	опыт	контроль	опыт	контроль	опыт	контроль
Температура греющей среды, °С						
I этап	120	135	120	135	120	135
II этап	150		160		150	
Влажность греющей среды, %						
I этап	40-50	10	40-50	10	40-50	10
II этап	20-30		20-30		20-30	
Масса образца, кг	1,5	1,5	1,5	1,5	5	5
Длительность обработки, мин	64	100	59	90	210	300
Усилие среза, Па·10 ⁴ :						
поверхностный слой	3,1	4,1	2,4	3,4	2,6	3,1
центральный слой	2,9	3,8	2,1	2,9	2,4	2,8
Общая органолептическая оценка по пятибалльной системе, балл	4,8	4,6	4,8	4,5	4,9	4,7
Выход, %	72	65	74	66	69	65

Предлагаемая технология позволяет интенсифицировать процесс термообработки крупнокусковых соленых мясопродуктов; продолжительность процесса для говяжьего филея, спинной мышцы и заднетазовой части свиной полутуши снизились соответственно на 36%, 34,5 и 30%. Продукты, выработанные по этой технологии, имеют более высокую биологическую ценность и органолептическую оценку.

Конечная цель исследований – решение проблемы устойчивого поддержания и регулирования режимных параметров теплового процесса.

Развитие систем автоматического управления процессом дает способы реальной возможности стабилизации качества продукции. Для тепловой обработки мясопродуктов были сформулированы следующие задачи: имея динамические характеристики изменения параметров мясопродуктов и динамические характеристики теплового оборудования, определить степень стабильности качества выходящей готовой продукции.

Для промышленной реализации способа тепловой обработки в среде повышенной влажности были исследованы динамические характеристики промышленного оборудования и разработана модель оптимального управления, состоящая из неоднородных дифференциальных уравнений с распределительными параметрами. В результате решения этих уравнений с учетом технологических ограничений, накладываемых на процесс, и моделирования многоконтурной системы автоматического регулирования получены оптимальные режимы настройки автоматических регуляторов и разработана система управления предлагаемым способом тепловой обработки крупнокусковых соленых мясопродуктов.

За рубежом в этом направлении также работают специалисты мясной промышленности. Например, L. Wechel с целью оптимизации процесса копчения предлагает осуществить его в две стадии; первая – копчение при высокой относительной влажности воздуха (85%) до образования легкой желто-коричневой окраски поверхности продукта, вторая – копчение при низкой относительной влажности и открытом клапане для подачи свежего воздуха [36].

Я. Конрад предлагает модифицированный метод варки окороков, так называемый щадящий. Он сводится к следующему: начальный этап варки осуществляют при относительно низкой температуре – 40°C, затем ее медленно повышают до 60°C; заканчивают процесс при температуре 65°C. Общая продолжительность тепловой обработки составляет 5–7 ч (в зависимости от массы продукта).

Я. Конрад приводит сведения по изучению влияния относительной влажности воздуха в тепловых агрегатах на продолжительность тепловой обработки, выход и товарный вид готового продукта. Он указывает, что на характер тепловой обработки мясопродуктов влияет ряд факторов, наиболее важные из которых – конструкция камеры, температура, относительная влажность и скорость движения воздуха, а также вид обрабатываемого продукта.

Проведенные им исследования влияния различной влажности воздуха при тепловой обработке двух видов продукции (болонской колбасы в оболочке большого диаметра и окорока с костью) на их качественные характеристики, позволили установить, что, прежде всего, этот фактор влияет на потери массы при тепловой обработке. Низкая относительная влажность усиливает испарение влаги с поверхности продукта и увеличивает потери массы, а длительная тепловая обработка при таких условиях может привести к образованию жесткой корочки на его поверхности. Водяной пар намного увеличивает теплоемкость и способность к теплопереносу воздуха в камере. Пониженная потеря влаги продуктом при высокой относительной влажности также снижает испарительный охлаждающий эффект. Поэтому высокая относительная влажность способствует более быстрому нагреву продукта, большему осаждению дыма, но обычно ухудшает цветообразование и цвет его поверхности бывает бледным. Желательный красновато-коричневатый цвет интенсивнее образуется при пониженной влажности. На практике же выбирается компромиссное значение относительной влажности, между степенью осаждения дыма и цветообразованием. Автор считает, что уровень относительной влажности необходимо устанавливать для каждого обрабатываемого продукта индивидуально.

По мнению D. Buege тепловую обработку мясopодуKтов следует начинать при относительной влажности в пределах 40-50% (после первоначальной подсушки), а затем по мере необходимости вносить коррективы для достижения готовым продуктом необходимых характеристик. Ученые университета штата Небраска (США) провели исследования влияния относительной влажности (35,5 и 75%) при тепловой обработке болонской вареной колбасы до температуры в центре батона 68,3°C на ее качественные характеристики [31].

В университете штата Висконсин (США) аналогичные исследования провели при изготовлении окороков из парного мяса при температуре среды 82,2°C, относительной влажности 25 и 75% до достижения в центре продукта температуры 65,5°C. Результаты исследования показали, что при более высокой относительной влажности потери массы при тепловой обработке снижаются (для колбас составляют соответственно - 4,2, 3,6, 3,2%; для окороков - 8,7 и 7,1%), продолжительность процесса сокращается (для колбас с 7,8 ч при относительной влажности 35,5% до 6,0 ч при 75%; для окороков - с 12 ч при 25% до 7,4 ч при относительной влажности 75%).

Установлено, что при более низкой относительной влажности поверхность продукта более жесткая. Органолептическая оценка полученных образцов показала, что при всех значениях относительной влажности продукты имели хорошее качество. При оценке окороков отмечены только различия в окраске поверхности, которая была более бледной в случае относительной влажности равной 75%.

Заключение

Анализ отечественных и зарубежных источников информации позволял обобщить данные по известным способам подвода тепла и влаги при тепловой обработке мясопродуктов и наметить основные направления исследований для достижения интенсификации процесса, выбрать метод измерения влажности при высоких температурах.

Основными перспективными методами тепловой обработки мясопродуктов можно считать применение СВЧ-энергии и ИК-излучения.

Использование СВЧ-энергии дает возможность значительно интенсифицировать процесс, однако всегда следует учитывать, что СВЧ-нагрев наиболее эффективен в режиме объемного нагрева изделий. При других тепловых режимах, например термостатировании, целесообразно применять более доступные источники теплоты — пар, горячий воздух и пр. Такая комбинация СВЧ-нагрева с другими теплоносителями позволяет создавать наиболее рациональные технологические процессы.

Использование СВЧ-энергии в тепловых технологических процессах позволяет на 25–40% снизить удельный расход энергии, стабилизировать выход и качество готового продукта. Следует также учитывать, что СВЧ-энергоподвод дает возможность автоматизировать технологический процесс.

Способность ИК-излучения генерировать тепловой поток большой плотности на поверхности и проникать в толщу продукта создает возможность его использования в тепловых процессах для обработки мясопродуктов.

При тепловой обработке у большинства пищевых продуктов меняется цвет, степень шероховатости и пр. Отличительная особенность ИК-нагрева — прямолинейное распространение излучения, поэтому излучатели в аппарате поверхностной термообработки колбас расположены над обрабатываемым продуктом. Расположение излучателей снизу практически неосуществимо, так как выделяющийся жир и бульон загрязняют излучатели и отражатели.

Необходимо при разработке методов тепловой обработки мясных продуктов с помощью математических методов установить связь между теплофизическими изменениями, претерпеваемыми продуктом, и его качеством.

В настоящее время для интенсификации процесса тепловой обработки рационально использование способа, разработанного во ВНИКИМПе, предназначенного для обработки крупнокусковых соленых мясопродуктов в среде повышенной относительной влажности.

Авторами обзора предложена технология тепловой обработки крупнокусковых соленых мясопродуктов, при которой они имеют более высокую пищевую биологическую ценность и органолептическую оценку по отдельным показателям (сочности, аромату, консистенции). При этом продолжительность процесса при выработке говяжьего филея,

спинной мышцы и заднегрудной части свиной полутуши сокращается соответственно на 36%, 34,5 и 30%.

Проверка способа в производственных условиях подтвердила целесообразность его применения с использованием существующего промышленного оборудования с небольшими затратами на его модернизацию. Экономия энергетических затрат составляет 10,49 р. на 1 т продукции.

Литература

1. Основные направления социального и экономического развития СССР на 1986-1990 годы и на период до 2000 г. М.: Политиздат, 1986.
2. Горбачев М.С. Агропромышленному производству интенсивное развитие. М.: Политиздат, 1986.
3. А.с. 594447 СССР. К.А.Согоян, Г.В.Бауэр, П.А.Пиджимян и др. Преобразователь влажности газа. - Оpubл. Б.И. 1978. № 7.
4. А.с. 1061797 СССР. А61 В 10/00, G01 N 33/02. Н.Н.Пятницкий, В.М.Жмиченко, Н.П.Сугоняева и др. Способ определения безвредности пищевых продуктов или техногенных веществ, содержащихся в них. - Оpubл. Б.И. 1983. № 47.
5. А.с. 1076810 СССР. Н.Н.Пятницкий, В.М.Жмиченко, Н.П.Сугоняева и др. Способ определения безвредности продуктов питания G 01 N 1/28, А61 В10/00. - Оpubл. Б.И., 1984. № 8.
6. А.с. 1120954 СССР, МКИ А 22 С 11/00. А.Н.Спиркин, Л.А.Бушкова, Г.Е.Лимонов. Способ приготовления мясопродуктов. - Оpubл. Б.И. 1984. № 40.
7. А.с.1178386 СССР В.И.Волчков, Г.В.Дьяченко, И.А.Рогов и др. МКИ А22 с 17/00. Способ тепловой обработки окороков. - Оpubл. Б.И. 1985. № 34.
8. А.с. 1205867 СССР, МКИ А23 В4/00. С.А.Александров и др. Способ термической обработки мясных изделий. - Оpubл. Б.И. 1986. № 3.
9. Александров С.А. и др. Исследование тепловой обработки мясопродуктов в среде высокой относительной влажности//Материалы XXXI Европейского конгресса научных работников мясной промышленности. С. 510-512.
10. Бражников А.М. Определение продолжительности термической обработки вареных колбас//Мясная индустрия СССР. 1985. № 2. С. 32-34.
11. Бражников А.М. Математическое описание процессов термической обработки мясных продуктов//Мясная индустрия СССР. 1986. № 4, С.38-40.
12. Граф В.А., Кузнецов А.С. Современное оборудование для мясной промышленности ("Мясомолш-1983"): Обзорная информация. - М.: ЦНИИТЭИМясомолпром, 1983. (Мясная промышленность).

13. В.В.Гутиков и др. Характеристика липидов изделий из рубленого мяса при жареньи в поле инфракрасного излучения//Известия высших учебных заведений: Пищевая технология. Краснодар, 1985. № 3. С.31-34.

14. Жирный П.А. и др. Новая технология и техника для внедрения в мясной промышленности малоотходного и безотходного производства. Киев, 1984. С.14-19.

15. Зедлец И.И. Определение основных режимных параметров термообработки вареных колбасных изделий//Мясная индустрия СССР, № 5. С. 35-39.

16. Косой В.Д. Совершенствование процесса производства колбасных изделий. М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. С.236.

17. Литус Ю.Ф. и др. Исследование процесса жаренья мясных изделий в условиях различной влажности среды//Известия высших учебных заведений: Пищевая технология, Краснодар, 1985. № 3. С.28-30.

18. Литус Ю.Ф. и др. Выбор ИК-генераторов для жаренья мясных продуктов//Известия высших учебных заведений: Пищевая технология, Краснодар, 1985. № 5. С.93-95.

19. Мелехова Н.Н. Улучшение качества мясных продуктов: Обзорная информация. М.: ЦНИИТЭИмясомолпром, 1985. (Мясная промышленность).

20. Педенко А.И. и др. Характеристика качества жира мясных продуктов, обработанных СВЧ-нагревом//Рациональное питание. Киев, 1982. № 17. С.102.

21. Проспект фирмы Armor Inox (Франция).

22. Проспект фирмы Micrody Corp. (США).

23. Проспект фирмы Termal jet Ltd. (Великобритания).

24. Проспект фирмы Tustin Meat and Provisioner (Великобритания).

25. Рогов И.А. и др. Комплексная оценка качества вареных колбас микроволновой термообработки//Мясная индустрия СССР, 1985, № 8, С.41-43.

26. Рогов И.А., Нехрутман С.В. Сверхвысокочастотный нагрев пищевых продуктов. М.: Агропромиздат, 1986. 350 с.

27. Сборник рецептов блюд и кулинарных изделий для предприятий общественного питания. М.: Экономика, 1982. 720.

28. Симовьян С.В. и др. Особенности нагрева продуктов в СВЧ-печах с поверхностной волной//Известия высших учебных заведений: Пищевая технология. Краснодар, 1985. № 3. С. 48-50.

29. Симовьян С.В., Селютин В.М., Благоразумова О.В. Особенности приготовления диетических блюд в СВЧ-печах с поверхностной волной//Известия высших учебных заведений: Пищевая промышленность. Краснодар, 1985. № 5. С.112-114.

ПРОСИМ В МЕСЯЧНЫЙ СРОК ЗАПОЛНИТЬ И ВЫСЛАТЬ ТАЛОН В АДРЕС ИНСТИТУТА: 127254, МОСКВА, УЛ.РУСТАВЕЛИ, 14, АГРОНИИТЭИММП

ТАЛОН ОБРАТНОЙ СВЯЗИ

ОРГАНИЗАЦИЯ (ПРЕДПРИЯТИЕ) _____

НАЗВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА, ВИД ИЗДАНИЯ, НОМЕР ТЕМАТИЧЕСКОЙ СЕРИИ, НОМЕР ВЫПУСКА, ГОД ИЗДАНИЯ

1. ОЦЕНКА ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

- 1.1. АКТУАЛЬНОСТЬ МАТЕРИАЛА (ВЫСОКАЯ, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ, НИЗКАЯ)
- 1.2. НОВИЗНА СОДЕРЖАЩЕЙСЯ ИНФОРМАЦИИ (ВЫСОКАЯ, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ, ОТСУТСТВУЕТ)
- 1.3. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ УРОВЕНЬ ПОДГОТОВКИ МАТЕРИАЛА (ВЫСОКИЙ, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНЫЙ, НИЗКИЙ)
- 1.4. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ (ВЫСОКАЯ, УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНАЯ, НИЗКАЯ)

2. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

- 2.1. ДЛЯ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ _____

(ПРИКАЗ, РАСПОРЯЖЕНИЕ, ДИРЕКТИВНОЕ ПИСЬМО, СОВЕЩАНИЕ)

- 2.2. ДЛЯ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОБЩЕСОЮЗНЫХ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОГРАММ, ОТРАСЛЕВЫХ ПРОГРАММ И ОСНОВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ОТРАСЛИ

3. ОЖИДАЕМЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

- 3.1. НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (В ЧЕМ ВЫРАЗИТСЯ) _____

- 3.2. СОЦИАЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ (В ЧЕМ ВЫРАЗИТСЯ) _____

- 3.3. ЭКОНОМИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (ПРЕДПОЛАГАЕМАЯ ВЕЛИЧИНА) _____

ПРОСИМ СООБЩИТЬ ПРЕДЛОЖЕНИЯ, ПОЖЕЛАНИЯ И ЗАМЕЧАНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА УЛУЧШЕНИЕ КАЧЕСТВА ИНФОРМАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ _____

ДАТА

РУКОВОДИТЕЛЬ ОРГАНА НИИ