

На правах рукописи



**САМОЙЛОВА НАТАЛЬЯ ВЛАДИМИРОВНА**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА И ОБОРУДОВАНИЯ  
ДЛЯ ПОРЦИОНИРОВАНИЯ РЫБЫ**

Специальность 4.3.3. Пищевые системы (технические науки)

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

Калининград - 2024

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Калининградский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «КГТУ»)

**Научный руководитель:** доктор технических наук, профессор  
**Фатыхов Юрий Адгамович**  
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный  
технический университет»

**Официальные оппоненты:** **Пеленко Валерий Викторович**  
доктор технических наук, профессор  
ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный  
университет промышленных технологий и дизайна»,  
профессор

**Степанов Дмитрий Виталиевич**  
кандидат технических наук, доцент  
ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской  
технологический университет», проректор

**Ведущая организация:** Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Воронежский государственный университет  
инженерных технологий», г. Воронеж

Защита состоится «07» июня 2024 г. в 14 часов 00 минут на заседании совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук 37.2.007.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: г.Калининград, ул. Профессора Баранова, д. 43, Зал заседаний диссертационных советов (ауд. 101).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет» по адресу: [https://klgtu.ru/upload/dissertations/samoylova/samoylova\\_diss.pdf](https://klgtu.ru/upload/dissertations/samoylova/samoylova_diss.pdf).

Отзывы на автореферат (в двух экземплярах), заверенные гербовой печатью учреждения, следует направлять по адресу: 236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1, ФГБОУ ВО «КГТУ», диссертационный совет 37.2.007.03.

Автореферат разослан «\_\_\_» апреля 2024 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций  
на соискание ученой степени кандидата наук,  
на соискание ученой степени доктора наук,  
37.2.007.03, д.т.н., доцент



**Е.В. Ульрих**

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Одной из главных задач рыбохозяйственной отрасли России является обеспечение населения доступными рыбными товарами. Для этого требуется улучшение качества готовых изделий, повышение количественного выпуска продукции, а также экономичная переработка сырья. Проблема переработки рыбных ресурсов и применения ресурсосберегающей технологии имеет важное хозяйственное, научно-техническое и социальное значение. На современном этапе развития этой проблемы при реализации «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года» особое внимание уделяется выпуску рыбных изделий глубокой переработки. Наиболее целесообразным с экономической точки зрения является выпуск порционированного рыбного филе, поскольку при изготовлении данного вида товаров практически полностью используются все ценные компоненты сырья, эффективно реализуются побочные пищевые материалы и формируется безотходное производство. В этой связи технологический процесс порционирования рыбы имеет существенное значение, поскольку оказывает непосредственное влияние на качество готовых изделий и сохранение ценных ингредиентов в них. Создание новых и модернизация существующих конструкций режущих органов и использование научно обоснованных режимов обработки являются решающими факторами в повышении качества конечной продукции и обеспечении ресурсосбережения.

Вышеизложенное показывает, что совершенствование технологического процесса и оборудования для порционирования рыбы на базе новых теоретических и конструкторских разработок является актуальным научным направлением решения продовольственной проблемы в масштабах рыбной отрасли.

Теоретические и практические основы процесса нарезки на порции рыбы и других сходных по структуре и свойствам пищевых материалов, а также совершенствование соответствующих технологических машин отражены в работах отечественных ученых: В.В. Дорменко, В.М. Чупахина, С.Г. Гуревича, Н.И. Жилина, В.Г. Проселкова, В.П. Чивиленко, А.К. Друсейка, А.А. Романова, С.В. Крутова, В.М. Томилина, И.З. Уманцева, В.И. Карпова, М.А. Якубова, В.М. Боркунова, А.В. Терентьева, С.И. Бриля, В.Н. Дегтярева, Ю.А. Мачихина, А.Н. Даурского, Ю.В. Поспелова, Н.Е. Резника, В.И. Ивашова, В.В. Пеленко, А.М. Ершова, Г.В. Алексеева, Е.Е. Ивановой, Е.И. Верболоз, а также в работах зарубежных исследователей: Т. Atkins, А. Dowgiallo, D. Dutkiewicz, M. Jakubowski, M. Boisly, S. Schuldt, M.G. Kaestner, H. Arnarson, S. Zahn, E. Vandenberghe, A. Spagnoli, K. Khodabandehloo и других.

Работа проводилась в рамках государственной программы Российской Федерации «Развитие рыбохозяйственного комплекса», в соответствии с планом инициативно-поисковых НИР кафедры инжиниринга технологического оборудования ФГБОУ ВО «КГТУ» «Энерго- и

ресурсосберегающие технологические процессы в отраслях АПК» на 2017-2022 годы, в рамках цикла госбюджетных НИР, выполненных в 2017-2023 годах по тематикам Федерального агентства по рыболовству.

**Цель и задачи диссертационной работы.** Цель работы - развитие научно-теоретических основ процесса порционирования рыбы, повышение эффективности процесса нарезки сырья, а также разработка модульных конструкций, устройств управления и рекомендаций по проектированию технологического оборудования, обеспечивающего ресурсосбережение и улучшение качества порционированной продукции.

Для достижения цели решались следующие основные задачи:

1. Аналитическое определение силы сопротивления формы ножа при нормальном резании мышечной ткани рыбы лезвием с криволинейной фигурной кромкой и лезвием с прямой наклонной кромкой, выявление основных закономерностей процесса резания от геометрии указанных рабочих органов, реологии материала и скорости резания.

2. Анализ процесса ротационного порционирования материала ножом с криволинейной кромкой, разработка комплекса математических моделей для расчета угла скольжения, угла защемления и фактического угла резания вращающегося лезвия, определение наиболее выгодных рабочих участков рабочего органа.

3. Аналитическая оптимизация формы кромки фигурного лезвия для порционирования рыбы по критериям минимальной силы вредного сопротивления и минимальной силы трения, определение наилучших конструктивных видов фигурных кромок ножей при заданных геометрических ограничениях.

4. Разработка комплекса математических моделей процесса вибрационного порционирования рыбы, аналитическое определение виброскорости элементарного ножа и угла виброрезания, а также выявление основных зависимостей сил сопротивлений от частоты, амплитуды колебаний и скорости подачи ленточного виброножа.

5. Экспериментальные исследования процесса наклонного резания мышечной ткани рыбы пластинчатым ножом с прямолинейной кромкой и струнным ножом при различных углах наклона режущего органа, определение количественных зависимостей сил сопротивлений от угла наклона лезвия, выявление влияния физического эффекта трансформации геометрии элементарного ножа на сокращение усилий резания.

6. Разработка модульных конструкции машин для порционирования рыбного сырья, осуществление промышленного внедрения и коммерциализации предложенных технических решений, выполнение технико-экономического расчета эффективности внедрения порционирующей техники в рыбоперерабатывающее производство.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

– комплекс математических моделей для определения размерных и безразмерных сил сопротивления формы ножа при нормальном

порционировании рыбы криволинейным фигурным лезвием и ножом с прямой наклонной кромкой в условиях стесненного сжатия вязкоупругого материала;

- комплекс математических моделей для расчета и оптимизации параметров ротационного резания рыбы фигурным рабочим органом эксцентрикового типа;

- комплекс моделей для аналитической оптимизации геометрии фигурного лезвия по критериям минимальных сил вредных сопротивлений, результаты теоретических исследований по определению конструктивных видов фигурных режущих кромок с оптимальной геометрией;

- комплекс математических моделей для расчета режимных параметров вибрационного резания рыбы и сил сопротивления формы виброножа при наложении на него гармонических и полигармонических колебаний;

- результаты экспериментальных исследований основных закономерностей процесса наклонного резания мышечной ткани рыбы пластинчатым ножом с прямолинейной кромкой и струнным ножом при различных углах их наклона;

- методологический подход к созданию модульных конструкций конкурентоспособных мехатронных машин для порционирования рыбного филе с научным обоснованием эффективных режущих органов.

**Научная новизна.** Развита подход в создании высокоэффективного модульного оборудования для порционирования рыбы, направленный на экономное использование сырьевых и энергетических ресурсов, что достигается математическим моделированием процесса резания вязкоупругого материала с эффектами геометрической и кинематической трансформации угла заточки ножа, аналитической оптимизацией геометрии фигурных кромок режущих органов, обоснованием режимов ротационного и вибрационного резания, а также разработкой перспективных конструкций порционирующих машин, обеспечивающих повышение производительности и улучшение качества готовых продуктов.

Разработан комплекс математических описаний для расчета размерных и безразмерных сил сопротивления формы при нормальном резании мышечной ткани рыбы криволинейным фигурным лезвием и ножом с прямой наклонной кромкой. Установлены основные зависимости процесса порционирования сырья от геометрии указанных режущих органов, реологии мышечной ткани рыбы и скорости резания.

Определены основные закономерности процесса ротационного резания материала вращающимся фигурным лезвием, получен комплекс математических моделей для расчета режимных и конструктивных параметров порционирующего устройства. Выявлен наиболее эффективный диапазон полярных углов вращающегося фигурного ножа, проведен динамический анализ процесса ротационного порционирования, в результате которого определены оптимальные кинематические параметры процесса.

Поставлена и решена задача аналитической оптимизации геометрии фигурного лезвия для порционирования рыбы по критериям минимальной силы сопротивления формы и минимальной силы трения, в результате чего

установлены конструктивные виды фигурных кромок с оптимальной геометрией относительно ножа с прямой наклонной кромкой при заданном угле наклона.

Сформулированы математические описания процесса вибрационного резания рыбы с наложением гармонических и полигармонических колебаний, в результате чего определены основные зависимости виброскорости элементарного ножа и углов виброрезания от частоты колебаний, амплитуды и скорости подачи лезвия. Разработан комплекс математических моделей для расчета сил сопротивления формы ножа при различных режимах виброрезания рыбы.

Разработанные аналитические модели процесса порционирования при наклонном резании экспериментально апробированы, получены эмпирические модели зависимостей сил сопротивлений от угла наклона режущей кромки. Экспериментально подтверждена выдвинутая гипотеза о решающем влиянии эффекта трансформации угла заточки элементарного ножа на снижение усилий резания.

Предложены новые модульные конструкции машин для порционирования рыбного филе на основе мехатроники. Научная новизна разработанных технических решений подтверждается 4 патентами на изобретение.

**Теоретическая и практическая значимость работы.** Комплекс теоретических и экспериментальных исследований, выполненных в условиях лабораторий и промышленного производства, результаты математического моделирования, а также анализ технического уровня современного технологического оборудования позволили разработать подход к совершенствованию конструктивного оформления режущих органов, развитию методик их расчета и созданию конкурентоспособных модульных машин для порционирования рыбы на основе мехатроники.

С целью повышения эффективности процесса производства продуктов из водного сырья разработаны мехатронные устройства для порционирования рыбного филе (патенты РФ на изобретение № 2671900, 2729351, 2758270, 2807633), построенные с применением фигурных рабочих органов, приспособлений для смены режущей оснастки, средств видеоэлектроники и пневмоавтоматики.

В производственных условиях ООО «ПК Пищевая инженерия» (г.Пионерский Калининградской области) на основе полученных результатов проведена модернизация конструкции порционирующей машины с разработкой проектно-технической документации на макет и опытный образец. В проектно-конструкторском отделе ООО «Судорыбтехмаш» (г. Калининград) внедрены расчетные методики для определения оптимальной геометрии рабочих органов и режимов обработки, результаты анализа закономерностей процесса резания рыбы, а также модульные конструкции мехатронных машин, предназначенные для использования при разработке новой порционирующей техники.

Создан промышленный образец видеокомпьютерного модуля и разработано соответствующее программное обеспечение (свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ № 2017611141), выполняющее управление указанным модулем, формирование трехмерной модели продукта и расчет основных морфометрических параметров для ресурсосберегающего порционирования.

Продана лицензия (договор № РД 0321989 от 14.01.2020 г.) на право использования интеллектуальной собственности предприятию ООО «ПК Пищевая инженерия» по патенту на изобретение № 2671900.

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе вуза при чтении лекций и проведении практических занятий по курсам «Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств», «Расчет и конструирование машин и аппаратов пищевых производств», «Физико-механические свойства сырья и готовой продукции», «Реология пищевых масс», «Основы мехатроники», «Процессы и аппараты пищевых производств», а также в качестве материалов курсового и дипломного проектирования. На основе результатов работы издано учебное пособие для обучающихся в бакалавриате по направлению подготовки «Продукты питания животного происхождения».

**Методология и методы научного исследования.** Методологическая база исследования основана на использовании комплекса теоретических методов познания: анализа, синтеза, абстрагирования, формализации, моделирования, подобия и других, а также эмпирических методов: измерение, эксперимент, сравнение, наблюдение. В качестве теоретической базы выступили работы отечественных и зарубежных ученых в области инженерной реологии, теории вязкоупругости, теории резания и измельчения, прикладной механики, механики сплошной среды, механики твердого деформируемого тела, трибологии, в частности, работы П.А. Ребиндера, И.И. Гольберга, Л.А. Галина, И.Г. Горячевой, Ю.Н. Работнова, И.В. Крагельского, А.Ю. Ишлинского, А.Я. Малкина, А.А. Ильюшина, Г.М. Бартенева, Л.М. Качанова, В.З. Партоня, Н.М. Беяева, В.М. Александрова, А.И. Лурье, С.П. Тимошенко, Л.И. Седова, В.В. Федорова, В.В. Пеленко, Г.В. Алексеева и других.

**Соответствие темы диссертации паспорту научной специальности.** Диссертационное исследование соответствует пунктам 20, 21, 22 паспорта научной специальности 4.3.3. Пищевые системы.

**Степень достоверности работы.** Научные положения, изложенные в диссертационной работе, рекомендации и выводы основываются на фундаментальных физических законах и не противоречат им. Результаты моделирования хорошо сочетаются с известными теоретическими концепциями, принятыми в изучаемой области научного исследования. Достоверность аналитических исследований и эмпирических результатов основана на использовании апробированных методов научного познания. Полученные результаты расчетов по математическим моделям подвергнуты тщательной экспериментальной проверке. Отклонение результатов измерений

от аналитических значений находится в пределах 5 – 7 %. Представленные в работе научные положения, рекомендации и выводы обоснованы и подтверждены экспериментальными испытаниями, которые полностью соответствуют данным протоколов опытов.

В работе использованы современные методы экспериментальных исследований, методы и средства проведения измерений. Степень достоверности результатов диссертационной работы подтверждается глубокой проработкой литературных данных по теме исследования, обоснованием необходимого количества опытов, применением современных инструментальных методов анализа, публикацией основных положений диссертации в России и за рубежом. При статистической обработке результатов исследований использованы прикладные компьютерные программы.

**Апробация результатов.** Материалы и отдельные результаты исследований по теме диссертационной работы докладывались на 18 международных, национальных научных, научно-технических и научно-практических конференциях в Воронеже (2016, 2017, 2018, 2021 гг.); Москве (2018 г.); Калининграде (2017, 2018 гг.); Улан-Удэ (2018 г.); Петропавловск-Камчатском (2017 г.); Астрахани (2018 г.); Санкт-Петербурге (2023 г.); Керчи (2023 г.); Оренбурге (2023 г.); Устроне-Морске (2018 г.).

Разработанное в соавторстве с использованием результатов диссертационной работы учебное пособие в 2019 году удостоено диплома Всероссийского конкурса Российской инженерной академии им. Первопечатника Ивана Федорова. За добросовестный труд, плодотворную исследовательскую работу и вклад в развитие науки и инноваций 04 февраля 2019 года автор награжден благодарностью Министерства по промышленной политике, развитию предпринимательства и торговли Калининградской области.

**Публикации.** По теме диссертации опубликована 51 работа, в том числе 1 статья в журнале, индексируемом в I квартале международных баз данных Scopus и Web of Science, 8 статей в журналах из перечня ВАК Минобрнауки РФ, 4 патента РФ на изобретение (в соавторстве), 1 свидетельство Роспатента о регистрации программы для ЭВМ (в соавторстве), 1 учебное пособие (в соавторстве).

**Структура и объем работы.** Основной текст диссертации изложен на 252 страницах, включающих: введение, 7 глав аналитического и экспериментального материала, заключение, библиографический список из 306 наименований, в том числе 74 - иностранных авторов. Приведен 81 рисунок, 3 таблицы. Приложения к диссертации представлены на 30 страницах и содержат 4 рисунка, 10 таблиц.

**Личное участие автора.** Диссертационная работа является обобщением научных исследований, проведенных в 2016-2023 гг. лично автором и при его непосредственном участии в ходе выполнения прикладных научных работ и создания экспериментальных разработок.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** охарактеризовано современное состояние производств по выпуску порционированной рыбной продукции, обоснованы актуальность и уровень разработанности темы диссертационной работы, научная новизна, практическая значимость и методология выполненных исследований.

**В первой главе «Современное состояние теории и практики порционирования рыбы»** проведен обзор известных литературных источников по резанию рыбы и других пищевых материалов. Выполнен анализ структурных свойств рыбного сырья, а также реологических моделей, которые описывают механическое поведение материала при внешнем воздействии. Проанализировано современное технологическое оборудование для порционирования рыбы и выявлены решающие недостатки различных моделей машин. На основании литературного обзора и анализа техники сформулированы цель и задачи диссертационной работы. Составлена программно-целевая модель исследования, которая раскрывает последовательность этапов выполнения работы при реализации поставленных цели и задач, а также определены пути и методы решения научной задачи.

**Во второй главе «Математическое моделирование процесса нормального резания рыбы ножами с фигурной и прямой наклонной кромкой»** проанализировано внедрение в материал криволинейного лезвия в условиях стесненного сжатия вязкоупругого материала (рис. 1). Геометрия режущего органа описана полиномом второго порядка следующего вида:

$$y(z) = a \cdot z^2 + b \cdot z = \frac{\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \beta}{2 \cdot L} \cdot z^2 + \operatorname{ctg} \beta \cdot z. \quad (1)$$

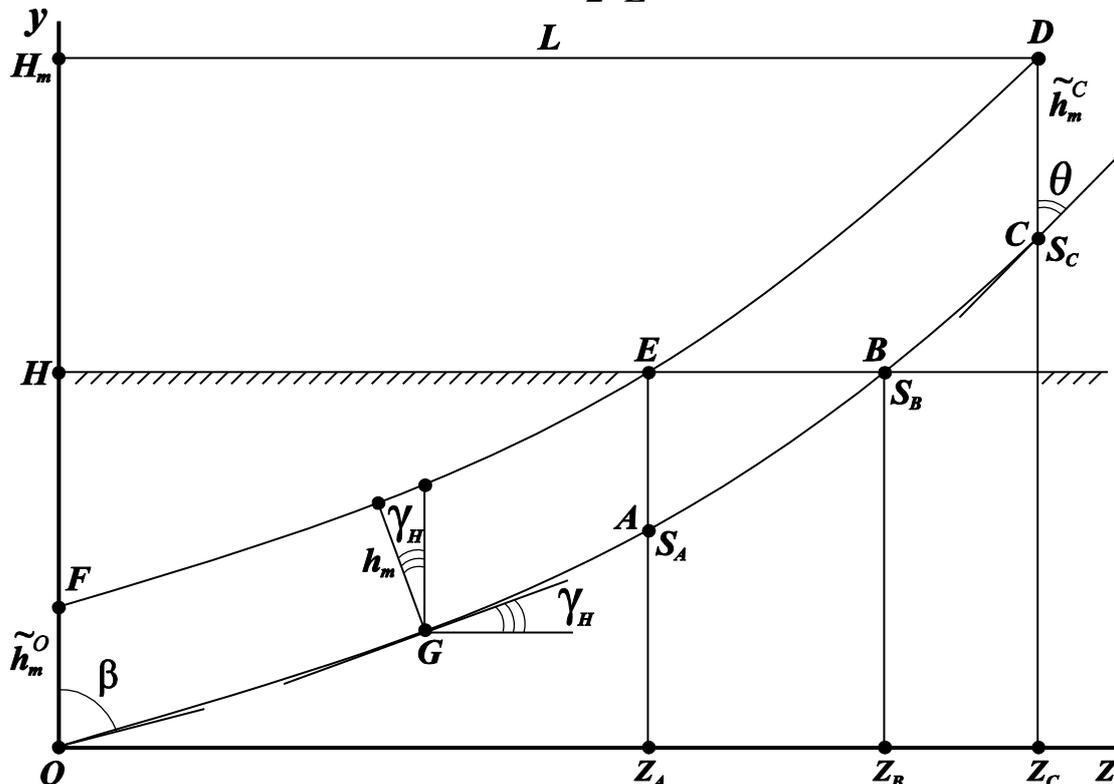


Рис. 1. Схема ножа с фигурной криволинейной режущей кромкой  
(OABC – передняя фигурная кромка лезвия)

Математическое моделирование процесса резания криволинейным рабочим органом базируется на анализе деформации вязкоупругих волокон материала и геометрической трансформации элементарного ножа, представляющего собой бесконечно малое сечение лезвия. На базе известных выражений для расчета нормального контактного давления и силы, путем двойного интегрирования по двум координатным осям получены модели для определения сил сопротивления формы при неполном и полном погружении фаски в материал. Выражение для безразмерной силы выглядит следующим образом:

$$\bar{F}_{1m} = \bar{L} \cdot [0,5 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot (1 + \bar{v} \cdot (\exp(-1/\bar{v}) - 1))] \cdot \frac{\operatorname{arsh}(\operatorname{ctg} \theta) - \operatorname{arsh}(\operatorname{ctg} \beta)}{\operatorname{ctg} \theta - \operatorname{ctg} \beta}. \quad (2)$$

Наряду с этим, проанализирован процесс резания ножом с прямой наклонной кромкой, входящим в материал под некоторым углом  $\beta$ . В результате этого получены выражения для соответствующих сил сопротивления формы. Формула для расчета безразмерного усилия при резании таким рабочим органом выглядит следующим образом:

$$\bar{F}_{1m} = \bar{L} \cdot \frac{0,5 + \bar{v} \cdot e_{01} \cdot (1 + \bar{v} \cdot (\exp(-1/\bar{v}) - 1))}{\sqrt{1 + \operatorname{ctg}^2 \beta}}. \quad (3)$$

Результаты вычислений по разработанному комплексу математических описаний позволили установить основные зависимости сил сопротивлений от глубины погружения лезвия в материал, скорости ножа, реологических свойств материала, а также конструктивной геометрии кромки (рис. 2).

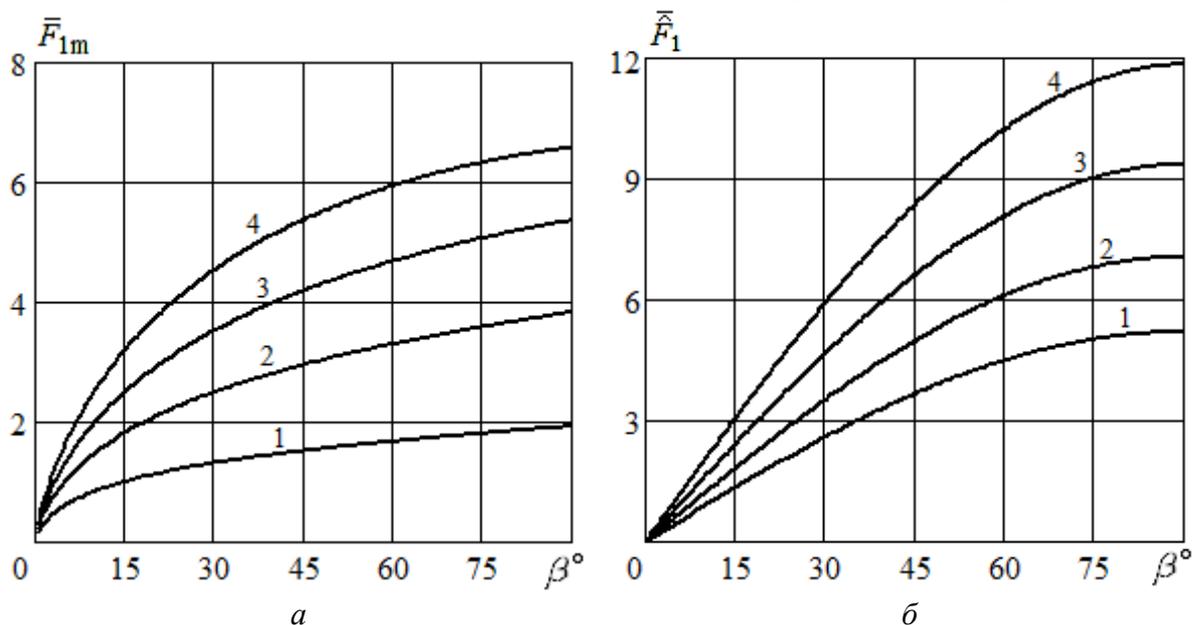


Рис. 2. Зависимости безразмерных сил сопротивления формы от угла  $\beta$  входа кромки ( $\bar{L} = 4$ ;  $e_{01} = 5$ ):

*a* – нож с фигурной кромкой при различных углах подъема ( $\bar{v} = 0,4$ ):

1 –  $\theta = 5^\circ$ ; 2 –  $\theta = 15^\circ$ ; 3 –  $\theta = 30^\circ$ ; 4 –  $\theta = 55^\circ$ ;

*б* – нож с прямой наклонной кромкой при различных безразмерных скоростях резания:

1 –  $\bar{v} = 0,2$ ; 2 –  $\bar{v} = 0,4$ ; 3 –  $\bar{v} = 1$ ; 4 –  $\bar{v} = 20$

В третьей главе «Математическое моделирование процесса ротационного резания рыбы ножом с фигурной кромкой» проанализирована схема порционирования рыбных продуктов рабочим органом, кромка которого очерчена в виде эксцентрической окружности. Получены выражения для расчета фактического угла резания  $\alpha_\phi$ , угла скольжения  $\tau$  и угла защемления  $\chi$  в функции полярного угла эксцентрика:

$$\alpha_\phi = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{1 + \frac{e^2 \cdot \cos^2 \theta - e^2 + R^2}{e^2 \cdot \sin^2 \theta}}}; \quad (4) \quad \tau = \arctg \frac{\sqrt{e^2 \cdot \cos^2 \theta - e^2 + R^2}}{e \cdot \sin \theta}; \quad (5)$$

$$\chi = \arctg \frac{\sqrt{e^2 \cdot \cos^2 \theta - e^2 + R^2}}{e \cdot \sin \theta} - \arcsin \frac{h_p}{\sqrt{e^2 \cdot \cos^2 \theta - e^2 + R^2} - e \cdot \cos \theta}; \quad (6)$$

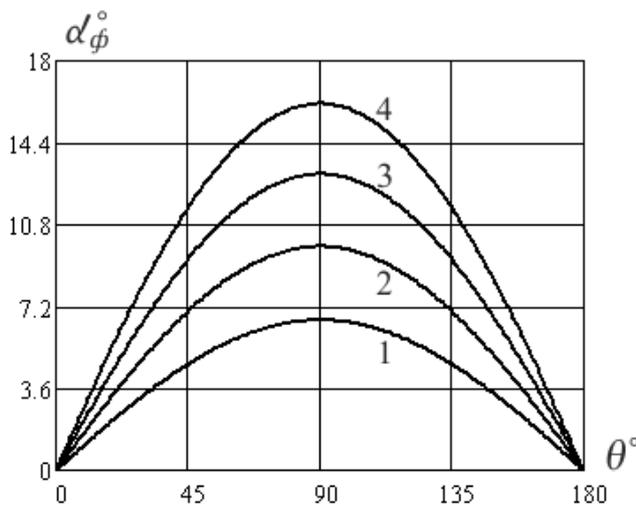


Рис. 3. Зависимости фактического угла резания от полярного угла: 1 –  $e = 0,04$  м; 2 –  $e = 0,06$  м; 3 –  $e = 0,08$  м; 4 –  $e = 0,10$  м

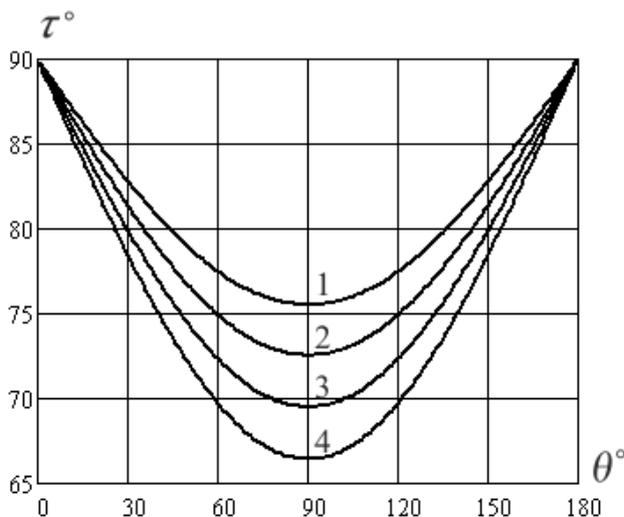


Рис. 4. Зависимости угла скольжения от полярного угла: 1 –  $e = 0,05$  м; 2 –  $e = 0,06$  м; 3 –  $e = 0,07$  м; 4 –  $e = 0,08$  м

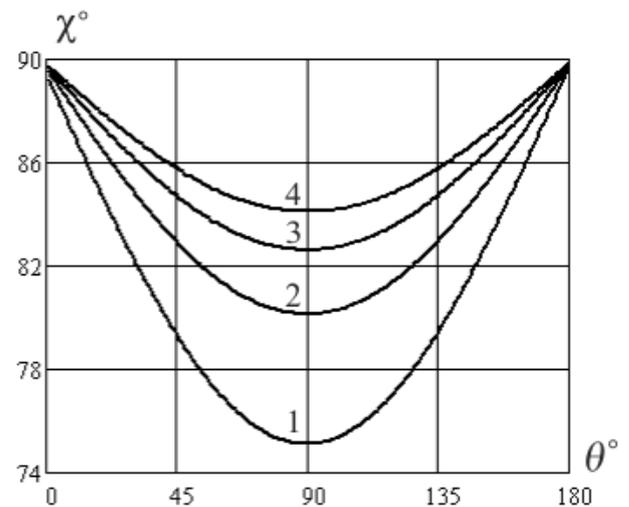


Рис. 5. Зависимости угла защемления от полярного угла: 1 –  $R = 0,2$  м; 2 –  $R = 0,3$  м; 3 –  $R = 0,4$  м; 4 –  $R = 0,5$  м

На основе выражений (4)-(6) определены зависимости фактического угла резания (рис. 3), угла скольжения (рис. 4) и угла защемления (рис. 5) от полярного угла при различных значениях эксцентриситета и радиуса рабочего органа. Проведенное математическое моделирование и анализ его результатов показали, что наиболее выгодным рабочим участком ножа эксцентрикового типа является диапазон полярных углов от  $90^\circ$  до  $180^\circ$ . В указанном диапазоне углов снижаются усилия резания, предотвращается смятие материала и улучшается качество продукта.

В четвертой главе «Оптимизация формы фигурной кромки ножа для нормального резания рыбы» поставлена и решена задача определения угла входа  $\beta$  фигурного лезвия такого, что при равном угле наклона  $\beta$  прямолинейного ножа будет максимальной разность между безразмерными силами сопротивления прямолинейного и фигурного ножей (рис. 6). При искомом наилучшем угле входа  $\beta$  и заданном угле подъема  $\theta$  нож с фигурной кромкой будет наиболее эффективен при резании рыбы по сравнению с ножом, имеющим прямую кромку с таким же углом наклона  $\beta$ .

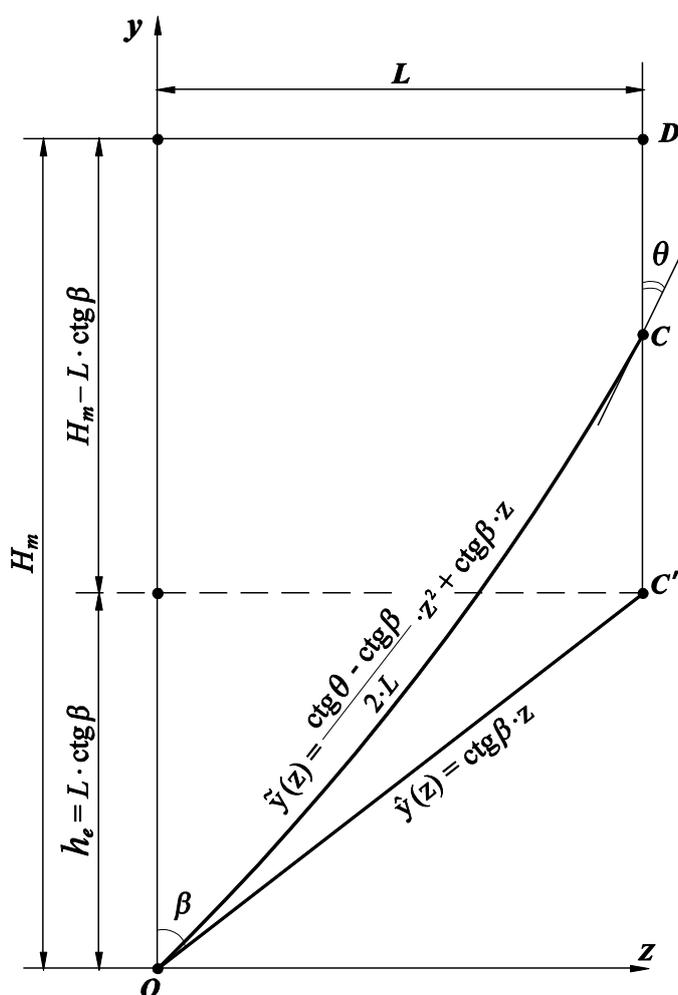


Рис. 6. Схемы ножей с фигурной и прямой наклонной кромками ( $OC$  и  $OC'$  – режущие кромки)

Численным методом на ЭВМ определены значения оптимального угла входа  $\beta$ , а также исследована его зависимость от угла подъема  $\theta$ . При значениях угла подъема ножа  $15^\circ$ ;  $30^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $60^\circ$ ;  $75^\circ$  значения оптимального угла входа лезвия составили  $82,45^\circ$ ;  $80,51^\circ$ ;  $81,05^\circ$ ;  $83,18^\circ$ ;  $86,33^\circ$ , соответственно. Наряду с этим, решена задача определения оптимального угла подъема  $\theta$ , при котором сила трения будет минимальной по сравнению с ножом, снабженным прямой наклонной кромкой - при таких же значениях полной высоты ножа  $H_m$  и угла  $\beta$ . Данное условие оптимизации означало, что при оптимальном угле подъема разность между площадями прямолинейного и фигурного ножей должна быть максимальной. При значениях длины лезвия  $0,20$  м; полной высоты лезвия  $0,30$  м; угла входа  $35^\circ$ ;  $45^\circ$ ;  $70^\circ$ ;  $85^\circ$  значения оптимального угла подъема фигурной кромки составили  $32,46^\circ$ ;  $26,56^\circ$ ;  $20,77^\circ$ ;  $18,95^\circ$ , соответственно. На основе полученных результатов моделирования определены конструктивные виды фигурных кромок с оптимальными углами входа и подъема.

В пятой главе «Математическое моделирование процесса вибрационного резания рыбы» проанализированы известные работы в области виброрезания пищевых продуктов. Сформулирована и решена задача определения силы сопротивления формы ножа при наложении на него гармонических продольных колебаний вида  $a(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t)$ . Показано, что угол заточки элементарного ножа при вибрации кинематически

трансформируется и приобретает величину фактического угла резания (угла виброрезания), который определяется следующей формулой:

$$\alpha_S = \arctg \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot v_n}{\sqrt{v_n^2 + \omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t)}}. \quad (7)$$

С использованием выражения (7) получено следующее выражение для безразмерной силы сопротивления при виброрезании:

$$\bar{F}_{1S} = \frac{v_n^2}{v_n^2 + \omega^2 \cdot A^2 \cdot \cos^2(\omega \cdot t)}. \quad (8)$$

Анализ математических моделей показал, что сила сопротивления при вибрационном резании будет меньше соответствующей силы при резании без наложения колебаний за счет кинематической трансформации угла заточки элементарного ножа. Установлены основные зависимости безразмерной силы сопротивления формы от параметров процесса виброрезания (рис. 7).

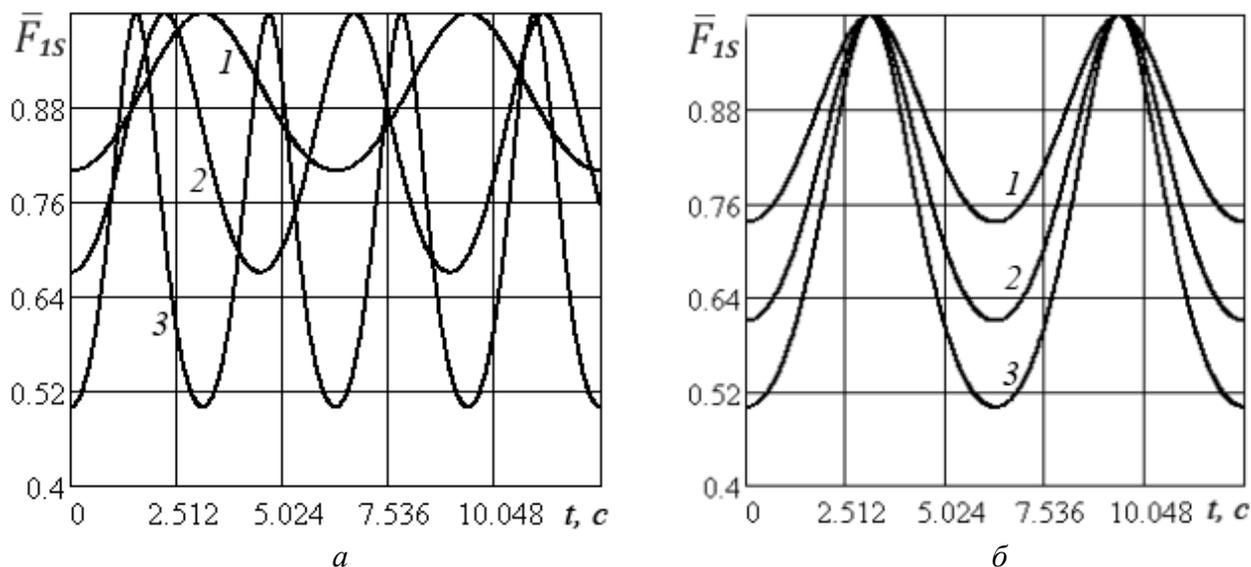


Рис. 7. Зависимости безразмерной силы сопротивления формы от времени  
( $\alpha = 30^\circ$ ;  $v_n = 0,05$  м/с):

а – при различных значениях циклической частоты колебаний ( $A = 0,05$  м):

1 –  $\omega = 0,5$  рад/с; 2 –  $\omega = 0,7$  рад/с; 3 –  $\omega = 1$  рад/с;

б – при различных значениях амплитуды колебаний ( $\omega = 0,5$  рад/с):

1 –  $A = 0,06$  м; 2 –  $A = 0,08$  м; 3 –  $A = 0,10$  м

Кроме того, получены выражения для расчета средних значений угла виброрезания и безразмерной силы сопротивления формы за период колебания  $T = (2 \cdot \pi) / \omega$ . Установлены зависимости средних значений указанной силы от частоты колебаний (рис. 8).

Наряду с вышеизложенным, исследован процесс резания рыбы при наложении на режущий орган полигармонических колебаний вида  $\tilde{a}(t) = 0,5 \cdot A \cdot \sin(\omega \cdot t) + 0,5 \cdot A \cdot \sin(\tilde{k} \cdot \omega \cdot t)$ . Для данного режима получены математические модели, позволяющие рассчитать угол виброрезания и безразмерную силу сопротивления. Установлено влияние номера высшей гармоники колебаний на средние за период указанные угол и силу (рис. 9).

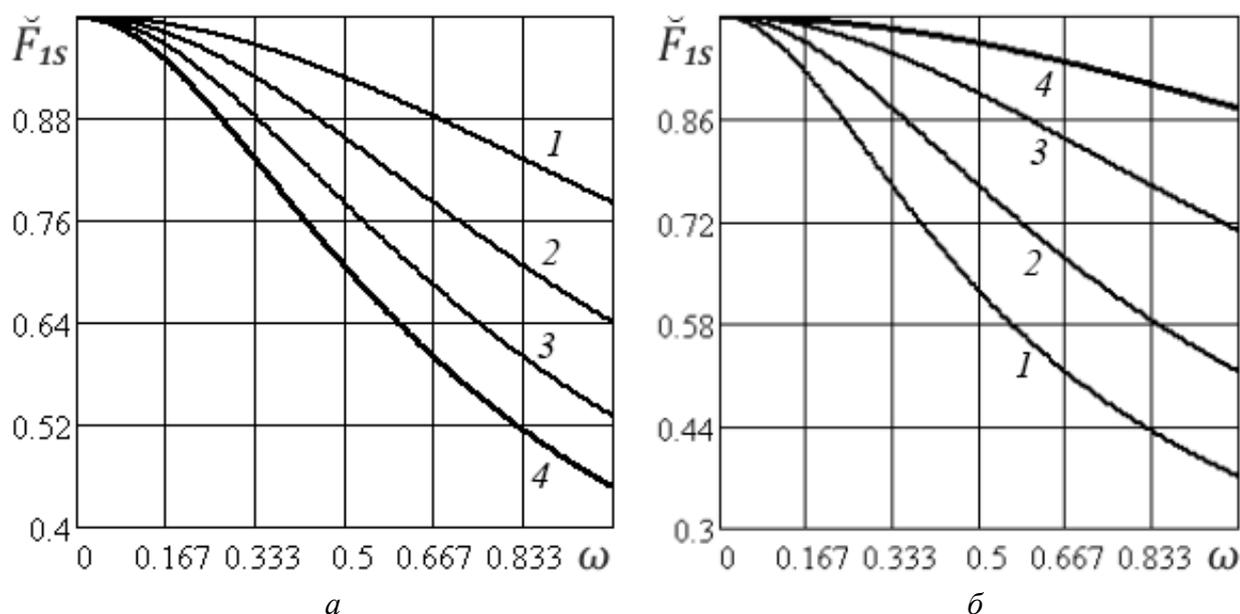


Рис. 8. Зависимости средней безразмерной силы сопротивления от циклической частоты колебаний ( $\alpha = 30^\circ$ ):

*a* – при различных значениях амплитуды ( $v_n = 0,05$  м/с):

1 –  $A = 0,04$  м; 2 –  $A = 0,06$  м; 3 –  $A = 0,08$  м; 4 –  $A = 0,10$  м;

*б* – при различных значениях скорости подачи ( $A = 0,05$  м):

1 –  $v_n = 0,02$  м/с; 2 –  $v_n = 0,03$  м/с; 3 –  $v_n = 0,05$  м/с; 4 –  $v_n = 0,09$  м/с

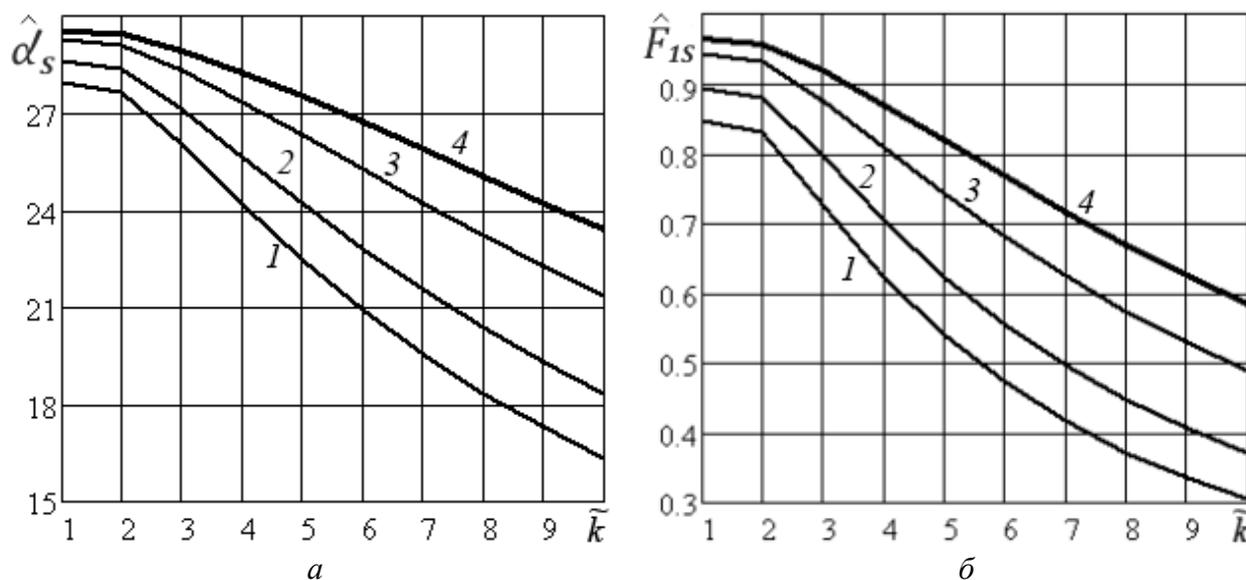


Рис. 9. Влияние номера гармоники  $\tilde{k}$  полигармонических колебаний на процесс виброрезания ( $A = 0,05$  м;  $\omega = 0,5$  рад/с) при различных значениях скорости подачи:

*a* – зависимости среднего за период угла виброрезания от  $\tilde{k}$  ( $\alpha = 30^\circ$ );

*б* – зависимости средней за период безразмерной силы сопротивления формы от  $\tilde{k}$ ;

1 –  $v_n = 0,04$  м/с; 2 –  $v_n = 0,05$  м/с; 3 –  $v_n = 0,07$  м/с; 4 –  $v_n = 0,09$  м/с

**В шестой главе «Экспериментальные исследования процесса порционирования рыбы»** ставилась цель определить эмпирические зависимости сил полезных и вредных сопротивлений от угла входа рабочего органа. Для исследования сил вредных сопротивлений использовался косоугольный пластинчатый нож с прямолинейной кромкой, для изучения сил

полезных сопротивлений – наклонный струнный нож. При достижении поставленных целей решены следующие задачи экспериментальных исследований:

- установлена количественная зависимость силы вредного сопротивления от угла наклона пластинчатого ножа с прямолинейной кромкой;

- установлена количественная зависимость силы полезного сопротивления от угла наклона струнного ножа;

- установлены виды эмпирических зависимостей сил вредных и полезных сопротивлений от углов наклона кромок режущих органов;

- подтверждена правомерность использования принятого в теоретическом анализе положения о решающем влиянии трансформации угла заточки элементарного ножа на сокращение сил сопротивлений резанию.

При экспериментах обрабатывалась мышечная ткань тунцовых рыб. Схемы расположения режущих органов и образцов материала показаны на рис. 10.

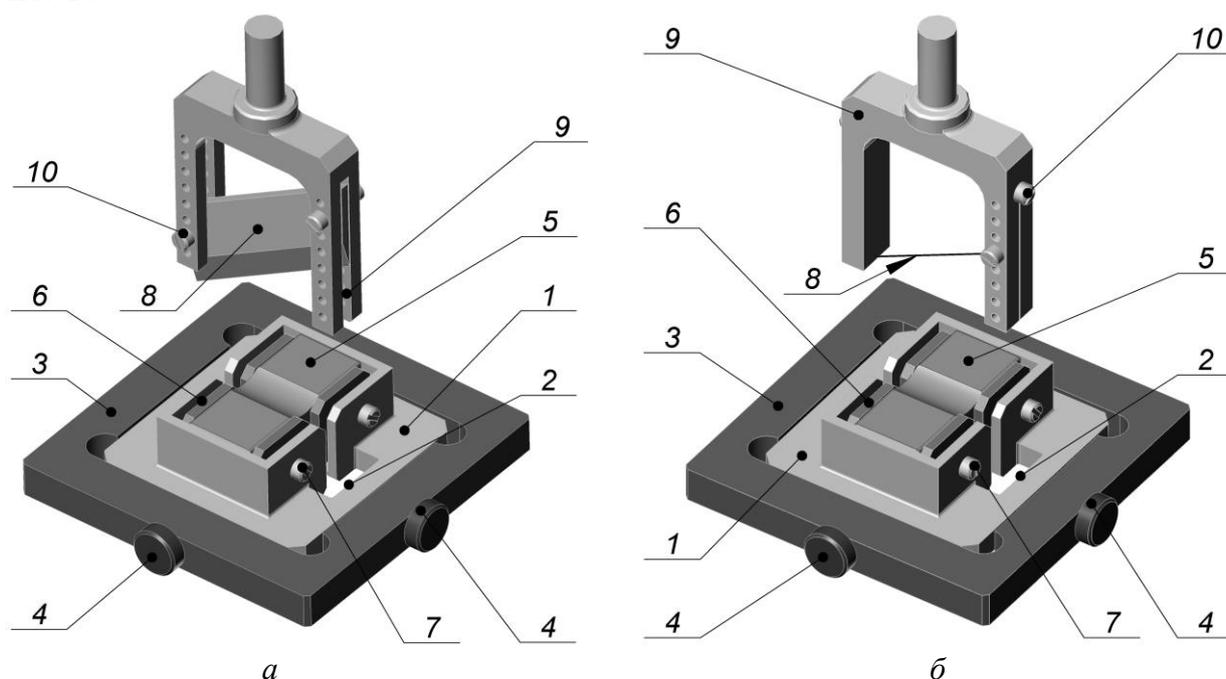


Рис. 10. Схемы расположения режущих органов и кассет с образцами материала  
*а* – при резании наклонным пластинчатым ножом;

*б* – при резании струнным ножом;

1 – кассета; 2 - паз для прохождения ножа; 3 - испытательная платформа; 4 – винтовой зажим; 5 – образец тунца; 6 – удерживающая накладка; 7 – винт; 8 - режущий орган; 9 - удерживающее приспособление; 10 – винт крепления ножа.

На рис. 11 показана экспериментальная зависимость силы сопротивления формы от угла входа кромки пластинчатого ножа при нормальном резании мышечной ткани тунца, а также результаты расчета указанной силы. На рис. 12 приведена зависимость силы полезного сопротивления от угла входа кромки при резании рыбы струнным ножом. На графиках в диаграммах размаха представлены экспериментальные данные, сплошные линии – результаты аналитического расчета. Получение

эмпирических функциональных зависимостей сил сопротивлений от геометрии резания материала проведено методом наименьших квадратов.

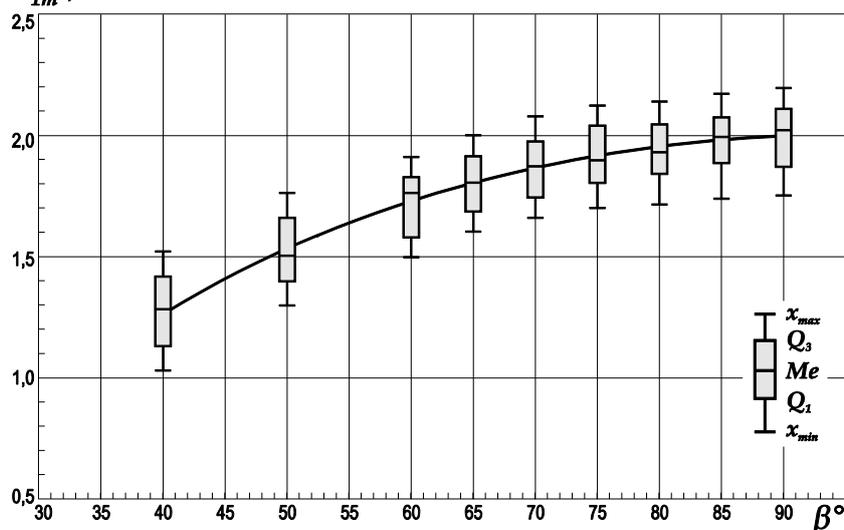


Рис. 11. Зависимость силы сопротивления формы от угла входа кромки при резании рыбы однокромочным пластинчатым ножом

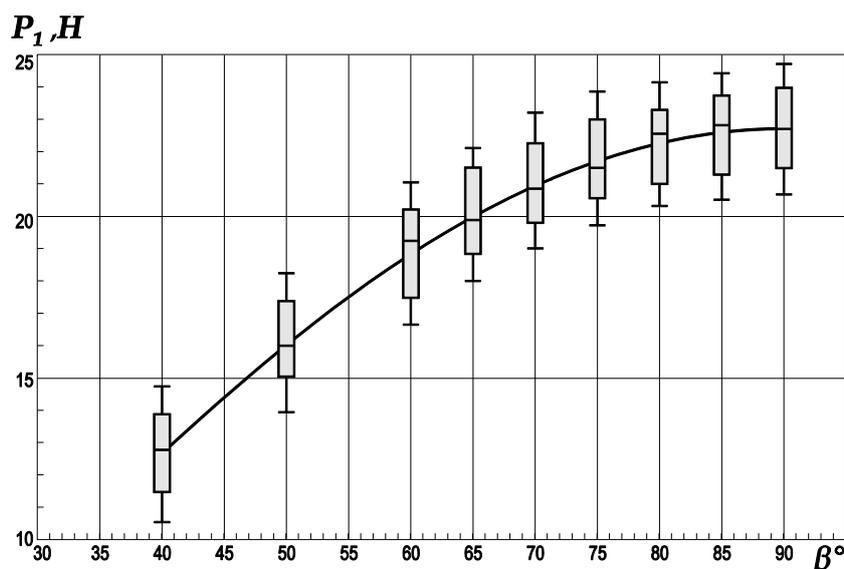


Рис. 12. Зависимость силы полезного сопротивления от угла входа кромки при резании рыбы струнным ножом

следующей зависимостью:

$$F_{1m} = -0,000262 \cdot \beta^2 + 0,048314 \cdot \beta - 0,233236 . \quad (9)$$

Результаты опытов на рис. 12 аппроксимированы следующим выражением:

$$P_1 = -0,003788 \cdot \beta^2 + 0,694191 \cdot \beta - 9,043712 . \quad (10)$$

Таким образом, было экспериментально показано, что значительный вклад в снижение сил вредных и полезных сопротивлений при наклонном резании ножами с прямолинейной и фигурной кромками вносит эффект кинематической трансформации геометрических параметров элементарного ножа - угла заточки и остроты. Полученные данные позволили научно обоснованно разработать конструкции режущих приспособлений порционирующих машин.

Сопоставление результатов экспериментов и теоретических расчетов показало, что результаты математического моделирования процесса резания рыбы количественно совпадают с реальными зависимостями силы сопротивления формы пластинчатого ножа от угла входа режущей кромки. С уменьшением угла входа лезвия и возрастанием наклона ножа указанная сила нелинейно и монотонно снижается. Это подтвердило адекватность математических моделей и принятых в них допущений в пределах точности экспериментальных данных и диапазонов изменения реологических характеристик материала. Результаты испытаний на рис. 11 аппроксимированы сле-

В седьмой главе «Практическая реализация научных и проектных решений на основе мехатроники» проанализированы перспективные направления повышения конкурентоспособности технологического оборудования для порционирования рыбы. Рекомендовано проектировать современные модели порционирующих машин с использованием модульного агрегатирования, что снижает себестоимость изделий, повышает доступность техники для потребителя, улучшает надежность и ремонтпригодность устройств. Внедрение в конструкции средств мехатроники вносит существенный вклад в повышение технологической гибкости и универсальности порционирующего оборудования. При реализации предложенного подхода разработана модульная конструкция машины для порционирования рыбного филе (патент РФ № 2807633) (рис. 13-15).

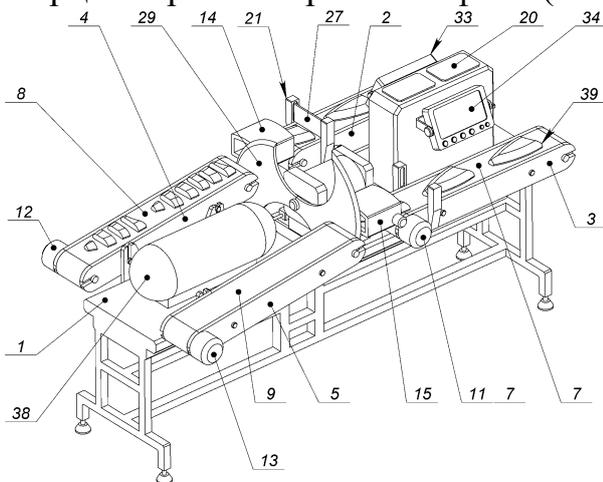


Рис. 13. Машина для резки рыбного филе.

Общий вид

1 – рама опорная; 2, 3 – конвейер подающий; 4, 5 – конвейер отводящий; 6, 7, 8, 9 – лента конвейера; 10, 11, 12, 13 – привод конвейера; 14, 15 – приспособление удерживающее; 16, 17 – конвейер удерживающего приспособления; 18, 19 – привод конвейера удерживающего приспособления; 20 – блок вычислительный; 21, 22, 23 – источник лазерный; 24, 25, 26 – фотоприемник; 27, 28 – лазерный луч; 29 – ротор фигурный эксцентрикового типа; 30, 31 – кромка режущая; 32 – привод фигурного ротора; 33, 34 – пульт управления; 35, 36 – форсунка гидравлическая; 37 – насос водяной; 38 – емкость; 39 – филе рыбное; 40 – филе ломтик; 41, 42, 43, 44 – кронштейн; 45, 46 – паз.

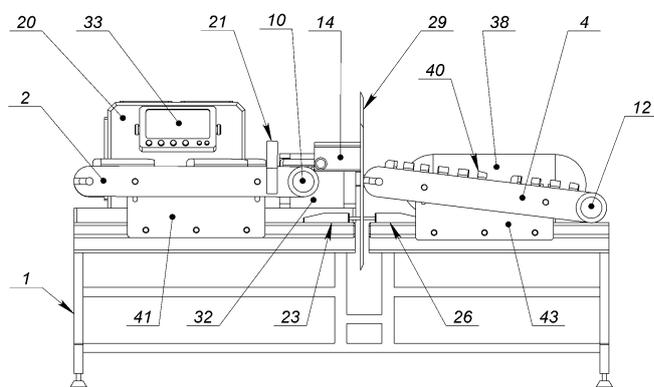


Рис. 14. Машина для резки рыбного филе.

Вид справа

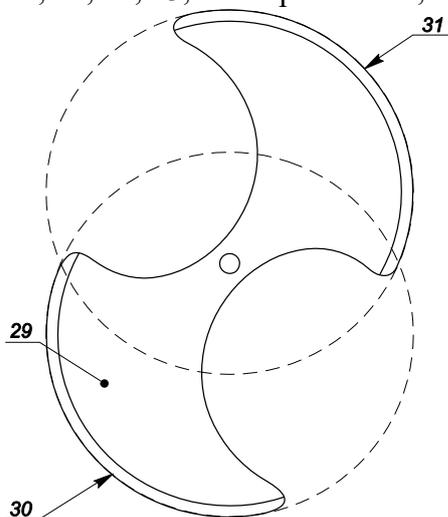


Рис. 15. Фигурный ротор

Наряду с вышеописанной мехатронной машиной, разработан ряд устройств для порционирования рыбных продуктов, защищенных патентами РФ на изобретение. Модульная машина для нарезки рыбы на ломтики (патент РФ на изобретение № 2758270) решает задачу экономии электроэнергии, одновременного увеличения производительности и улучшения качества срезов при осуществлении операции нарезки рыбного филе, за счет ускорения выбора подходящего режущего органа и изменения

его рабочего движения, использования пневматического привода для приведения в действие режущего органа и применения вакуума для предотвращения смещения филе при нарезке.

Машина для автоматической резки рыбного филе на порции (патент РФ на изобретение № 2729351), решает задачи улучшения качества среза рыбного филе и снижения расхода электроэнергии за счет снижения сил сопротивления резанию путем измерения консистенции и определения реологических свойств поступившего на обработку сырья и подбора оптимального рабочего органа. Машина для скоростной резки пищевых продуктов (патент РФ на изобретение № 2671900) решает задачи улучшения качества среза готового продукта за счёт обеспечения режима скользящего резания фигурными лезвиями со снижением сил сопротивлений и возможностью регулирования толщины ломтиков, а также повышения производительности за счет увеличения скорости резки продукта режущим приспособлением с одновременным повышением скорости перемещения сырья подающим приспособлением.

Перечисленные технические решения позволяют повысить эффективность технологического оборудования, интенсифицировать процесс порционирования, обеспечить высокое качество продукта, сократить потери сырья при выполнении технологических операций.

Разработана программа для ЭВМ (свидетельство Роспатента о регистрации № 2017611141), предназначенная для построения трехмерных цифровых моделей и определения основных морфометрических параметров продукта при нарезке на порции.

Эффективность внедрения результатов работы представлена ниже.

#### Эффективность внедрения результатов работы

Наименование разработки	Место внедрения	Результативность работы
Патент на изобретение № 2671900 «Устройство для резки пищевых продуктов»	ООО «ПК Пищевая инженерия»	Лицензионный договор № РД 0321989 от 14.01.2020 г.
Конструкторская и техническая документация при модернизации и выпуске порционирующей машины ПМ-001	ООО «ПК Пищевая инженерия»	Акт внедрения результатов в производство
Комплекс расчетных методик для определения оптимальной геометрии рабочих органов и режимов обработки	ООО «Судорыбтехмаш»	Акт внедрения результатов в производство
Комплекс расчетных методик по определению сил сопротивлений при порционировании рыбы	ФГБОУ ВО «КГТУ»	Акт внедрения результатов в учебный и научный процесс вуза

С целью оценки экономической эффективности совершенствования процесса порционирования рыбы и внедрения мехатронной порционирующей техники выполнен сравнительный экономический расчет производства филе-ломтиков форели холодного копчения производительностью 1,5 т в смену. Результаты проведенных расчетов основных технико-экономических показателей показали, что при внедрении порционирующего оборудования, по сравнению с ручной нарезкой рыбного филе, заметно улучшаются показатели экономической эффективности производства.

В приложении представлены материалы, подтверждающие практическую значимость, апробацию, внедрение и экономическую эффективность результатов работы.

## **ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ**

1. Выполнены постановки и решены задачи аналитического определения сил сопротивления формы ножа при нормальном резании мышечной ткани рыбы криволинейным фигурным лезвием и ножом с прямой наклонной кромкой в условиях стесненного сжатия вязкоупругого материала; разработан комплекс математических моделей для расчета размерных и безразмерных сил сопротивления формы при неполном и полном погружении лезвий в вязкоупругий материал; установлены основные зависимости процесса порционирования сырья от геометрии режущих органов, реологии мышечной ткани рыбы и скорости резания.

2. Проанализирован процесс ротационного резания материала ножом эксцентрикового типа и получен комплекс математических моделей для расчета угла скольжения, угла защемления и фактического угла резания, рассчитаны их аналитические зависимости от полярного угла эксцентрикового лезвия, радиуса и эксцентриситета ножа, а также от конструктивных параметров продуктового окна; обоснован наиболее эффективный диапазон полярных углов эксцентрикового ножа; выполнен динамический анализ процесса ротационного порционирования и определены его оптимальные геометрические параметры.

3. Выполнена постановка и решена задача аналитической оптимизации геометрии фигурного лезвия для порционирования рыбы по критериям минимальных сил вредных сопротивлений относительно ножа с прямой наклонной кромкой; рассчитаны оптимальные углы входа фигурного лезвия и определены их зависимости от заданного угла подъема ножа; установлены конструктивные виды фигурных кромок с оптимальной геометрией.

4. Проанализирован процесс вибрационного резания материала с наложением гармонических колебаний, разработаны математические модели для расчета виброскорости элементарного ножа и углов виброрезания, определены их основные зависимости от частоты колебаний, амплитуды и скорости подачи ножа; разработан комплекс математических моделей для расчета размерных и безразмерных сил сопротивления формы ножа; получены математические описания для определения углов виброрезания и

безразмерных сил сопротивления формы при наложении полигармонических колебаний с двумя гармониками.

5. Проведены экспериментальные исследования процесса наклонного резания мышечной ткани рыбы пластинчатым ножом с прямолинейной кромкой и струнным ножом при различных углах их наклона; определены количественные зависимости сил вредного и полезного сопротивления от угла наклона режущего органа; путем регрессионного анализа установлены виды функций, описывающих эмпирические зависимости сил вредного и полезного сопротивления от угла наклона ножа.

6. Разработаны модульные конструкции машин для порционирования рыбного филе (патенты РФ на изобретение № 2671900, 2729351, 2758270, 2807633), разработана программа для ЭВМ (свидетельство Роспатента о регистрации № 2017611141), предназначенная для формирования трехмерных цифровых моделей и определения морфометрических параметров сырья, выполнен технико-экономический расчет производства порционированных филе-ломтиков форели холодного копчения.

7. Продана лицензия (договор № РД 0321989 от 14.01.2020 г.) на право использования интеллектуальной собственности предприятием ООО «ПК Пищевая инженерия», проведено внедрение результатов исследования на отраслевых производственных предприятиях, а также в учебный и научно-исследовательский процесс вуза.

## УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$a$ ,  $b$  – геометрические параметры формы кромки;  $arsh$  – гиперболический арксинус;  $\alpha$  – угол заточки передней наклонной грани ножа в профиле, градус;  $\beta$  – угол входа кромки ножа в плане, градус;  $\theta$  – угол подъема фигурной кромки в плане, градус;  $L$  – проекционная длина ножа в плане, м;  $e$  – эксцентриситет эксцентрикового ножа, м;  $R$  – радиус эксцентрикового ножа, м;  $\alpha_{\phi}$  – фактический угол резания при трансформации профиля ножа, градус;  $\chi$  – угол защемления материала режущей кромкой ротора, градус;  $\tau$  – угол скольжения режущей кромки ротора, градус;  $h_p$  – высота расположения оси вращения фигурного ножа над дном продуктового окна, м;  $A$  – амплитуда колебаний виброножа, м;  $\omega$  – циклическая (угловая) частота колебаний виброножа, рад/с;  $v_n$  – скорость подачи виброножа, м/с;  $\alpha_S$  – угол виброрезания, градус;  $\hat{\alpha}_S$  – средний за период колебания угол виброрезания при наложении полигармонических колебаний, градус;  $F_{1m}$  – сила сопротивления формы пластинчатого ножа, Н;  $P_1$  – сила полезного сопротивления струнного ножа, Н.

*Безразмерные величины.*  $\bar{F}_{1m}$  – безразмерная сила сопротивления формы фигурного ножа;  $\hat{\bar{F}}_{1m}$  – безразмерная сила сопротивления формы ножа с прямой наклонной кромкой;  $\bar{F}_{1S}$  – безразмерная сила сопротивления при

виброрезании;  $\bar{F}_{1S}$  – средняя за период безразмерная сила сопротивления формы виброножа;  $\hat{F}_{1S}$  – средняя за период безразмерная сила сопротивления формы виброножа при наложении полигармонических колебаний;  $\bar{L}$  – безразмерная проекционная длина ножа;  $\bar{v}$  – безразмерная скорость движения ножа;  $e_{01}$  – мера эластичности мышечной ткани рыбы;  $\tilde{k}$  – номер гармоники полигармонического колебания при вибрационном резании.

**Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:**

**В изданиях, индексируемых в международных базах цитирования  
*SCOPUS* и *Web of Science*:**

1. Ageev O.V., Dowgiałło A., Sterczyńska M., Piepiórka-Stepuk J., **Samojlova N.V.**, Jakubowski M. Increasing the Efficiency of Food Materials Cutting during Inclined and Shear Movements of Knife. *Materials*, 2022, vol. 15, 289.

**В периодических изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки  
РФ:**

2. Агеев, О.В. Способ и алгоритм ориентирования рыбы на основе мехатроники / О.В. Агеев, А.Е. Ерыванов, И.А. Медянский, **Н.В. Самойлова** // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2016. – № 42. – С. 89-103.

3. Агеев, О.В. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на наклонные грани ножа при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2017. – № 47. – С. 80-96.

4. Агеев, О.В. Математическое моделирование силы сопротивления формы двухкромочного ножа без боковых граней при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия КГТУ. – 2019. – № 53. – С. 75-88.

5. Агеев, О.В. Расчет деформационной составляющей коэффициента трения шероховатой поверхности ножа при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия КГТУ. – 2019. – № 55. – С. 177-189.

6. Агеев, О.В. Подход к расчету деформационной силы трения при резании охлажденной рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Вестник Международной академии холода. – 2019. – № 4. – С. 49-56.

7. Агеев, О.В. Подход к расчету удельной работы разрушения материала при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия КГТУ. – 2021. – № 62. – С. 67-79.

8. Агеев, О.В. Математическое моделирование сил сопротивлений при резании рыбы дисковым ножом / О.В. Агеев, **Н.В. Самойлова**, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, О.А. Зубков // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2021. – № 4(50). – С. 46-58.

9. Агеев, О.В. Подход к математическому моделированию процесса вибрационного резания пищевых материалов / О.В. Агеев, **Н.В. Самойлова** // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2023. – № 4(58). – С. 51-68.

### **Публикации в других изданиях и материалах конференций:**

10. Агеев, О.В. Разработка устройства для порционирования пищевых продуктов на основе мехатроники / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Продовольственная безопасность: научное, кадровое и информационное обеспечение: материалы IV междунар. науч.-техн. конф. / ФГБОУ ВО “Воронеж. гос. ун-т инж. технол.”. – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО “ВГУИТ”, 2017. – С. 296-303.

11. Агеев, О.В. Выбор и идентификация реологической модели структурно-механических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия Калининградского государственного технического университета. – 2018. – № 49. – С. 75-91.

12. Агеев, О.В. Математическое моделирование сил нормального контактного давления на грани двухкромочного ножа при резании рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Известия КГТУ. – 2018. – № 50. – С. 81-102.

13. Агеев, О.В. Модульный принцип построения мехатронного рыбобороздочного оборудования / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Проблемы механики современных машин: материалы VII междунар. науч. конф. / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2018. – Т. 2. – С. 33-36.

14. Агеев, О.В. Перспективы применения методов и средств мехатроники в первичной обработке рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Инновационные и ресурсосберегающие технологии продуктов питания: I Национальная науч.-техн. конф. с междунар. участием, Рыбное, 27 апреля 2018 г.: материалы [Электронный ресурс]. – Астрахань: Изд-во АГТУ, 2018. – Режим доступа: 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

15. Агеев, О.В. Анализ соответствия реологических моделей структурно-механическим свойствам рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Научный журнал Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных

технологий, механики и оптики. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2018. – № 2(36). – С. 34-43.

16. Агеев, О.В. Научные основы обеспечения энергоресурсосбережения при резании рыбы / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Техногенная энергобезопасность и энергоресурсосбережение: материалы междунар. науч.-техн. конф. / Московский институт энергобезопасности и энергосбережения. – Москва: Изд-во МИЭЭ, 2018. – С. 96-98.

17. Агеев, О.В. Анализ реологических свойств мышечной ткани рыбы / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // VI Международный Балтийский морской форум. Прогрессивные технологии, машины и механизмы в машиностроении и строительстве: материалы IV междунар. науч. конф. [Электронный ресурс] / БГАРФ, ФГБОУ ВО «КГТУ». – Калининград: Изд-во БГАРФ, ФГБОУ ВО «КГТУ», 2018. – Т. 6. – С. 60-64. – 1 электрон. опт. диск.

18. Агеев, О.В. Разработка мехатронного устройства для резки рыбного филе с автоматической сменой рабочих органов / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова** // Актуальные проблемы техники, технологии и образования: материалы I Национальной науч.-практ. конф. с междунар. участием. / ФГБОУ ВО «Керченский гос. морск. технол. ун-т». – Керчь: Изд-во ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2020 – С. 9-12.

19. Агеев, О.В. Подход к разработке мехатронного слайсера роторного типа для нарезки рыбного филе / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова**, П.Р. Букуев // Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса: материалы V междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО «Воронеж. гос. ун-т инж. технол.». – Воронеж: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУИТ», 2021. – С. 203-213.

20. Агеев, О.В. Development of a rotary mechatronical device for food products portioning / О.В. Агеев, **Н.В. Самойлова**, А.В. Бойко, О.А. Зубков // Инновационные направления интеграции науки, образования и производства: материалы IV Международной науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВО «Керченский гос. морск. технол. ун-т». – Керчь: Изд-во ФГБОУ ВО «КГМТУ», 2023. – С. 16-20.

21. Агеев, О.В. Экспериментальное исследование усилий резания при порционировании рыбы / О.В. Агеев, **Н.В. Самойлова** // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы VI Международной науч.-практ. конф. / Научно-исследовательский центр «Машиностроение». – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2023. – № 6. – С. 117-119.

22. **Самойлова, Н.В.** Математическое моделирование процесса резания рыбы ножом с фигурной криволинейной кромкой / **Н.В. Самойлова**, О.В. Агеев // Вестник науки и образования Северо-Запада России [Электронный ресурс]. – 2023. – Т. 9. – № 3. – Шифр: ЭЛ № ФС77–63282. – С. 7-26. – Режим доступа: <http://vestnik-nauki.ru/wp-content/uploads/2023/09/2023-N3-Samojlava-Ageev.pdf>.

**Научно – технические издания:**

23. Технологическое оборудование рыбоперерабатывающих производств: в 2 ч.: учеб. пособие / О.В. Агеев, Ю.А. Фатыхов, А.Е. Ерыванов, К.В. Бабарыкин, **Н.В. Самойлова**. – Калининград: Изд-во ФГБОУ ВО «КГТУ», 2017. – Ч. 1: Машины для первичной обработки рыбы. – 200 с.

**Патенты на изобретения:**

24. **Устройство для резки пищевых продуктов**: пат. 2671900 РФ, МПК А22 С25/18 / О.В. Агеев, А. Довгялло, Ю.А. Фатыхов, К.В. Бабарыкин, **Н.В. Самойлова**; заявитель и патентообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2017140394; заявл. 20.11.17; опубл. 07.11.18; бюл. № 31.

25. **Устройство для резки рыбного филе**: пат. 2729351 РФ, МПК А22 С25/18 / О.В. Агеев, А.Е. Савельичев, М. Якубовский, А. Довгялло, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова**; заявитель и патентообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2019119060; заявл. 18.06.19; опубл. 06.08.20; бюл. № 22.

26. **Устройство для резки рыбного филе на ломтики**: пат. 2758270 РФ, МПК А22 С25/18 / О.В. Агеев, П.Р. Букуев, М. Якубовский, А. Довгялло, М. Стержинска, Ю.А. Фатыхов, **Н.В. Самойлова**; заявитель и патентообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2021100329; заявл. 11.01.21; опубл. 27.10.21; бюл. № 30.

27. **Устройство для резки рыбного филе на ломтики**: пат. 2807633 РФ, МПК А22 С25/18 / О.В. Агеев, **Н.В. Самойлова**, М.Э. Кокрицкий, Э.В. Суходольский, А.В. Бондарь, А.В. Бойко, О.А. Зубков; заявитель и патентообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2023107583; заявл. 28.03.23; опубл. 17.11.23; бюл. № 32.

**Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ:**

28. Автоматическое построение трехмерной модели рыбы и определение ее морфометрических параметров: свид-во о регистрации программы для ЭВМ 2017611141 РФ / О.В. Агеев, И.А. Медянский, А.Е. Ерыванов, **Н.В. Самойлова**, Ю.А. Фатыхов; заявитель и правообладатель Калининградский гос. техн. ун-т. – № 2016662857; заявл. 24.11.16; зарегистр. 19.01.17, опубл. 19.01.17.

Подписано в печать 01.04.2024 г. Формат 60 x 84 1/16

Усл. печ. л. 1,1. Тираж 100 экз. Заказ № \_\_\_\_\_

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»  
(ФГБОУ ВО «КГТУ»)

Отдел полиграфии ФГБОУ ВО «КГТУ»

Адрес университета и отдела полиграфии  
236022, г. Калининград, Советский проспект, д. 1