

УДК [664.951.3 : 664.951.039.051] : 664.8.037

Оптимизация условий и сроков хранения новых видов подкопченной рыбопродукции, изготовленной с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором

**Ю.В. Шокина¹, О.А. Кирилук¹, К.В. Зотова³, Н.М. Путинцев³,
Е.Е. Белокопытова²**

¹ *Технологический факультет МГТУ, кафедра технологии пищевых производств*

² *Биологический факультет МГТУ, кафедра микробиологии*

³ *Технологический факультет МГТУ, кафедра химии*

Аннотация. Разработана технология изготовления деликатесного подкопченного рыбного филе из малоиспользуемого на российском рынке сырьевого объекта – пангасиуса. С применением современных методов математического планирования эксперимента получена математическая модель технологического процесса производства нового вида продукции. С помощью модели рассчитаны оптимальные значения основных технологических параметров. Обоснована методология расчета интегрального показателя качества продукции, изготавливаемой с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором. Исследованы закономерности биохимических, микробиологических изменений в тканях подкопченной рыбной продукции. Предложена математическая модель процесса хранения рыбной продукции на основе учета разработанного интегрального показателя качества в зависимости от основных влияющих факторов. С помощью модели оптимизированы условия и сроки хранения продукции. Доказана безопасность готовой продукции по содержанию полиароматических углеводородов, свидетельствующая о канцерогенной безопасности дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором.

Abstract. The technology of production of delicious half-smoked fish from pangasius has been developed. The mathematical model of technological process has been worked out, on its base some optimal values of main technological parameters have been determined. The parameters of the new product quality and the method of its determination have been considered. The biochemical and microbiological processes in half-smoked fish tissues during storage have been studied. The mathematical model of storage process has been developed as well.

1. Введение

В настоящее время обязательным требованием успешного развития рыбообработывающего предприятия является повышение качества продукции как комплексного интегрального показателя, включающего в себя технологическую, экономическую, товароведческую составляющие (безопасность, высокие потребительские свойства, биологическую и пищевую ценность, оптимальные обоснованные сроки годности).

Копченая продукция традиционно считается одной из наиболее востребованных категорий мясных и рыбных продуктов. Однако в технологии ее изготовления имеется значительный недостаток. Генерация дыма традиционными способами зачастую не может обеспечить разложение древесины при температуре, не превышающей 380-400°C, чтобы исключить риск образования опасных для здоровья человека веществ. Широко используемые в последнее время коптильные препараты и жидкости лишь отчасти решают проблемы безопасности продукции.

На кафедре технологии пищевых производств (ТПП) МГТУ был разработан способ получения коптильного дыма с использованием энергии инфракрасного излучения и устройство для его осуществления – ИК-дымогенератор периодического действия (Ершов А.М., Шокина Ю.В. – приоритет подтвержден Патентом РФ № 2171033, 1999 г.; Ершов А.М., Шокина Ю.В., Обухов А.Ю. – приоритет подтвержден Патентом РФ № 2004118474/13, 2005 г.). Главным достоинством ИК-дымогенератора является возможность вести пиролиз древесного топлива при температуре, не превышающей 400°C, что минимизирует риск образования канцерогенных веществ. Однако, как показала производственная эксплуатация ИК-дымогенератора, понижение температуры разложения древесины до 350-380°C ведет к

уменьшению содержания в дыме окрашивающих компонентов, что сказывается на потребительской привлекательности рыбной продукции традиционного дымового холодного копчения. В 2005 г. на кафедре ТПП МГТУ была разработана технология изготовления подкопченного рыбного филе (скумбрия атлантическая, сельдь атлантическая) с использованием дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором. Данная технология позволила получать продукцию дымового копчения не только привлекательную для потребителя, но и безопасную для его здоровья – с пониженным содержанием канцерогенных веществ.

Целью проводимых исследований стала оптимизация технологического процесса изготовления подкопченной рыбы с использованием дымовой среды ИК-дымогенератора, а также обоснование оптимальных сроков годности продукции на основе усовершенствованной методики комплексной оценки ее качества.

2. Объекты и методы исследования

Эксперименты проводили на опытно-промышленном образце ИК-дымогенератора, изготовленном на кафедре ТПП МГТУ, и размещенном в научно-производственной лаборатории современных технологических процессов переработки гидробионтов (СТППГ) той же кафедры. В качестве топлива выбраны опилки листовых пород деревьев по ТУ 13-322-76 "Сырье древесное для копчения" с удельной поверхностью от 9 до 20 м²/кг и начальной влажностью от 20 до 70 %.

При совершенствовании технологии подкопченного рыбного филе определяли следующие качественные показатели сырья и готовой продукции:

- химический состав (массовая доля поваренной соли, влаги, белкового азота, жира, кислотное (КЧ) и пероксидное числа (ПЧ) экстрагированного из тканей жира, азот летучих оснований (АЛО)) определяли стандартными методами по ГОСТ 7636, отбор проб и подготовка проб к лабораторным исследованиям – по ГОСТ 7631;
- массовую долю аминного азота (АА) – формальным титрованием;
- активную кислотность – потенциометрическим методом по ГОСТ 28972;
- альдегидное число (АЧ) экстрагированного по методике Блая – Дайера из мышечной ткани жира – фотоколориметрированием с бензидином;
- водоудерживающую способность тканей (ВУС) – по ГОСТ 7636;
- органолептические показатели – по специально разработанной пятибалльной шкале с введением коэффициентов значимости.

Гигиенические исследования подкопченного рыбного филе проводились на основе обязательных комплексных исследований, в соответствии с утвержденными в установленном порядке методами контроля регламентируемых показателей. При микробиологическом контроле все образцы продукции были исследованы на:

- присутствие мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов (МАФАНМ) по ГОСТ 10.444.15.

Построение математических моделей исследуемых процессов и поиск оптимальных условий их протекания осуществлены по методу Бокса – Уилсона с использованием центральных ортогональных композиционных планов (Саутин, 1975). Расчет коэффициентов уравнений регрессии, проверку адекватности уравнений регрессии и поиск оптимума полученной функции в заданной области факторного пространства осуществляли на ПЭВМ с использованием компьютерной программы DataFit Ver. 8.1.

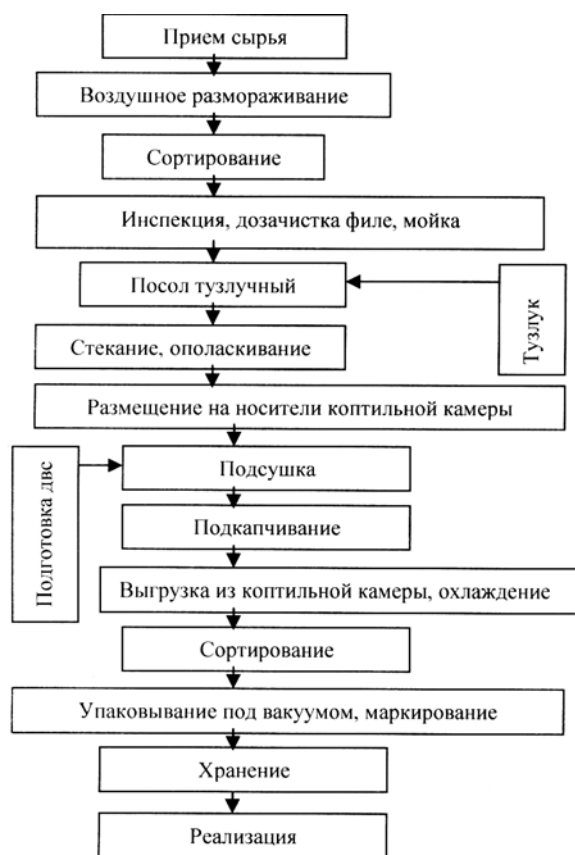


Рис. 1. Технологическая схема изготовления пангасиуса филе подкопченного

3. Результаты и их обсуждение

3.1. Разработка технологии изготовления пангасиуса филе подкопченного и оптимизация основных параметров технологического процесса

Технологическая схема производства филе пангасиуса подкопченного представлена на рис. 1.

Как было установлено в ходе предварительных экспериментов, ключевыми факторами, влияющими на качество готовой подкопченной продукции, изготавливаемой с использованием дымовой среды ИК-дымогенератора, являются факторы, определяющие скорость формирования в ней основных технологических эффектов копчения (цвета, вкуса и аромата копчености, консервирующего эффекта, включающего бактерицидный, антипротеолитический и антиокислительный). Одновременно эти факторы определяют интенсивность тепло- и массообмена. К указанным факторам относятся температура дымовоздушной смеси X_1 (°C), а также продолжительность контакта обрабатываемого полуфабриката с коптильной средой, X_2 , (ч). Все остальные влияющие факторы (химический состав сырья, удельная поверхность сырья, влажность дымовоздушной смеси, параметры дымогенерации и др.) поддерживались на постоянном уровне в ходе экспериментов. В качестве функции отклика была выбрана органолептическая оценка качества подкопченной продукции, оцениваемая по разработанной балльной шкале.

Область факторного пространства ограничивалась следующим образом: X_1 от 18 до 26°C; X_2 от 6.0 до 10.0 ч. В результате математической обработки результатов экспериментов было получено следующее уравнение регрессии:

$$Y = -6.774 + 0.596 \cdot X_1 + 3.279 \cdot X_2 - 0.2 \cdot X_2^2. \quad (1)$$

С помощью уравнения (1) были рассчитаны близкие к оптимальным технологические параметры процесса изготовления филе пангасиуса подкопченного: $X_1 = 26.0^\circ\text{C}$; $X_2 = 10.0$ ч. Контрольные эксперименты в точке оптимума математической модели технологического процесса подтвердили расчетные данные ($Y^p = 22.27$ и $Y^e = 21.51$ – экспериментальное и расчетное значения функции отклика, соответственно).

Установленные в ходе экспериментов оптимальные технологические режимы были учтены в разработанной нормативной документации "Рыба подкопченная ТУ 9263-003-00471633-07", ТИ к ТУ 9263-003-00471633-07.

3.2. Обоснование методологии расчета интегрального показателя качества рыбной продукции, изготавливаемой с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором

Изменения, возникающие в тканях рыбы при дымовом и бездымном копчении, имеют множественный характер, что объясняется сложностью состава коптильного дыма, самих продуктов, особенностями копчения. Эти изменения специфические, но все они связаны с попаданием в продукт коптильных компонентов дыма и взаимодействием их с компонентами продукта.

К наиболее характерным изменениям относятся: окрашивание рыбы с поверхности в золотистые тона; окислительные изменения ее жировой части, а вернее, ингибирование таких изменений под воздействием коптильных компонентов дыма; взаимодействие некоторых органических веществ дыма, проникающих в ткани рыбы, с некоторыми ее составными частями; а также микробиологические изменения под влиянием коптильного дыма.

Основные показатели, наиболее объективно характеризующие качество копченой рыбной продукции, делятся на объективные и субъективные. Субъективные показатели качества (аромат и вкус копчености, цвет, консистенция) характеризуют потребительские свойства продукта и устанавливаются разработчиком документации. Они определяются при помощи органолептической оценки, в основе которой лежит оценка качества продукции с помощью органов чувств. Объективные показатели (массовая доля соли, влаги, фенолов, карбонильных соединений, бенз(а)пирена, белковых показателей, кислотное, альдегидное и пероксидное числа жира, микробиологические показатели и др.) в большинстве случаев направлены на обеспечение безопасности продукции для жизни и здоровья потребителей, и устанавливаются в соответствии с требованиями Госсанэпиднадзора. Они определяются химическими, физико-химическими и микробиологическими методами. Таким образом, современные требования к качеству копченых продуктов заключаются не только в обеспечении необходимых органолептических показателей, калорийности, усвояемости, хорошей сохраняемости, но и в обеспечении определенных санитарно-гигиенических норм.

При разработке методики расчета интегрального показателя качества рыбной продукции, изготавливаемой с применением дымовой и жидкой коптильных сред, вырабатываемых ИК-дымогенератором, были проанализированы методики Г.Б. Чижова по определению численной характеристики качества рыбного сырья и Б.Н. Семенова и Н.А. Притыкиной (Притыкина, 2005) по определению интегрального показателя качества рыбного сырья на основе учета биохимических признаков.

Оценивать качество рыбного сырья Г.Б. Чижов предложил по показателю, представляющему собой безразмерную численную характеристику качества продукта к концу периода хранения. Недостатком данной методики является субъективный характер относительной значимости того или иного признака качества продукта. Методика Б.Н. Семенова и Н.А. Притыкиной позволяет отчасти устранить недостатки методики Чижова. Усовершенствованная ими методика оценки качества рыбной продукции позволяет более достоверно и объективно производить оценку по комплексу показателей, характеризующих изменения, протекающие в тканях исследуемых объектов. Предлагается рассчитывать интегральный показатель качества R_τ рыбного сырья, представляющий собой функцию безразмерных признаков $q_{i\tau}$

$$R_\tau = n \left(\sum_{i=1}^n q_{i\tau} \right)^{-1}, \quad (2)$$

$$q_{i\tau} = \left(\frac{N_{i0}}{N_{i\tau}} \right)^\beta, \quad (3)$$

где N_{i0} – измеренная величина i -го признака в начальный момент хранения; $N_{i\tau}$ – величина признака в момент времени τ .

Величина показателя β может принимать всего два значения: +1 или -1. Если при хранении продукции значение признака N_i уменьшается, то коэффициент β принимают равным +1, если же в процессе хранения величина N_i возрастает, то β принимают -1. Достоинством методики Б.Н. Семенова и Н.А. Притыкиной является уменьшение субъективизации оценки качества продукции, что позволяет сделать однозначное заключение об уровне ее качества.

Однако данная методика, как и методика Чижова, учитывает только биохимические показатели без учета органолептических и микробиологических признаков, что само по себе является достаточно субъективным. Избежать этого можно, включив в оценку качества органолептические и микробиологические показатели.

Для рыбопродукции с малыми сроками хранения, изготавливаемой с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором, нами предлагается рассчитывать интегральный показатель качества по методике Б.Н. Семенова и Н.А. Притыкиной, однако с учетом органолептических и микробиологических показателей. Такой показатель для продукции с малыми сроками хранения является, по нашему мнению, более объективным.

В табл. 1 приведен перечень учитываемых при оценке качества подкопченной рыбопродукции признаков и характеристика направленности их изменения при хранении.

Таблица 1. Предлагаемый перечень показателей, учитываемых при оценке качества рыбопродукции, изготовленной с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором

	Биохимические показатели	Микробиологические показатели	Органолептические показатели	Величина β
Признаки, значение которых растет при снижении качества продукции	Аминный азот, азот летучих оснований, альдегидное, пероксидное и кислотное числа	МАФАНМ	–	–1
Признаки, значение которых уменьшается при снижении качества продукции	ВУС, рН	–	Суммарный балл органолептической оценки качества продукции с учетом коэффициентов значимости	+1

Таким образом, оценивая изменение качества и безопасности продукции в динамике хранения при помощи безразмерной численной характеристики возможно, используя методы математического моделирования, получить уравнение регрессии, описывающее изменение функции отклика – интегрального показателя качества продукции – в зависимости от выбранных ключевых влияющих факторов, которые определяются в зависимости от особенностей технологии изготовления и условий хранения, имеющих консервирующих факторов. После получения математического описания процесса изменения качества продукции в зависимости от сроков и условий хранения, становится доступной оптимизация последних.

Необходимым условием для оптимизации сроков и условий хранения подкопченной рыбопродукции является обоснование возможно более объективных критериев оптимальности. К таким критериям, прежде всего, следует отнести приемлемый диапазон значений интегрального показателя качества продукции, сама методика расчета которого минимизирует субъективность оценки ее качества.

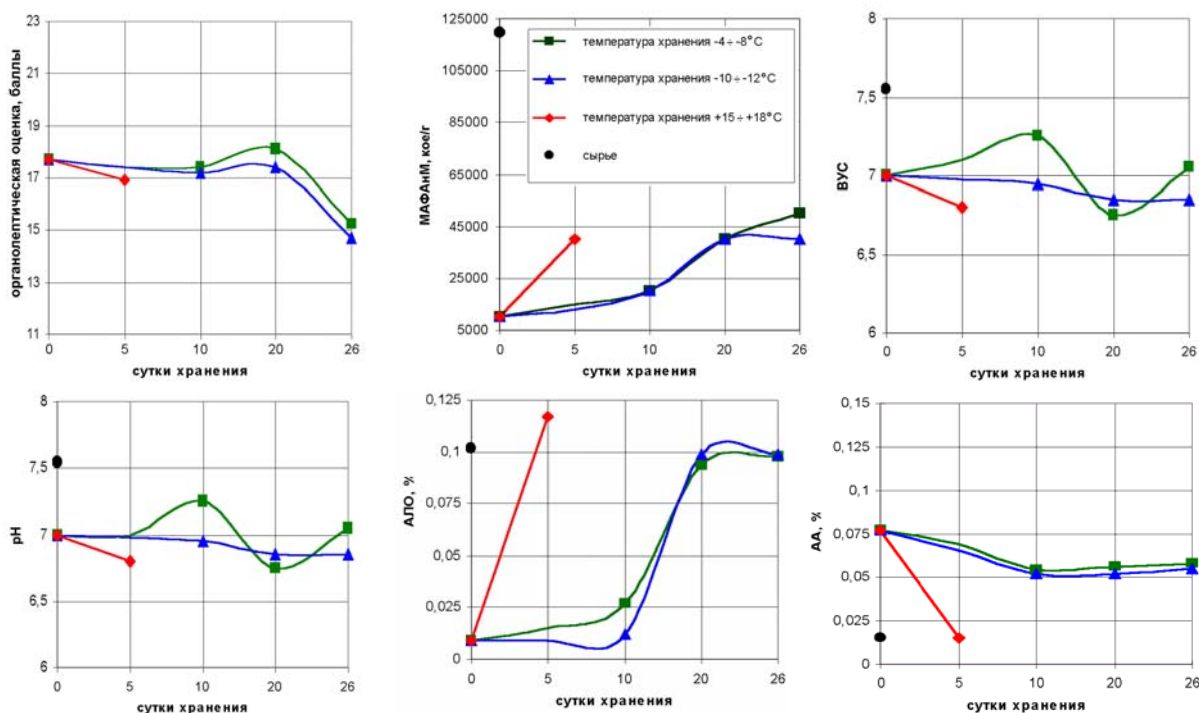


Рис. 2. Динамика изменения показателей пангасиуса филе подкопченного в процессе хранения при разных температурах

3.3. Оптимизация условий и сроков хранения рыбной продукции, изготавливаемой с применением дымовой копильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором

Предварительные исследования изменения органолептических показателей продукции обусловили предполагаемый срок хранения, который составил 20 суток. Определение показателей проводили на 0 (фон), 10-е, 20-е и 26-е сутки хранения согласно требованиям МУК 4.2.1847 "Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Санитарно-эпидемиологическая оценка обоснования сроков годности и условий хранения пищевых продуктов".

Для учета возможных перерывов или нарушений холодной цепи на пути доставки продукции к потребителю и связанную с ними возможную активизацию психротрофных микроорганизмов используется принцип аггравированных, то есть повышенных, температур. Данный принцип используется также для регистрации начала окислительной порчи жирового компонента продукта.

Согласно МУК 4.2.1847, проведение контрольных испытаний при температуре, превышающей предусмотренную нормативной документацией не менее, чем на 50 % (аггравированной), необходимо для скоропортящихся пищевых продуктов, которые в процессе производства подвергались термообработке при температурах ниже 80°C и/или вырабатывались с использованием ручных операций. Таким образом, для исследований нами были выбраны три возможных диапазона температур хранения подкопченной продукции: от 15 до 18°C; от -4 до -8°C; от -10 до -12°C. На рис. 2 представлена динамика изменения показателей пангасиуса филе подкопченного в процессе хранения при разных температурах.

Как показали проведенные исследования, при температуре хранения от 15 до 18°C продукция на 5-е сутки хранения имела неприемлемые органолептические свойства и признаки активно протекающего автолиза и микробиологической порчи. При температуре хранения от -4 до -8°C на 26-е сутки хранения продукция имела удовлетворительные органолептические свойства, значение показателя МАФАНМ соответствовало требованиям нормативной документации. Биохимические показатели свидетельствуют об активно протекающем в тканях процессе ферментного гидролиза, ВУС тканей в динамике – уменьшается. Показатель окислительной порчи жирной рыбы рос в динамике хранения со средней интенсивностью (для скумбрии филе подкопченной показатель альдегидного числа составил более 22.10 мг% в пересчете на коричный альдегид), для пангасиуса филе подкопченного показатель альдегидное число не определялся в силу его низкой жирности. При температуре от -10 до -12°C на 26-е сутки хранения продукция имела отличные органолептические свойства, значение показателя МАФАНМ соответствовало требованиям нормативной документации, биохимические показатели сопоставимы с показателями при температуре хранения от -4 до -8°C при некотором незначительном их понижении.

Для расчета интегрального показателя качества пангасиуса филе подкопченного нами были выбраны показатели: МАФАНМ, органолептическая оценка (в баллах), водоудерживающая способность (ВУС), активная кислотность (рН), азот летучих оснований (АЛО), аминный азот (АА).

Эксперименты показали рост значения показателя азота летучих оснований в процессе собственно копчения и при последующем хранении, при этом органолептическая оценка продукции и показатели безопасности не снижались. В данном случае превышение массовой доли азота летучих оснований над нормой по СанПиН 2.3.4.050 (приведена только для мороженой рыбы) не может свидетельствовать об ухудшении качества и снижении безопасности подкопченной продукции (АЛО для вяленой рыбы обычно находится в пределах от 60 до 120 мг%). Поэтому допустимо для объективизации оценки качества пангасиуса филе подкопченного не учитывать показатель азота летучих оснований при расчете интегрального показателя качества. Изменение в процессе хранения интегрального показателя качества рыбной продукции, рассчитанного по разработанной методике, представлено на рис. 3.

Для математического описания процесса хранения подкопченной рыбопродукции в качестве функции отклика Y был выбран интегральный показатель качества R_t , в качестве основных влияющих факторов – продолжительность хранения X_1 (сутки); температура хранения X_2 ($^{\circ}\text{C}$).

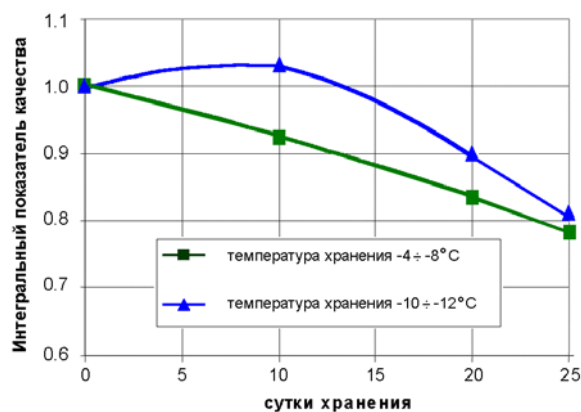


Рис. 3. Изменение интегрального показателя качества пангасиуса филе подкопченного в процессе хранения при разных температурах

$X_1 = 10$ сут.; $X_2 = -11^{\circ}\text{C}$. Расчетное значение функции отклика, соответствующее найденным оптимальным значениям влияющих факторов, составляет 1.03. Экспериментальное значение интегрального показателя качества на 10-е сутки хранения продукции при данной температуре составило 1.04, что хорошо совпадает с расчетным, подтверждая адекватность модели.

4. Заключение

Итогом проведенных работ явились промышленные испытания разработанной технологии, которые проводились в условиях лаборатории СТППГ МГТУ. Были выработаны опытные партии подкопченной рыбопродукции с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором, которые были оценены на расширенных дегустациях. Технология рекомендована к внедрению. По итогам проведенных работ обоснованы сроки и условия хранения новых видов продукции, разработана и согласована нормативная документация ТУ 9263-003-00471633-07 "Рыба подкопченная. Технические условия".

Уравнение регрессии, описывающее технологический процесс изготовления нового вида подкопченной рыбной продукции (пангасиуса филе подкопченного), позволило его оптимизировать и определить наилучшие значения основных технологических параметров. В точке оптимума математической модели были поставлены контрольные эксперименты, результаты которых оказались близки к расчетным данным.

Была разработана методика расчета интегрального показателя качества подкопченной продукции, изготавливаемой с применением дымовой коптильной среды, вырабатываемой ИК-дымогенератором.

Исследованы биохимические и микробиологические процессы, протекающие в тканях подкопченной продукции в динамике хранения при разных температурных режимах.

Получена математическая модель процесса хранения подкопченной продукции, на основе интегрального показателя качества, и рассчитаны с ее помощью оптимальные режимы и сроки хранения.

Литература

Притькина Н.А. Обоснование дифференциации сортности мороженой рыбы на основе интегрального показателя качества. *Автореферат дис. ... канд. техн. наук, Калининград, 25 с., 2005.*

Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. *Л., Химия, 47 с., 1975.*