Научно-производственная статья
УДК 664.9.022

АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЕРИЙНЫХ МАШИН ДЛЯ ПОРЦИОНИРОВАНИЯ РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ

Н.В. Самойлова[1,*], А.А. Яшонков[2], А.М. Крайнов[3]

[1] Калининградское отделение Международной академии холода, Калининград, Россия
[2] Керченский государственный морской технологический университет, Керчь, Россия
[3] Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия
[*] E-mail: procyon@mail.ru

Аннотация. Показана актуальность реализации процессов порционирования рыбы при расширении производства продуктов питания из водного сырья. Проанализированы производственные возможности российских и зарубежных моделей машин для нарезки рыбы на порции. Установлены характерные недостатки известных конструкций порционирующего оборудования. Анализ показал, что основным физико-механическим процессом при порционировании рыбы является резание материала лезвием, которое по-прежнему остается недостаточно исследованным явлением. Предлагается вести разработку новых конструкций порционирующих машин на основе мехатроники, которая решает проблемы импортозамещения, обеспечения доступности оборудования, увеличения долговечности и надежности, а также улучшения качества продукции. Отмечена настоятельная необходимость применения модульного принципа при проектировании порционирующего оборудования, за счет которого повышаются производственная гибкость и энергоэффективность средств технологического оснащения.

Ключевые слова: *порционирование рыбы; машина; технологическое оборудование; резание; нарезка; лезвие; мехатроника.*

Для цитирования: Самойлова Н.В., Яшонков А.А., Крайнов А.М. Анализ производственной эффективности серийных машин для порционирования рыбных продуктов // *Вестник науки и образования Северо-Запада России*. 2025. Т. 11. № 2. С. 89–100.

Original article

ANALYSIS OF PRODUCTION EFFICIENCY OF SERIAL MACHINES FOR FISH PRODUCTS SLICING

N.V. Samojlova[1,*], A.A. Yashonkov[2], A.M. Krainov[3]

[1] Kaliningrad Regional Branch of International Academy of Refrigeration, Kaliningrad, Russia
[2] Kerch State Marine Technological University, Kerch, Russia
[3] Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia
[*] E-mail: procyon@mail.ru

Abstract. The relevance of realization of fish portioning processes during food production by aquatic raw material expanding is shown. The production capabilities of Russian and foreign models of machines for fish cutting to portions are analyzed. Typical shortcomings of known designs of portioning equipment are found. The main physical and mechanical process in fish portioning is cutting the material with a blade, which still remains an insufficiently studied phenomenon. Development new designs of portioning machines based on mechatronics, which solves the problems of import substitution, ensuring equipment availability, increasing durability

© Самойлова Н.В., Яшонков А.А., Крайнов А.М. 2025

and reliability, and improving product quality, is proposed. The urgent need to apply the modular principle in the design of portioning equipment is noted, which increases production flexibility and energy efficiency of technological equipment.

Keywords: *fish portioning; machine; technological equipment; cutting; slicing; blade; mechatronics.*

For citation: Samojlova N.V., Yashonkov A.A., Krainov A.M. Analysis of production efficiency of serial machines for fish products slicing. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2025. Vol. 11, No. 2, pp. 89–100.

Введение

Проблема эффективного порционирования рыбы имеет важное экономическое и хозяйственное значение. В «Стратегии развития рыбохозяйственного комплекса Российской Федерации на период до 2030 года», утвержденной 26 ноября 2019 года распоряжением Правительства № 2798-р, особое внимание уделяется первичной обработке рыбы, в частности, порционированию рыбного филе, его упаковке и холодильному хранению.

Рыбоперерабатывающее машиностроение является важной и перспективной отраслью, которая в последние годы демонстрирует положительную динамику. Следует отметить, что за последние 8 лет объем производства пищевого оборудования в Российской Федерации увеличился в 2,5 раза, при этом в 51 субъекте страны действует более 270 предприятий.

Производство порционированных ломтиков-филе позволяет сократить потери ценных ингредиентов, а также эффективно реализовать побочные продукты разделывания, т.е. создавать безотходные производства. При этом большое значение имеет реализация процесса порционирования при минимальных энергетических затратах и высокой эффективности порционирующих машин [1-3]. Наиболее перспективным путем повышения эффективности технологического оборудования является не только увеличение производительности, но также снижение усилий резания и энергозатрат за счет совершенствования рабочих органов и режимов обработки [4-6]. Для обеспечения необходимых объемов выпуска рыбной продукции глубокой переработки требуется достаточный парк современных конкурентоспособных порционирующих машин.

В отрасли запатентовано существенное количество устройств для порционирования рыбных продуктов [см., например, 7-9]. Ряд машин для нарезки рыбного филе разработан в последние годы с применением средств и методов мехатроники [10, 11].

Для построения эффективных рыбоперерабатывающих линий проектировщики должны располагать данными о перспективности конструкций технологического оборудования, сведениями о выявленных недостатках порционирующих машин и путях их устранения. В связи с этим, целью настоящей статьи является проведение анализа выпускаемого в России и за рубежом серийного технологического оборудования для порционирования рыбы, а также выявление характерных недостатков и оценка перспективности конструктивных решений для применения в производственных условиях.

Анализ конструкций серийных машин для порционирования рыбных продуктов

Отечественными и зарубежными проектными организациями разработан и серийно выпускается ряд технологических машин для порционирования рыбы [12-15]. Анализ порционирующей техники показывает, что нарезка рыбы на порции осуществляется преимущественно по трем следующим схемам [16, 17]: 1. Пластинчатым ножом с прямой кромкой, совершающим вертикальное возвратно-поступательное движение. 2. Вращающимся ножом с прямой или фигурной кромкой. 3. Блоком вращающихся плоскопараллельных дисковых ножей.

Машина **Norfo FS 600** (Дания) разработана для порционирования мороженого рыбного филе. Оператор укладывает продукт на ленту подающего конвейера, который

перемещает филе в блок нарезки. Резание осуществляется двумя дисковыми ножами, стандартное расстояние между которыми составляет 10 мм. При переходе на другой вид продукции и форму нарезки устанавливается сменный набор ножей. Толщина дисковых ножей зависит от высоты обрабатываемого продукта. Скорость движения конвейера регулируется бесступенчато.

Машина **Norfo PC 2000** предназначена для порционирования рыбного филе на ломтики заданной формы массой от 20 до 300 г. Машина оснащена сканирующим устройством, которое обмеряет филе и передает информацию в ЭВМ. На основании полученных данных рассчитывается площадь сечения среза и вычисляется необходимое расстояние между соседними резами для получения ломтиков заданной массы. ЭВМ управляет исполнительным механизмом, который выполнен в виде дискового ножа, установленного на поворотном рычаге поперек ленты конвейера, а также шаговым приводом конвейера. Наличие ЭВМ позволяет программным способом изменять виды нарезки в зависимости от вида и размеров рыбного филе. Производительность составляет 60 ломтиков филе в минуту. Точность формирования порции составляет ±5 г.

Машина **Norfo PC 3000** разработана для порционирования филе и круглого продукта на ломтики массой от 100 до 200 г. Филе нарезается под углом от 0 до 45º, а продукт круглой формы – на порции заданной длины. Машина имеет лазерное сканирующее устройство, обмеряющее профиль продукта. Измерительная информация поступает в ЭВМ, которая на основе заданных программ оптимизирует параметры нарезки, что сокращает количество отходов и повышает выход продукции. Машина имеет весоконтрольное устройство, что позволяет формировать по заданной программе партии готовой продукции.

Порционирующая машина **Rosoma 400** фирмы Rostocker Sondermashinen (ФРГ) предназначена для нарезки филе (со шкуркой или обесшкуренное), а также кальмара. Изделие используется как отдельная машина с оперативным подводом сырья и отводом готовой продукции, так и интегрируется в производственную линию. Слайсер нарезает филе рыбы, а также трубочки кальмара толщиной до 25 мм, полосками шириной 15 мм. При нарезке на кусочки другой ширины требуется модифицировать машину.

Машина работает следующим образом. Филе рыбы укладывается вручную поперек конвейера при работающем конвейере. При нарезке филе со шкурой филе укладывается шкурой наверх. По конвейеру рыба подается на участок нарезки и проходит через вращающие дисковые ножи. Масса филейчика 50-200 г. Пропускная способность – 60 филе/мин (при обслуживании одним рабочим), 400 кг/ч (в зависимости от размера рыбы, кальмара). Ширина нарезки 15 мм, определяется расстоянием между ножами, возможна различная ширина при доукомплектовании машины. Размеры филе: длина 70-300 мм, ширина 30-120 мм, высота 10-25 мм. Обслуживание – один или два рабочих для укладывания филе, конвейер для укладки филе может быть удлинен для создания дополнительных рабочих мест. С конвейера полоски (кусочки) филе попадают в подготовленную емкость. Конвейерная лента легко снимается для чистки при помощи рычажного механизма. Пропускная способность максимум 1300 филейчиков (филе сельди) в час в зависимости от скорости укладки рыбы, при нарезке других пород рыб и размеров возможны отклонения.

Порционирующая машина **NPJ-3000** фирмы Nikko (Япония) является высокоскоростным слайсером, который вырабатывает 3100 рыбных ломтиков в час. Машина обслуживается одним оператором на загрузке. При помощи специальных ножей и системы прижима, все ломтики получаются одинаковой толщины. Особенностью слайсера являются управляемые дисковые ножи, которые установлены на вращающейся основе, и автоматически действуют в двух плоскостях – горизонтальной и вертикальной. Установка сканирует обрабатываемую рыбу или филе, определяя размеры и вес продукта. Приближаясь к хвостовой части филе, ножи совершают движения под максимальным наклоном, делая маленькие кусочки визуально большими по объему. Кроме того, оператор самостоятельно

задает требования к нарезке, определяя вес, ширину и высоту каждого кусочка. Основными преимуществами изделия являются значительный угол поворота и наклона ножей, удобная загрузка филе и рыбы, способ нарезки с изменяющимся углом, возможность программирования веса и толщины ломтиков, удобное техническое обслуживание и мойка.

Машина **SM 5290** фирмы Salmco (ФРГ) разработана для порционирования рыбы и филе на кусочки заданного размера. Тушки рыбы укладываются на операционный конвейер в несколько рядов и перемещаются к рабочему органу, выполненному в виде ленточного ножа. Режущий инструмент закреплён на раме, имеющей возможность возвратно-поступательного движения в вертикальной плоскости. В машине предусмотрена возможность регулирования наклона ножа, что позволяет выполнять наклонный рез филе и вырабатывать визуально крупный продукт. Недостатком конструкции является отсутствие измерительных устройств и прижимных приспособлений.

Фирма Salmco также выпускает порционирующую машину **SM 5490**, отличающуюся от предыдущей модели наличием двух конвейеров. Это позволяет одновременно обрабатывать одним режущим инструментом два потока продукта и повысить производительность линии. Для нарезки на порции филе крупных рыб лососевых пород разработана машина **SM 5410**, включающая два операционных конвейера и режущий инструмент, который выполнен в виде ленточного ножа. Модель **SM 5500** имеет подвижный операционный стол, на который укладывается филе крупной рыбы. Ленточный нож расположен горизонтально и закреплен неподвижно. При перемещении стола вертикально и горизонтально нож осуществляет резание в горизонтальной плоскости и нарезает филе на требуемое количество слоёв. Движением операционного стола и конвейером управляет микроЭВМ по заданной программе порционирования.

Выпускается порционирующая машина **NOCK Cortex CB 435/4E Compact-Slicer**, предназначенная для нарезки рыбы и кальмара на куски. Машина имеет широкий диапазон размера нарезки – 8, 16, 24, 32, 40 мм. Резание осуществляется блоком плоскопараллельных дисковых ножей, что обеспечивает калиброванную толщину куска.

Порционирующая машина **Marelec Portio** (Бельгия) предназначена для порционирования рыбного филе, целой рыбы, мяса птицы. Машина комплектуется различными системами фиксации продукта и ножами, а также снабжается тремя видеосканирующими устройствами: одно применяется для плоских продуктов, таких как филе, два других - для сканирования объемных продуктов. Продукт в машине укладывается на подающий конвейер и далее по мере поступления в камеру нарезки сканируется трехмерным лазерным устройством для определения объема продукта.

Полученные результаты измерений обрабатываются программой, которая определяет место реза ножа с целью деления всего продукта на порции заданного веса или толщины. Наличие дополнительного весоконтрольного устройства позволяет повысить точность порционирования. Машину можно регулировать при помощи панели управления в любой момент процесса резки, что позволяет улучшить результаты. Нож нарезает до 1000 порций в минуту фиксированного веса. Возможно изменение угла нарезки от 0 до 45 градусов. Изменение угла нарезки производится достаточно быстро и без использования инструментов. Оптимальный зазор между лентами загрузки и разгрузки настраивается автоматически. Максимальные габариты продукта: 110 мм х 240 мм х 800 мм.

Порционирующая машина **I-Cut 130** фирмы Marel (Исландия) спроектирована для ротационной высокопроизводительной нарезки рыбных и мясных продуктов. Изделие укладывается на подающий конвейер, движущийся со скоростью до 500 мм/сек. Продукт проходит через лазерный трехмерный сканер для сбора морфометрической информации. Уголковый вращающийся нож с прямой кромкой нарезает пищевой материал на порции фиксированного веса или фиксированной длины. Схема резки отображается встроенной ЭВМ на дисплее, что позволяет оператору изменять или адаптировать программу обработки в ходе технологического процесса. Максимальные размеры продукта следующие: ширина

270 мм, длина 980 мм, толщина 150 мм. Предельная скорость нарезки составляет 1000 резов в минуту. Выпускается агрегатированная модель **I-Cut 130 Singulator**, которая позволяет разделять и выравнивать до 200 порций в минуту, вырабатываемых узлом для порционирования. Машина обеспечивает надежное разделение и выравнивание порций непосредственно за режущим органом. Это улучшает технологический процесс и эффективность порционирования, одновременно сокращая потери и повышая качество конечного продукта. В результате машина хорошо сочетается с другими изделиями Marel, такими как автоматические устройства для взвешивания, сортировки, дозирования, маринования, укладки и загрузки лотков.

Порционирующая машина **ТС-07** фирмы Pisces (США) рассчитана на нарезку филе сельди и других рыб на кусочки заданного размера. В основе машины находится блок плоскопараллельных дисковых ножей, которые формируют порции размерами 6, 8 и 12 мм из рыбного филе шириной до 600 мм. Машина снабжена столом-накопителем на 70 кг сырья. Во время резания дисковые ножи непрерывно орошаются водой, что позволяет обеспечить хорошее качество поверхности порций.

Порционирующая машина **ПМ-120** фирмы «РостПищМаш» (Россия) предназначена для нарезки филе рыбы, кальмара и других морепродуктов на соломку и палочки одинакового размера шириной от 8 мм до 20 мм. Максимальные размеры обрабатываемого сырья следующие: ширина 250 мм, толщина 35 мм. Рекомендуемые виды рыб для переработки: филе разных пород рыб, филе кальмара, филе морепродуктов. Обеспечена нарезка филе в свежем, размороженном и соленом виде. Производительность составляет 250 кг/час при обслуживании одним оператором. Какие-либо электронные компоненты и системы настройки в изделии отсутствуют.

Машина изготовлена из пищевых нержавеющих сталей и содержит импортные режущие органы. Машина работает следующим образом: филе укладывается на лоток барабана, далее лоток с филе проходит через вращающиеся ножи, в результате чего филе нарезается на палочки или соломку. Нарезанное филе падает в контейнер готовой продукции. Изготавливается в следующих модификациях: ПМ-120-М - для нарезки соломки шириной 8 мм, ПМ-120-5 - для нарезки соломки шириной 10 мм, ПМ-120-8 - для нарезки соломки шириной 12 мм.

Близкой по конструкции является известная машина **ПМ-200** (Россия), которая выпускается для нарезки филе и тушек (с костями) рыбы в свежем, размороженном и соленом виде на кусочки одинакового размера шириной от 8 мм до 45 мм. Диапазон обрабатываемых рыб: длина рыбы до 300 мм, толщина до 65 мм, ширина до 110 мм. Рекомендуемые виды рыб для переработки: сельдь, сардина, скумбрия, ставрида, сайра, форель.

На малых и средних производствах широко применяется порционирующая машина **ИПКС-074-01-140(Н)** фирмы НПП Эльф-4М (Россия). Изделие предназначено для нарезки филейных полутушек при производстве фасованных пресервов. Максимальная производительность составляет 1200 кг/ч. У тушки перед нарезкой должны быть удалены голова, киль брюшка, плавники, внутренности, икра или молока, чешуя, а брюшная полость тщательно промыта и зачищена от крови и пленок. Машина снабжена блоком режущих дисков со специальными углами заточки и устройством автоматической остановки движения полотна транспортера в случае его переполнения продуктом. Имеется возможность варьировать размер нарезаемых кусочков за счет изменения расстояния между режущими дисками. Эффективность разрезания филе достигается за счет разницы линейной скорости движения ленты транспортера и линейной скорости режущей кромки. Изделие может оснащаться блоком управления с двумя частотными регуляторами для независимого регулирования скорости вращения режущих дисков и скорости движения ленты транспортера (модель ИПКС-074-01-140Ч(Н)). Машина выполнена полностью из пищевой нержавеющей стали.

Работа машины осуществляется следующим образом. Филейные полутушки рыбы вручную укладываются на движущуюся конвейерную ленту и подаются в зону нарезки к блоку вращающихся режущих дисков. Режущие диски разрезают полутушку рыбы на кусочки установленного размера. Прижим удерживает тушки рыбы в зоне режущих дисков во время резания. Очиститель служит для очистки конвейерной ленты от налипших кусочков отходов продукта. Кусочки рыбы снимаются с конвейерной ленты вручную.

В целом следует заметить, что для порционирования филе и рыбы на отечественных предприятиях широкое распространение получила конвейерная порционирующая машина, состоящая из ленточного конвейера и ножевого вала, установленных на станине и приводимых во вращение от одного электродвигателя. На ленте конвейера закреплены пластмассовые лотки, имеющие по всей длине углубление, в которое закладывается тушка. На ножевом валу равномерно установлены дисковые ножи, между которыми закреплены проставочные втулки, которые определяют расстояние между ножами и ширину кусков порционированной рыбы. Кроме того, в лотках выполнены прорези, в которые при резании заходят дисковые ножи. При изменении ширины нарезаемых кусков наладчиком вручную заменяются проставочные втулки, а лотки не меняются, поскольку в них выполнены прорези для нарезания кусков различной ширины. Такие машины серийно выпускают российские компании «ПК Пищевая инженерия», «НПП Эльф-4М», «РостПищМаш» и другие.

Машина для резки рыбы **CHFC-300** (Южная Корея) предназначена для нарезки подмороженной, сырой или вяленой рыбы (скумбрия, сельдь, щука, минтай, треска, сайра, лента-рыба) на равные кусочки прямым резом. Минимальная ширина резки - 10 мм. Ширина барабана для укладки продукта - 300 мм. Ширина максимальная укладываемой рыбы в паз - 70 мм. Машина имеет высокую производительность 40-50 рыб/мин, что позволяет заменить труд от 30 до 40 рабочих. Машина технологически имеет возможность отрезать рыбную голову и отводить ее по желобу отдельно от готового продукта.

Многоножевой слайсер **MKS-350** (Южная Корея) предназначен для нарезки филе рыбы или кальмара на куски малой толщины. Минимальная толщина нарезаемого кусочка 2,5 мм. Угол резки можно устанавливать в пределах 22-27º. Плавность и точность работы режущего механизма обеспечивает высокое качество получаемого продукта. На рабочую поверхность машины укладывают продукт, который необходимо нарезать на тонкие пластинки (ломтики). Аналогичную конструкцию имеет многоножевой слайсер **MKS-600**, который предназначен для нарезки бескостного филе лосося, горбуши, кеты или другой крупной рыбы на тонкие пласты. Минимальная толщина нарезаемого кусочка 4 мм. Угол нарезки возможно устанавливать в пределах 22-27º . Максимальная длина филе 520 мм, ширина приемного лотка 250 мм.

В качестве особого вида оборудования необходимо отметить машины для резания рыбных продуктов водяной струей. При этом вода подается под давлением до 400 МПа. Из сопла гидроголовки инжектируется высокоэнергетическая струя, которая разделяется на отдельные капли, разрывающие клеточные структуры обрабатываемого продукта. Разрезаются рыбные кости и мясо филе. Преимуществами такого гидроструйного способа резания является отсутствие повреждений по краям разреза, отсутствие загрязнений продукта инструментом, а также легкое изменение траектории резания. Поскольку гидроструйный режущий инструмент может управляться от ЭВМ, с помощью программного обеспечения выбираются различные формы резания. Кроме того, отсутствует необходимость периодической заточки и чистки инструмента, существенно снижается количество отходов. Гидроструйное резание применяется для нарезания рыбы, порционирования филе, вырезания костей из филе, триммирования, удаления голов и плавников, обесшкуривания.

Примером данного вида оборудования является машина для гидроструйного резания фирмы Frigoscandia (Швеция). Встроенная ЭВМ обеспечивает наиболее рациональный ход порционирования по заданной массе с учётом требований технологии. Рыба или филе подается в машину операционным конвейером, после чего сканируется двумя

видеокамерами, формирующими объёмное изображение. При выработке необходимых данных изделие разрезается струей воды с производительностью до 145 рыб в минуту. В машине увеличен выход продукта за счёт тонкого разреза мышечной ткани, а также практически исключается его обсеменённость в процессе обработки.

Анализ недостатков серийного порционирующего оборудования

Следует отметить основные характерные недостатки известного технологического оборудования для порционирования рыбы. В ряде существующих моделей отсутствует измерительный блок, позволяющий получать и обрабатывать информацию о размерах рыбы и филе. В некоторых устройствах рез осуществляется пластинчатым ножом с большой толщиной лезвия, в результате чего возникают большие силы сопротивления резанию, что отрицательно сказывается на качестве поверхности ломтиков. Управление подающим конвейером и режущим инструментом зачастую осуществляется сложным механизмом, включающим копир, кулачок, ролик, подпружиненный шток и храповое колесо. Это значительно снижает производительность и надежность машин. Вследствие этого существенно ограничены возможности техники для формирования требуемых потребительских качеств продукции, имеются трудности для экономичного использования сырья и энергии.

Наряду с этим, решающим недостатком многих моделей является работа ножей с прямыми кромками в режиме нормального резания. Кромки ножей двигаются перпендикулярно поверхности материала, что обусловливает значительные локальные уплотнения в мясе и разрывы тканей. Кроме того, в начале резания лезвиями с зубчатой формой кромки на поверхности продукта образуются участки, которых не касаются режущие зубцы, и в которые выдавливается продукт с деформацией мяса. Криволинейные фигурные кромки, которые обеспечивают более эффективное порционирование, используются в оборудовании недостаточно вследствие острого недостатка в расчетных методиках [3] и апробированной технологии изготовления. Это приводит к снижению качества готового продукта. При резании образуется стружка, возникают потери ценного сырья. В ряде конструкций подача сырья к ножам осуществляется под действием собственного веса мяса с использованием вибрации, что существенно ограничивает скорость подачи и производительность устройства. Измерение размеров сырья и автоматическая регулировка толщины ломтиков при этом не осуществляются, в связи с чем требуется ручная регулировка оператором.

Кроме того, серьезным недостатком, ограничивающим применение ряда моделей, является резка рыбного филе на ломтики только одной заданной толщины. Для изменения толщины ломтиков в значительном количестве машин требуется демонтаж и замена ножевого вала. Кроме того, качество и скорость резания являются низкими, поскольку филейчики прижимаются к дисковым ножам только под действием силы веса филе. Дисковые ножи зачастую проектируются со значительным запасом прочности вследствие отсутствия расчетных методик, и поэтому имеют большую толщину и вес, что приводит к значительным затратам электроэнергии на вращение ножевого вала.

Следует отметить недостаток, ограничивающий применение многих машин, который заключается в отсутствии возможности смены рабочего органа. В конструкциях не предусмотрены видеокомпьютерные приспособления для получения информации о размерах филе и его консистенции, в результате чего невозможна и автоматическая смена режущих органов. В крайне ограниченной номенклатуре устройств применяется наложение колебаний на режущий орган, что существенно сдерживается недостаточной научно-теоретической базой вибрационного резания пищевых продуктов.

В машинах с вращающимся рабочим органом используется преимущественно уголковый нож с прямой кромкой. Вместе с тем, такая форма рабочего органа является

наименее эффективной, поскольку не обеспечивает рациональные углы скольжения режущей кромки и защемления материала в продуктовом окне.

Современные тенденции в разработке порционирующего оборудования

Анализ современных тенденций развития техники для порционирования рыбы и пищевого машиностроения приводит к перспективным направлениям повышения конкурентоспособности данного вида изделий:

- комплексная механизация и автоматизация технологических операций на различных стадиях процесса первичной обработки рыбы;
- техническое совершенствование конструкций в условиях непрерывно возрастающих требований;
- повышение в экономически оправданных пределах производительности технологических машин;
- снижение затрат на производство машин в расчете на единицу их нормативной производительности;
- снижение материалоемкости и энерговооруженности порционирующего оборудования;
- повышение долговечности и надежности машин, их подсистем и комплектующих изделий;
- реализация прогрессивных технико-экономических решений, повышающих эффективность технологических линий и предприятий.

Вышеперечисленные тенденции привели в настоящее время к появлению и развитию нового класса техники пищевых производств – мехатронных рыбоперерабатывающих машин. Данное обстоятельство было продиктовано требованиями рынка, а именно тем, что если машина не в состоянии удовлетворить потребности компании-покупателя, то никакие дополнительные затраты и усилия, связанные с использованием маркетинга, не могут улучшить позицию данного изделия на рынке. Именно мехатроника способствовала созданию порционирующих машин более высокого качества в рамках действующей пятизвенной цепочки: наука – техника – производство – сбыт – сервис. Мехатронная машина полностью удовлетворяет пяти базовым критериям: 1. Упрощению конструкции и кинематических цепочек. 2. Удобству и экономичности эксплуатации, включая эргономику, экологию, патентоспособность, ремонтопригодность. 3. Возможности гибкой перенастройки, агрегатирования и модернизации. 4. Живучести, включая надежность. 5. Экономичности проектирования и изготовления, включая технологичность конструкции, унификацию узлов и стандартизацию.

Мехатронное порционирующее оборудование наилучшим образом соответствует внедрению и развитию гибких пищевых систем. Такие гибкие системы обеспечивают следующие преимущества: повышение производительности линий; стабилизацию качества продукции и экономию сырья, энергии и основных фондов; улучшение условий труда персонала; малолюдную технологию; минимальные объемы складских помещений. В настоящее время находятся на этапе становления гибкие пищевые предприятия, способные наладить производство продукции широкой номенклатуры малыми партиями. Следует отметить, что основой таких интеграционных производственных систем также является мехатронное оборудование.

Перечислим основные преимущества агрегатной модульной порционирующей техники:

1. Модульное агрегатирование технологических машин в значительной степени обеспечивает возможность создания оборудования по оптимальному технологическому процессу. Это обусловлено тем, что в данном случае сначала разрабатывается наилучший технологический процесс, а затем по этому процессу компонуют оборудование из имеющихся узлов.

2. Сроки проектирования и сроки изготовления оборудования из унифицированных узлов существенно сокращаются в 6-10 раз по сравнению с созданием специального оборудования. Это имеет особенное значение для малых машиностроительных предприятий.

3. Появляется возможность совершенствовать конструкцию оборудования для порционирования по узлам, вести поэтапную автоматизацию процесса, постепенно встраивая новые, более совершенные исполнительные механизмы и средства автоматизации.

4. Обеспечиваются благоприятные условия для узлового ремонта технологического оборудования. Вышедший из строя узел можно заменить резервным, а после пуска машины ремонтировать неисправный узел.

5. Модульное агрегатирование позволяет выполнять различные операции резания рыбного сырья, измерения физико-механических свойств, настройки рабочих органов, укладки готовой продукции и другие операции в одном технологическом оборудовании, повышая эффективность использования техники.

6. Возможность создания различных компоновок порционирующих машин и рыбоперерабатывающих линий из модульных узлов повышает серийность изготовления этих узлов, что существенно снижает стоимость оборудования.

При проектировании порционирующих машин на основе мехатроники на первый план выходят современные возможности широко регулируемых приводов, которые значительно упрощают кинематическую часть конструкции и исключают механизмы изменения скоростей подачи сырья и перемещения рабочих органов. Имеет место тенденция, заключающаяся в применении приводов для каждого движения технологической машины с целью исключения сложных промежуточных кинематических цепей и зубчатых передач, а также сокращения количества органов управления. Это обусловливает применение в мехатронных порционирующих машинах высокомоментных сервоприводов, состоящих из электродвигателя и микропроцессорного блока автоматического управления. Электродвигатель оснащен встроенным тахогенератором и тормозом, а также импульсным датчиком обратной связи по углу поворота (резольвером). При ротационном порционировании рыбы рабочий орган в виде эксцентрикового ножа закрепляется на вале такого сервопривода посредством предохранительной муфты.

Заключение

Для повышения эффективности порционирующего оборудования требуется устранение вышеизложенных принципиальных проектных недостатков. Результаты анализа современного состояния рыбоперерабатывающей отрасли показывают, что производство порционированных рыбных продуктов является наиболее рациональной и экономически выгодной технологической схемой - вследствие практически полного использования ценного сырья в пищевых целях. Анализ моделей порционирующих машин, выпускаемых ведущими проектно-конструкторскими и производственными компаниями, демонстрирует, что основным физико-механическим процессом при порционировании рыбы является резание, которое по-прежнему остается недостаточно исследованным явлением.

Экспериментальным путем многие конструкторские школы пришли к пониманию того факта, что нормальное резание пластинчатым ножом с горизонтальной кромкой является наименее эффективным с точки зрения ресурсосбережения. В связи с этим, разработчиками был проведен преимущественно эмпирический поиск и подбор более рациональной геометрии рабочих органов. Однако научно обоснованный подход к поиску эффективных форм лезвий для нарезания пищевых материалов на порции в настоящее время разработан недостаточно.

Новый концептуальный подход требуется также при проектировании технологических машин, осуществляющих ротационное резание рыбных продуктов. Данный процесс широко применяется в линиях по переработке сырья животного происхождения в связи с его высокой производительностью и хорошей управляемостью (процесс резания

происходит с автоматическим регулированием положения, скорости и момента рабочего органа). Практика показывает, что расположение режущей кромки относительно продукта оказывает существенное влияние на качество поверхности среза. Вместе с тем, в известных источниках недостаточно освещен вопрос научного обоснования геометрии лезвий для ротационного резания.

Многие из вышеперечисленных теоретических проблем возникают из запросов пищевой техники сегодняшнего дня, которую требуется снабжать системами управления, цифровыми исполнительными приводами и средствами видеоэлектроники. Настоятельно требуется разработка конструкций порционирующих машин на основе мехатроники, которая решает проблемы импортозамещения, обеспечения доступности оборудования, увеличения долговечности и надежности, а также улучшения качества продукции. Необходимо расширять применение модульного принципа при проектировании порционирующего оборудования, повышать его технологическую гибкость и энергоэффективность.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

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.

2. Ageev O.V., Dowgiałło A., Sterczyńska M., Piepiórka-Stepuk J., Giurgiulescu L., Janowicz M., Jakubowski M. Experimental characterization and mathematical modeling of fracture and friction resistance forces during tuna cutting. *Journal of Food Engineering*, 2021, Vol. 307, 110648.

3. 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.

4. Ageev O.V., Naumov V.A., Fatykhov J.A. Mathematical modeling of the resistance force of the profile of a flat-back knife. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 6, pp. 580-587.

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

6. Фалько А.Л., Яшонков А.А., Самсонова С.Н. Машина фракционирования корнеплодов // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2020. № 1. С. 140-151.

7. Патент № 2576068 C1 Российская Федерация, МПК A22C 25/18. Способ механизированного удаления межмышечных костей из филейных частей транспортируемых рыб и устройство для осуществления способа: № 2014127149/13: заявл. 19.03.2012: опубл. 27.02.2016 / В. Ковальски.

8. Патент № 2173051 C2 Российская Федерация, МПК A22C 25/18. Машина для порционной резки рыбы: № 99113393/13: заявл. 25.06.1999: опубл. 10.09.2001 / В. А. Голованец, Ю. В. Маслак, А. А. Голованец.

9. Патент № 2638536 C1 Российская Федерация, МПК A22C 25/18. Устройство для резки рыбного филе на ломтики: № 2017100864: заявл. 10.01.2017: опубл. 14.12.2017 / О. В. Агеев.

10. Патент № 2671900 C1 Российская Федерация, МПК B02C 18/00, A22C 25/18. устройство для резки пищевых продуктов: № 2017140394: заявл. 20.11.2017: опубл. 07.11.2018 / О. В. Агеев, А. М. Довгялло, Ю. А. Фатыхов [и др.].

11. Патент № 2807633 C1 Российская Федерация, МПК A22C 25/18. Устройство для резки рыбного филе на ломтики: № 2023107583: заявл. 28.03.2023: опубл. 17.11.2023 / О. В. Агеев, Н. В. Самойлова, М. Э. Кокрицкий [и др.].

12. Vandenberghe E., Charalambides M.N., Mohammed I.K., Ketelaere B.D., Baerdemaeker J.D., Claes J. Determination of a critical stress and distance criterion for crack propagation in cutting models of cheese. *Journal of Food Engineering*, 2017, no. 208, pp. 1-10.

13. Sridhar B.S., Sommer K. Finite Element Simulation of Fracture Mechanism of Fibrous Food. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:2, pp. 444-460..

14. Takabi B., Tai B.L. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials. *Medical Engineering & Physics*, 2017, no. 45, pp. 1-14.

15. Pagani M, Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.

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

17. Агеев, О.В. Математическое моделирование сил полезного сопротивления при резании охлажденных пищевых продуктов / О.В. Агеев, В.А. Наумов, Ю.А. Фатыхов // Вестник Международной академии холода. 2020. № 3. С. 70-82.

REFERENCES

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.

2. Ageev O.V., Dowgiałło A., Sterczyńska M., Piepiórka-Stepuk J., Giurgiulescu L., Janowicz M., Jakubowski M. Experimental characterization and mathematical modeling of fracture and friction resistance forces during tuna cutting. *Journal of Food Engineering*, 2021, Vol. 307, 110648.

3. Samojlova N.V., Ageev O.V. *Matematicheskoe modelirovanie protsessa rezaniya ryby nozhom s figurnoi krivolineinoi kromkoi* [Mathematical simulation of fish cutting process by knife with a figured edge]. Journal of Science and Education of North-West Russia, 2023, Vol. 9, No. 3, pp. 7–26.

4. Ageev O.V., Naumov V.A., Fatykhov J.A. Mathematical modeling of the resistance force of the profile of a flat-back knife. *Journal of Friction and Wear*, 2019, vol. 40, no. 6, pp. 580-587.

5. Ageev O.V., Naumov V.A., Fatykhov Yu.A., Samojlova N.V. *Matematicheskoe modelirovanie sily soprotivleniya formy dvukhkromochnogo nozha bez bokovykh graney pri rezanii ryby* [Mathematical simulation of profile resistance force of double-edged knife without side edges during fish cutting]. Izvestiya Kaliningradskogo gosudarstvennogo tehnicheskogo universiteta, 2019, No. 53, pp. 75-88.

6. Falko A.L., Yashonkov A.A., Samsonova S.N. Machine fractionation of root bears // Bulletin of the Kerch State Marine Technological University, 2020, no 1, pp. 140-151.

7. Patent No. 2576068 C1 Russian Federation, IPC A22C 25/18. Method for mechanized removal of intermuscular bones from fillet parts of transported fish and device for implementing the method: application No. 2014127149/13: filed 19.03.2012: published 27.02.2016 / W. Kowalski.

8. Patent No. 2173051 C2 Russian Federation, IPC A22C 25/18. Fish Portion Cutting Machine: application No. 99113393/13: filed 25.06.1999: published 10.09.2001 / V. A. Golovanets, Yu. V. Maslak, A. A. Golovanets.

9. Patent No. 2638536 C1 Russian Federation, IPC A22C 25/18. Fish fillet slicer: application No. 2017100864: filed 10.01.2017: published 14.12.2017 / O. V. Ageev.

10. Patent No. 2671900 Russian Federation, IPC B02C 18/00, A22C 25/18. Food cutting device: application No. 2017140394: filed 20.11.2017: published 07.11.2018 / O. V. Ageev, A. M. Dowgiallo, Yu. A. Fatykhov et al.

11. Patent No. 2807633 C1 Russian Federation, IPC A22C 25/18. Fish fillet slicer: application No. 2023107583: filed 28.03.2023: published 17.11.2023 / O. V. Ageev, N. V. Samojlova, M. E. Kokritsky et al.

12. Vandenberghe E., Charalambides M.N., Mohammed I.K., Ketelaere B.D., Baerdemaeker J.D., Claes J. Determination of a critical stress and distance criterion for crack propagation in cutting models of cheese. *Journal of Food Engineering*, 2017, no. 208, pp. 1-10.

13. Sridhar B.S., Sommer K. Finite Element Simulation of Fracture Mechanism of Fibrous Food. *International Journal of Food Properties*, 2013, vol. 16:2, pp. 444-460.

14. Takabi B., Tai B.L. A review of cutting mechanics and modeling techniques for biological materials. *Medical Engineering & Physics*, 2017, no. 45, pp. 1-14.

15. Pagani M, Perego U. Explicit dynamics simulation of blade cutting of thin elastoplastic shells using «directional» cohesive elements in solid-shell finite element models. *Computer methods in applied Mechanics and Engineering*, 2015, no. 285, pp. 515-541.

16. Ageev, O.V., Samojlova, N.V., Naumov, V.A., Fatykhov, Yu.A., Zubkov, O.A. Mathematical modeling of resistance forces during fish cutting with a disc knife. *Scientific Journal of Saint Petersburg National Research University of Information Technologies, Mechanics, and Optics. Series: Processes and Devices of Food Production*. 2021, No. 4(50), pp. 46-58.

17. Ageev O.V., Naumov V.A., Fatykhov Yu.A. *Matematicheskoe modelirovanie sil poleznogo soprotivleniya pri rezanii okhlazhdennykh pishchevykh produktov* [Mathematical simulation of effective resistance forces during cutting of chilled food products]. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2020. No. 3, pp. 70-82.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ	INFORMATION ABOUT THE AUTHORS
Самойлова Наталья Владимировна – кандидат технических наук, Калининградское отделение Международной академии холода (236022, Россия, г. Калининград, ул. Профессора Баранова, 43, e-mail: procyon@mail.ru)	*Samojlova Natalia Vladimirovna* – Ph.D. (Eng.), Kaliningrad Regional Branch of International Academy of Refrigeration (236022, Russia, Kaliningrad, Professor Baranov str., 43, e-mail: procyon@mail.ru)
Яшонков Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, Керченский государственный морской технологический университет (298309, Россия, Республика Крым, г. Керчь, ул. Орджоникидзе, 82, e-mail: jashonkov@rambler.ru)	*Yashonkov Alexander Anatolyevich* – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Kerch State Marine Technological University (298309, Russia, Republic of Crimea, Kerch, Ordzhonikidze str., 82, e-mail: jashonkov@rambler.ru)
Крайнов Андрей Михайлович – студент бакалавриата направления «Технологические машины и оборудование», Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т, 1, e-mail: andrey.kraynov.03@mail.ru)	*Krainov Andrey Mikhailovich* – bachelor's student in specialty «Technological machines and equipment», Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: andrey.kraynov.03@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 10.06.2025; одобрена после рецензирования 19.06.2025, принята к публикации 21.06.2025.
The article was submitted 10.06.2025; approved after reviewing 19.06.2025; accepted for publication 21.06.2025.