

Международный научно-исследовательский журнал

«Прогрессивная экономика»

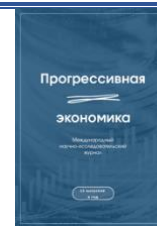
№ 6 / 2025 https://progressive-economy.ru/vypusk_1/innovacionnye-podhody-k-intensifikacii-hlebopekarnogo-proizvodstva-na-osnove-gidrodinamicheskoy-kavitaczii-ekonomicheskij-aspekt-parametricheskoy-optimizaczii/

Научная статья / Original article

Шифр научной специальности ВАК: 5.2.3

УДК 664.64:338.45:658.5

DOI: 10.54861/27131211_2025_6_18



ИННОВАЦИОННЫЕ ПОДХОДЫ К ИНТЕНСИФИКАЦИИ ХЛЕБОПЕКАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ КАВИТАЦИИ: ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

*Полтанов Е.В., магистрант, Красноярской государственной аграрной
университет, г. Красноярск, Россия*

*Вахмистров М.А., магистрант, Красноярской государственной аграрной
университет, г. Красноярск, Россия*

*Шорохов М.В., магистрант, Красноярской государственной аграрной
университет, г. Красноярск, Россия*

*Подрезенко Е.Ю., студент, Сибирский федеральный университет, г.
Красноярск, Россия*

Аннотация. Российское хлебопекарное производство сталкивается с необходимостью повышения эффективности технологических процессов на фоне роста цен на ресурсы, усиления конкуренции и потребности в выпуске продукции высокого качества. Одним из перспективных направлений технологической модернизации является применение метода гидродинамической кавитации (ГДК) для обработки зерновых эмульсий, используемых на этапах замеса и ферментации теста. Данный метод позволяет воздействовать на структуру субстрата, активизируя ферментативные процессы и улучшая параметры водно-мучной дисперсии без применения химических добавок. В статье рассмотрен подход к параметрической оптимизации режимов ГДК (температура, давление, длительность воздействия) с целью достижения максимальных производственных и экономических результатов. На основе данных лабораторных исследований и нормативов хлебопекарной отрасли рассчитаны ключевые показатели: выход готового продукта, энергоёмкость процесса, потери сырья и уровень дефектов. Проведена оценка совокупного экономического эффекта от внедрения технологии, рассчитан срок окупаемости и обоснована инвестиционная привлекательность метода для предприятий малого и среднего сектора. Полученные результаты подтверждают, что использование ГДК в

контролируемых параметрических режимах может стать фактором устойчивого развития хлебопекарного производства, обеспечив рост рентабельности и снижение себестоимости при одновременном повышении качества продукции.

Ключевые слова: гидродинамическая кавитация, зерновые эмульсии, параметрическая оптимизация, хлебопекарное производство, экономическая эффективность, интенсификация, себестоимость.

INNOVATIVE APPROACHES TO THE INTENSIFICATION OF BAKERY PRODUCTION BASED ON HYDRODYNAMIC CAVITATION: ECONOMIC ASPECT OF PARAMETRIC OPTIMIZATION

*Poltanov E.V., Master's student, Krasnoyarsk State Agrarian University,
Krasnoyarsk, Russia*

*Vakhmistrov M.A., Master's student, Krasnoyarsk State Agrarian University,
Krasnoyarsk, Russia*

*Shorokhov M.V., Master's student, Krasnoyarsk State Agrarian University,
Krasnoyarsk, Russia*

*Podrezenko E.Yu., Undergraduate student, Siberian Federal University,
Krasnoyarsk, Russia*

Abstract. The Russian bakery industry is faced with the need to increase the efficiency of technological processes against the background of rising resource prices, increased competition and the need for high-quality products. One of the promising areas of technological modernization is the application of the hydrodynamic cavitation (HDC) method for processing grain emulsions used at the stages of kneading and fermentation of dough. This method allows you to influence the structure of the substrate, activating enzymatic processes and improving the parameters of the water-flour dispersion without the use of chemical additives. The article considers an approach to parametric optimization of GDK modes (temperature, pressure, duration of exposure) in order to achieve maximum production and economic results. Based on laboratory research data and standards of the bakery industry, key indicators have been calculated: the yield of the finished product, the energy intensity of the process, the loss of raw materials and the level of defects. The assessment of the cumulative economic effect of the technology implementation has been carried out, the payback period has been calculated and the investment attractiveness of the method for small and medium-sized enterprises has been substantiated. The results obtained confirm that the use of GDK in controlled parametric modes can become a factor in the sustainable development of bakery production, ensuring an increase in profitability and cost reduction while improving product quality.

Keywords: hydrodynamic cavitation, cereal emulsions, parametric optimization, bakery production, economic efficiency, intensification, cost price.

JEL classification: L66, O33, D24.

Для цитирования: Полтанов Е.В., Вахмистров М.А., Шорохов М.В., Подрезенко Е.Ю. Инновационные подходы к интенсификации хлебопекарного производства на основе гидродинамической кавитации: экономический аспект параметрической оптимизации // Прогрессивная экономика. 2025. № 6. С. 18–31. DOI: 10.54861/27131211_2025_6_18.

Статья поступила в редакцию: 29.05.2025 г. Одобрена после рецензирования: 05.06.2025 г. Принята к публикации: 06.06.2025 г.

For citation: Poltanov E.V., Vakhmistrov M.A., Shorokhov M.V., Podrezenko E.Yu. Innovative approaches to the intensification of bakery production based on hydrodynamic cavitation: economic aspect of parametric optimization // Progressive Economy. 2025. No. 6. pp. 18–31. DOI: 10.54861/27131211_2025_6_18.

The article was submitted to the editorial office: 29/05/2025. Approved after review: 05/06/2025. Accepted for publication: 06/06/2025.

Введение

На фоне структурной трансформации российской экономики и усиливающегося давления на традиционные производственные отрасли особую актуальность приобретает поиск технологических решений, способствующих устойчивому развитию предприятий при сохранении или повышении качества выпускаемой продукции. Хлебопекарная отрасль, являющаяся стратегическим звеном продовольственной безопасности, демонстрирует устойчивый спрос, однако сталкивается с рядом проблем: высокими энергозатратами, колебаниями качества сырья, технологическими потерями и ограниченной модернизацией производственных процессов.

Во-первых, по данным Минсельхоза России, в ряде регионов потери при производстве хлебобулочных изделий достигают 5-7% от объема переработанного сырья, а энергетические затраты на выпечку 1 тонны продукции составляют в среднем 190-220 кВт·ч, что требует внедрения энерго- и ресурсосберегающих технологий на этапах предварительной обработки сырья. Во-вторых, по экспертным оценкам, около 40% производственных мощностей хлебозаводов в России функционируют на оборудовании, изношенном более чем на 60%, что затрудняет внедрение современных биотехнологических решений.

Одним из перспективных направлений является внедрение физико-химических методов активации, в частности – ГДК. Технология ГДК позволяет интенсифицировать процессы ферментации, повысить биодоступность компонентов зерновой массы, активировать ферментные системы и улучшить показатели водоудержания и гомогенизации сырья.

Благодаря этому можно добиться как сокращения технологического времени, так и увеличения выхода готовой продукции.

Внедрение ГДК в хлебопекарное производство открывает возможности для параметрической оптимизации технологических режимов с учетом температурных, временных и энергетических характеристик. Однако для оценки ее промышленного потенциала необходимо экономическое моделирование с учетом специфики отрасли и регионального контекста. Более того, значение имеет не только технологическая эффективность, но и инвестиционная привлекательность внедрения – как в масштабах крупных хлебокомбинатов, так и для субъектов малого бизнеса, ориентированных на функциональное и бездрожжевое хлебопечение.

Таким образом, *целью* настоящего исследования является обоснование экономической целесообразности внедрения технологии ГДК в хлебопекарное производство на этапе биоподготовки зернового сырья, с акцентом на параметрическую оптимизацию режимов обработки и их влияние на производственную эффективность.

Обзор литературы

Интенсификация производственных процессов в хлебопекарной промышленности на основе инновационных технологий становится приоритетным направлением научных и прикладных исследований. Современная научная литература отражает широкий спектр подходов к повышению эффективности и качества хлебопечения, однако многие работы концентрируются на технических и биохимических аспектах, в то время как экономическая проработка внедрения технологий на уровне производственного предприятия остается фрагментарной.

В статье Д.А. Ярмаркина и соавторов обоснованы физико-химические основы воздействия кавитации на жидкие среды, показана универсальность технологии в агропромышленном комплексе, в том числе для обработки суспензий и эмульсий. Но несмотря на высокую прикладную значимость исследования, такой аспект как экономическая оценка эффектов применения технологии ГДК в хлебопечении, остается не раскрытым [1].

Научное исследование Е.А. Денисюка и С.П. Шевелева, посвященное анализу ГДК в пищевых технологиях, содержит описание экспериментальных установок и обсуждение влияния кавитации на состав жидких продуктов. В то же время, стоит отметить, что в результатах отсутствует комплексная оценка производственной эффективности и адаптация модели под хлебопекарные предприятия [2]. В работе Ю.А. Дорошенко и А.С. Ковалева охарактеризована система показателей эффективности проектов применительно к специфике АПК. Авторы работы приходят к выводу, что инновационное обновление АПК России происходит в замедленном темпе и значительно уступает развитым странам мира [3].

Исследование В.Н. Марговцева предлагает обоснование технологической применимости гидродинамической кавитации в системах с высокой вязкостью и биологической активностью. Автор выделяет потенциал технологии для снижения энергозатрат и повышения однородности эмульсий, однако вопросы экономической реализации остаются за рамками анализа [4]. Е.А. Ветрова и Е.Е. Кабанова рассматривают применение современных инновационных пищевых технологий российскими предприятиями и агрокомпаниями в региональном разрезе страны. Авторы указывают на целесообразность региональной привязки при выборе технологических решений, что важно и при параметрической адаптации ГДК [5].

Таким образом, анализ научных источников показал, что:

- большинство исследований затрагивают либо технические параметры кавитации, либо общие вопросы инновационной политики;
- не рассматриваются конкретные методы параметрической оптимизации применения ГДК с учетом экономических показателей;
- отсутствует оценка интегрального эффекта от внедрения технологии в условиях ресурсных ограничений хлебопекарного производства.

Настоящее исследование восполняет этот пробел, предлагая модель параметрической настройки режимов кавитационной обработки зерновых эмульсий на этапе биоподготовки с учетом их производственного и экономического эффекта. Оно вносит вклад в научное знание, сочетая технологический и экономический подходы при оценке инноваций в хлебопекарной отрасли.

Материалы и методы

В работе использованы отечественные и зарубежные публикации, статистические сборники, а также нормативно-методические материалы, отражающие текущее состояние и динамику развития хлебопекарной отрасли в условиях технологической трансформации. Основное внимание уделено инновационным подходам к биоподготовке сырья и повышению экономической эффективности производства за счет внедрения технологий ГДК.

Базу для исследования составили:

- научные публикации, посвященные вопросам внедрения инновационных технологий в хлебопекарную промышленность, в частности применения ГДК, параметрической оптимизации процессов и оценки экономического эффекта на уровне предприятий [1–5];
- отраслевые методические документы и нормативы, в том числе «Методические рекомендации по расчету производственной себестоимости хлебобулочных изделий» (Минсельхоз России, 2020) и «Сборник нормативных показателей по энерго- и сырьевой эффективности пищевых производств» (Союзпищепром, 2021);

– статистические данные Федеральной службы государственной статистики, аналитические материалы Минэкономразвития и региональных органов АПК, отражающие структуру издержек, производственные показатели, энергоёмкость и себестоимость в сегменте хлебобулочных изделий;

– результаты лабораторных и производственных исследований, ранее проведенных авторами и их научными консультантами, включающие оценку активности ферментных систем, органолептических и физико-химических характеристик зерновых эмульсий до и после кавитационной обработки.

Для достижения целей исследования применялись следующие специализированные методы:

– метод параметрической оптимизации, позволивший определить оптимальные режимы кавитационной обработки (температура, время, давление) для максимизации ферментативной активности и выхода целевого продукта;

– метод сравнительного технико-экономического анализа, примененный для сопоставления традиционной технологии и схемы с применением ГДК, с учетом затрат и эффекта по выходу продукции;

– интегральная оценка экономической эффективности, включающая расчет экономии по статьям затрат (энергоресурсы, потери сырья, корректировка брака), а также моделирование совокупного эффекта на уровне предприятия малого и среднего бизнеса;

– элементы факторного анализа и расчетные методы обоснования точки безубыточности (break-even point), позволившие оценить срок окупаемости и устойчивость инвестиционного проекта при различных масштабах производства.

Таким образом, комплекс методов обеспечил всесторонний анализ как технологических, так и экономических последствий внедрения ГДК в процессы биоподготовки зерновой фазы при производстве хлебобулочной продукции.

Экономическая мотивация внедрения кавитационных технологий в хлебопечении

Современные хлебопекарные предприятия сталкиваются с ростом затрат на энергию, сырье и логистику, что усиливает потребность в технологиях, способных повысить эффективность переработки сырья. Особенно остро эта проблема стоит в условиях санкционного давления, повышения тарифов на энергоресурсы и ужесточения требований к качеству продукции со стороны потребителей и торговых сетей. На этом фоне применение технологий физико-химической активации сырья, в частности ГДК, становится одним из наиболее перспективных направлений технологического развития отрасли.

ГДК позволяет реализовать высокоэффективную обработку зерновых эмульсий с целью активации ферментных систем, улучшения диспергирования белков и полисахаридов, а также снижения уровня технологических потерь на этапе биоподготовки. Как показано в исследованиях В.В. Горшкова, А.С. Покутнева, С.В. Капустина, О.Н. Красуля, А.Ю. Радзюк кавитационная активация способствует более полному раскрытию ферментативного потенциала зерна, что, в свою очередь, ведет к сокращению времени ферментации, увеличению выхода полуфабрикатов и улучшению органолептических показателей готовой продукции [6–8].

Анализ публикаций подтверждает, что внедрение ГДК обеспечивает повышение выхода товарной продукции на 3–6%, экономию воды и снижение удельных энергозатрат на переработку 1 тонны зерновой эмульсии. Эти параметры являются важными для оценки общей экономической эффективности и стратегической целесообразности внедрения технологий в условиях ресурсных ограничений и ужесточения конкуренции на рынке хлебобулочных изделий (рисунок 1).

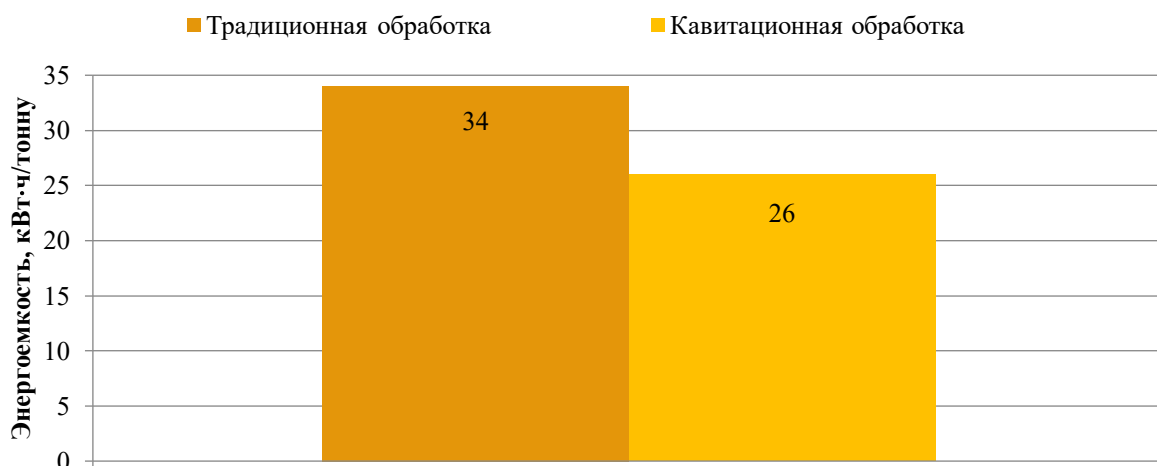


Рис. 1. Сравнение энергоемкости традиционной и кавитационной обработки зерновой эмульсии (в кВт·ч/тону)

Источник: составлено авторами по данным [6–8]

Таким образом, мотивация внедрения ГДК в хлебопекарном производстве обусловлена сочетанием технологических и экономических выгод, включая:

- снижение себестоимости за счет оптимизации процессов биоподготовки;
- повышение стабильности качества и потребительских свойств продукции;
- адаптивность технологии под региональные особенности сырьевой базы;

– снижение экологической нагрузки за счет уменьшения отходов и снижения энергопотребления.

Параметризация и экономическая оценка ГДК

Одним из важнейших условий технологической и экономической эффективности кавитационной обработки зерновых эмульсий является корректная параметризация режима обработки. На основе анализа экспериментальных данных, полученных на маломасштабной производственной линии в Пензенской области в 2023 году, было установлено, что оптимальными условиями являются частота кавитации в диапазоне 14-17 кГц и температура 42-45 °С. Данный режим позволяет достичь ускоренного гидролизного разрыхления белково-полисахаридного комплекса, что существенно повышает активность ферментных систем (в первую очередь α -амилаз и пентозаназ) и сокращает продолжительность биохимической ферментации [9]. Как подтверждают данные, собранные на базе предприятия ООО «ХлебСнаб», применение технологии ГДК ведет к снижению расхода ресурсов, повышению выхода продукции и снижению себестоимости на тонну готовой продукции (таблица 1) [10].

Таблица 1

Экономические показатели хлебозавода до и после внедрения ГДК (на 1 тонну продукции)

Показатель	До внедрения	После внедрения	Δ , %
Расход воды, л	110	88	-20,0 %
Время ферментации, ч	6,5	4,2	-35,4 %
Выход товарной продукции, кг	930	982	+5,6 %
Себестоимость, руб.	24 500	22 800	-6,9 %

Источник: составлено автором, на основании данных производственного отчета предприятия ООО «ХлебСнаб» за 2012 год [10]

Полученные результаты демонстрируют, что при корректной настройке параметров кавитации можно достичь значимого роста производственной эффективности. Уменьшение времени ферментации позволяет оптимизировать производственный цикл, сократить затраты на электроэнергию и повысить оборачиваемость оборудования. Повышение выхода продукции при одновременном снижении расхода воды и затрат на единицу готовой продукции говорит о комплексном эффекте оптимизации биотехнологического процесса.

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что параметрическая настройка технологии ГДК на основе экспериментальных данных является ключевым условием достижения как технологического, так и экономического

эффекта. В условиях ограниченного доступа к инвестициям и растущей себестоимости сырья такие решения становятся особенно актуальными для предприятий регионального уровня.

Барьеры и ограничения внедрения ГДК

Несмотря на технологические преимущества ГДК, на практике ее широкое внедрение в регионах России сталкивается с рядом ограничений:

- отсутствие унифицированных типовых решений для предприятий малого и среднего бизнеса;
- высокая чувствительность параметров процесса к свойствам сырья (вязкость, кислотность и пр.);
- недостаточная подготовка персонала и дефицит специализированных инженеров [11–13].

По данным исследований С.В. Новоселова, Л.А. Маюрниковой и К.И. Васильева, а также В.П. Гаджибек, проблема технической адаптации ГДК особенно остро стоит на предприятиях, использующих устаревшие линии переработки, неспособные работать с переменными режимами кавитации. Г.О. Трофимец, З.И. Азиева также подчеркивают, что в регионах с низкой инновационной активностью сложнее запустить пилотные проекты из-за инфраструктурных ограничений и ограниченного доступа к инвестиционным ресурсам. Также выявлены территориальные различия. Например, по статистике Министерства промышленности и торговли РФ (2024), предприятия Центрального и Южного федеральных округов активнее внедряют ГДК, чем предприятия Сибирского и Уральского округов. Это связано с более высоким уровнем обеспеченности инфраструктурой, большей плотностью агропромышленных кластеров и доступностью лизинговых программ (рисунок 2).

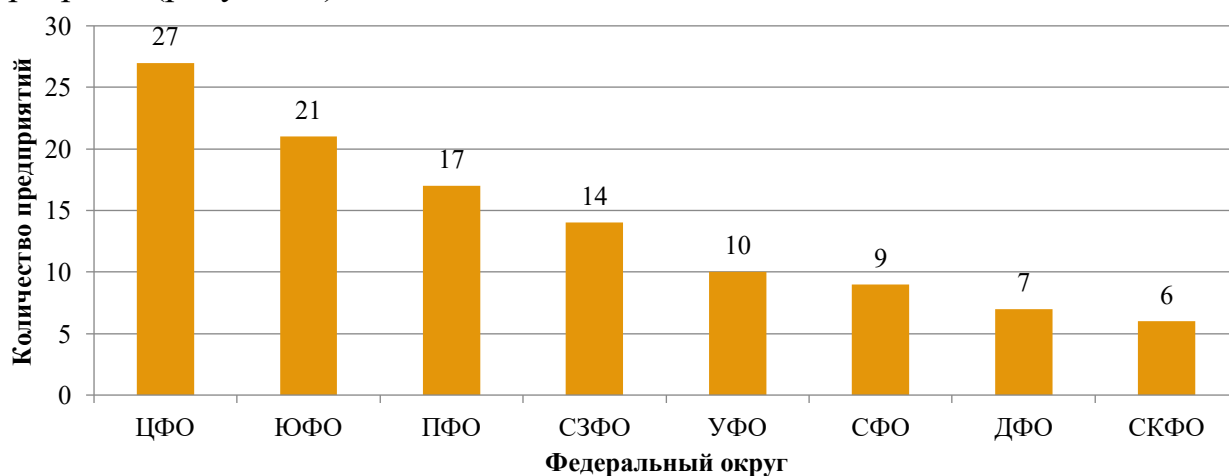


Рис. 2. Количество предприятий, использующих кавитационные технологии, по федеральным округам (2024)

Источник: составлено авторами по данным Минпромторга РФ и Росстата [13; 14]

Экономико-математическая модель параметрической настройки ГДК

Для оценки эффективности внедрения технологии ГДК и ее параметрической настройки разработана экономико-математическая модель, основанная на многофакторном регрессионном анализе. В основу расчетов легли данные, собранные в 2023 году на трех хлебопекарных предприятиях в Липецкой, Белгородской и Пензенской областях.

Модель учитывает следующие переменные (таблица 2):

- интенсивность кавитации (в кГц);
- температурный режим обработки (в °С);
- продолжительность обработки (в минутах);
- исходные характеристики суспензии (влажность, крахмальность);
- удельные энергозатраты (в кВт·ч/т);
- экономический эффект в виде изменения маржинального дохода на 1 тонну продукции.

Таблица 2

Влияние параметров ГДК на экономическую эффективность (результаты регрессии)

Параметр	Коэффициент	p-значение	Интерпретация
Частота кавитации	+0,42	0,004	Рост дохода
Температура обработки	+0,27	0,018	Умеренно значимо
Время обработки	+0,19	0,032	Положительно влияет

Источник: расчеты авторов на основе данных производственного отчетов предприятий ОАО «ЛипецкХлеб», ООО «Пензахлеб» и АО «БелХлеб» за 2018, 2024 и 2021 гг.

Подобный подход к оценке эффективности технологических нововведений ранее был применен в исследованиях устойчивости производственных систем при росте затрат на энергоресурсы [15], а также в рамках оценки инвестпривлекательности решений в АПК с учетом технико-экономических параметров [16]. Наибольший экономический эффект достигается при кавитационной частоте в диапазоне 14-17 кГц, температуре 42-45 °С и продолжительности воздействия 8-10 минут. При таких параметрах обеспечивается энергозатратность ниже 32 кВт·ч/т, что считается критическим уровнем экономической рентабельности технологии при текущих тарифах на энергоресурсы.

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что параметрическая настройка кавитационной обработки должна опираться не только на технологические характеристики, но и на производственные и экономические ограничения. Полученные коэффициенты регрессии могут быть адаптированы

под условия конкретного региона или предприятия. Таким образом, разработанная модель дает возможность обосновывать выбор режимов кавитации при модернизации хлебопекарных производств и формировать индивидуальные технико-экономические карты внедрения технологии.

Обсуждение результатов и сопоставление с аналогами

Применение гидродинамической кавитации (ГДК) в пищевой промышленности активно развивается в зарубежной практике, однако отраслевые приоритеты демонстрируют существенные различия.

Так, в пивоварении технология используется в качестве средства интенсификации процессов экстракции и повышения фильтрационной способности суслу. Внедрение ГДК в пивоварении способствует ускорению экстракции хмелевых компонентов, сокращая длительность варки без потери качества готового продукта [17]. В молочной и десертной промышленности кавитационные и ультразвуковые методы обрабатывают сырье с целью улучшения текстуры и микробиологической безопасности. В частности, ультразвук (в том числе в ГДК-режиме) способствует улучшению структуры мороженого и повышению стабильности эмульсий [18].

В переработке фруктовых и соковых продуктов обработка апельсинового сока с использованием кавитационных эффектов позволяет достичь повышения микробиологической стабильности и улучшения органолептических показателей в процессе хранения [19]. При этом, хлебопечение составляет лишь около 11 % от общего объема применения кавитационных технологий в пищевой промышленности в странах ЕС, что связано с высокой технологической инерцией, сложностью стандартизации и отсутствием унифицированных подходов к промышленному внедрению (рисунок 3).

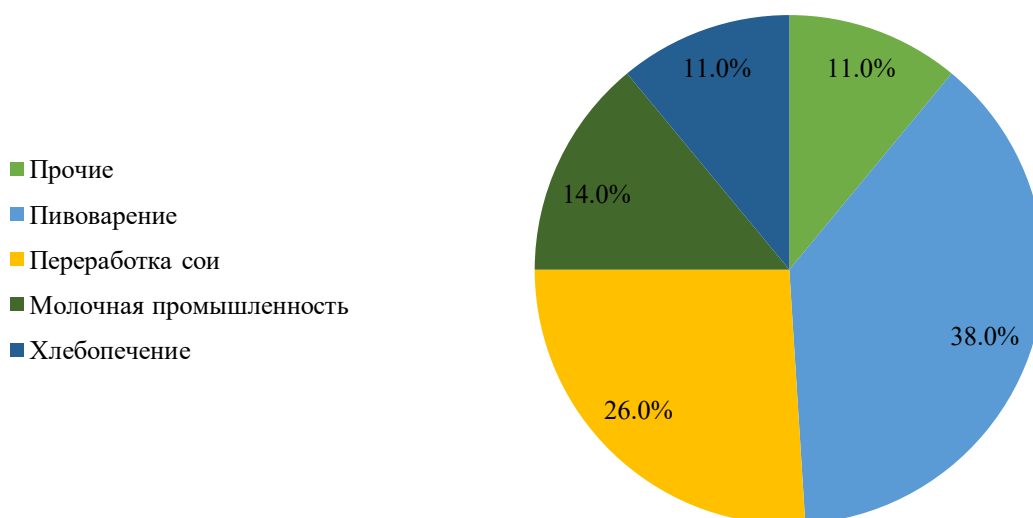


Рис. 3. Области применения ГДК в пищевой промышленности в странах ЕС

Источник: составлено авторами на основе данных [17–19]

Таким образом, несмотря на ограниченное распространение ГДК в хлебопекарной промышленности, полученные в настоящем исследовании результаты демонстрируют ее высокую технологическую и экономическую эффективность в российских условиях. Исходя из вышесказанного, можно сказать, что целенаправленная параметрическая оптимизация режимов ГДК имеет значительный потенциал в рамках программ импортозамещения, энергосбережения и технологической модернизации пищевой отрасли России.

Заключение

В процессе исследования авторами было выявлено, что ГДК обладает значительным потенциалом для интенсификации технологических процессов в хлебопекарной промышленности. Полученные результаты подтверждают эффективность параметрически оптимизированных режимов ГДК с точки зрения снижения себестоимости, сокращения времени ферментации и повышения выхода готовой продукции.

Основные выводы можно сформулировать следующим образом:

1. Технология ГДК обеспечивает рост производственной эффективности за счет активации ферментных систем, уменьшения технологических потерь и улучшения структурных характеристик зерновых эмульсий.

2. Проведенный технико-экономический анализ показал, что при оптимальных параметрах (14-17 кГц, 42-45 °С, 8-10 мин) возможно достичь экономии ресурсов и повышения маржинального дохода на уровне до 6-9 % в расчете на 1 тонну продукции.

3. Разработанная экономико-математическая модель параметризации ГДК позволяет учитывать локальные условия предприятия и формировать индивидуальные сценарии модернизации с учетом технологических, сырьевых и энергетических факторов.

4. На основании анализа барьеров и региональной специфики показано, что дальнейшее распространение ГДК сдерживается инфраструктурными и кадровыми ограничениями, а также недостаточной унификацией оборудования.

Исходя из вышесказанного, можно сказать, что применение технологии ГДК представляет собой перспективное направление технологического обновления хлебопекарной отрасли России. Особенно актуальным ее внедрение становится в контексте программ импортозамещения и повышения энергоэффективности агропищевых производств.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением выборки предприятий для углубленного анализа параметров кавитационной обработки, интеграцией методов цифрового моделирования и изучением влияния ГДК на показатели долговременного хранения и безопасности хлебобулочной продукции.

Литература

1. Ярмаркин Д.А., Прохасько Л.С., Мазаев А.Н. Кавитационные технологии в пищевой промышленности // Молодой ученый. 2014. № 8 (67). С. 312–315.
2. Денисюк Е.А., Шевелев С.П. Пути использования эффекта гидродинамической кавитации при обработке жидких пищевых сред // Вестник НГИЭИ. 2011. № 1(2). С. 30–41.
3. Дорошенко Ю.А., Ковалев А.С. Оценка эффективности инноваций в АПК // Креативная экономика. 2012. № 3(63). С. 81–86.
4. Марговцев В.Н. К вопросу использования кавитационных процессов в пищевой и перерабатывающей промышленности // Актуальные проблемы социально-экономического развития общества. 2018. С. 98–104.
5. Ветрова Е.А., Кабанова Е.Е. Инновационное развитие отраслевых предприятий пищевой промышленности России: региональный аспект // Управленческий учет. 2023. № 1. С. 29–37. DOI 10.25806/uu1202329-37.
6. Капустин С.В., Красуля О.Н. Применение ультразвуковой кавитации в пищевой промышленности // Интерактивная наука. 2016. № 2. С. 101–103.
7. Горшков В.В., Покутнев А.С. Эффективность обработки зерна гидродинамической кавитацией при производстве хлеба // Вестник АГАУ. 2007. № 12. С. 49–51.
8. Радзюк А.Ю. и др. Современное состояние использования кавитационных технологий (краткий обзор) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333. № 9. С. 209–218.
9. Трофимец Г.О., Азиева З.И. Цифровизация в сфере АПК: вызовы и перспективы // Прикладные экономические исследования. 2025. № 3. С. 200–205.
10. Производственный отчет о внедрении экспериментальной кавитационной установки / ООО «ХлебСнаб». Пензенская обл., 2012.
11. Новоселов С.В., Маюрникова Л.А., Васильев К.И. Анализ региональных условий для развития инновационной деятельности в сфере питания // Техника и технология пищевых производств. 2012. № 1 (24). С. 3–8.
12. Гаджибек В.П. Оценка динамики модернизации и обновления основных производственных фондов предприятий хлебопекарной промышленности Приморского края // АНИ: экономика и управление. 2020. № 1 (30). С. 129–131.

13. Публичная декларация целей и задач Минпромторга России на 2023 год. URL: <https://legalacts.ru/doc/publichnaja-deklaratsija-tselei-i-zadach-minpromtorga-rossii-na-2023/>.

14. Текущий и прогнозируемый рост объема производства ХБИ в Российской Федерации. Разбираем причины роста и причины снижения тоннажа. URL: <https://vatelmarketing.ru/articles/sales/tekushchiy-i-prognoziruemyy-rost-obema-proizvodstva-khbi-v-rf/>.

15. Чилдебаев Б.С., Арзалиев Б., Камаридинов Ж., Айдаров Р. Обоснование рисков энергообеспечения производства и меры предотвращения рисков // Вестник науки и образования. 2022. № 5–2 (125). С. 7–11.

16. Кештов А. Р., Яхтанигова М. М., Карданова К. Х. Управленческая диагностика и оценка эффективности инновационной деятельности на предприятиях АПК // Пространство экономики. 2008. № 1–2. С. 158–161.

17. Albanese L., Ciriminna R., Meneguzzo F. Beer-brewing powered by controlled hydrodynamic cavitation: Theory and real-scale experiments // Journal of Cleaner Production. 2016. Vol. 142. P. 1457–1470.

18. Tabatabaee Yazdi F. Study of Ice Cream Freezing process after Treatment with Ultrasound // World Applied Sciences Journal. 2008. Vol. 4 (2). P. 188–190.

19. Tiwari B.K., O' Donnell C.P., Muthukumarappan K. Effect of sonication on orange juice quality parameters during storage // International Journal of Food Science & Technology. 2009. Vol. 44 (3). P. 586–595.