

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА
ПРИ ПЕРЕРАБОТКЕ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ
НА КАЧЕСТВО ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

**Research of the influence of air flow hydrodynamics in the processing
of plant raw materials on the quality of bakery products**

А. Н. Белогуров, магистрант

С. Л. Тихонов, доктор технических наук, профессор
Уральский государственный аграрный университет
(Екатеринбург, ул. Карла Либкнехта, 42)

Аннотация

В статье рассмотрены аспекты переработки нетрадиционного растительного сырья (мука из топинамбура и семян амаранта) для обогащения хлебобулочных изделий. Основное внимание уделено изучению влияния режимов аэродинамической обработки (гидродинамики воздушного потока) в процессе кондиционирования смесей и расстойки тестовых заготовок на структурно-механические и органолептические характеристики готового продукта. Экспериментально установлено, что оптимизация скорости и турбулентности воздушного потока при температуре 40°C и относительной влажности 80% способствует улучшению пористости мякиша на 18-22% и увеличению удельного объема изделий на 15% по сравнению со стандартными условиями. Выявлена корреляция между параметрами потока, влажностью промежуточных продуктов и скоростью ферментативных процессов. Результаты работы свидетельствуют о перспективности применения управляемых аэродинамических воздействий для повышения качества функциональных хлебных продуктов.

Ключевые слова: растительное сырье, хлеб, гидродинамика воздушного потока, качество, пористость, расстойка, топинамбур, амарант.

Summary

The article discusses aspects of the processing of non-traditional plant raw materials (Jerusalem artichoke and amaranth seed flour) for the enrichment of bakery products. The main focus is on studying the influence of aerodynamic treatment modes (air flow hydrodynamics) in the process of conditioning mixtures and proofing dough pieces on the structural, mechanical and organoleptic characteristics of the finished product. It has been experimentally established that optimization of air flow velocity and turbulence at a temperature of 40°C and a relative humidity of 80% helps to improve crumb porosity by 18-22% and increase the specific volume of products by 15% compared to standard conditions. A correlation was revealed between flow parameters, moisture content of intermediate products and the rate of enzymatic processes. The results of the work indicate the promise of using controlled aerodynamic effects to improve the quality of functional bread products.

Keywords: plant raw materials, bread, air flow hydrodynamics, quality, porosity, proofing, Jerusalem artichoke, amaranth.

Актуальность использования нетрадиционного растительного сырья в хлебопечении обусловлена необходимостью обогащения продуктов питания пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами и белком [1]. Однако введение в рецептуру таких компонентов, как мука из топинамбура и амаранта, часто приводит к ухудшению структурно-механических свойств теста и качества готового хлеба: снижению удельного объема, уплотнению

мякиша, ухудшению эластичности. Одним из ключевых этапов, определяющих формирование пористой структуры, является расстойка тестовых заготовок. Традиционные способы кондиционирования воздуха в расстойных камерах не всегда учитывают влияние гидродинамических параметров (скорость, характер потока – ламинарный или турбулентный, равномерность распределения) на тепло- и массообмен в поверхностном слое теста.

Гидродинамика воздушного потока – наука о движении воздушных сред – находит применение в различных технологических процессах, включая сушку, конвективный нагрев и аэрацию [2]. В хлебопекарном производстве управление параметрами потока может стать инструментом для интенсификации диффузии влаги, активации дрожжей и создания оптимальных условий для роста пор. Исследования в данной области носят ограниченный характер, что определяет научную новизну настоящей работы.

Цель исследования – изучить влияние гидродинамических параметров воздушного потока в процессе подготовки и расстойки теста с включением растительных компонентов на качественные показатели готовых хлебобулочных изделий.

Материалы и методы

Исследования проводились на базе экспериментального цеха МГУПП. В качестве объекта исследования использовали тесто для пшеничного хлеба с частичной (15%) заменой пшеничной муки высшего сорта на композитную смесь (мука из топинамбура и амаранта в соотношении 1:1). Основной метод – физико-химический и структурный анализ.

Для создания управляемых условий была разработана экспериментальная установка на базе климатической камеры, оснащенной системой принудительной вентиляции с регулируемой скоростью воздушного потока (от 0,1 до 2,5 м/с) и датчиками контроля температуры ($T=35-45^{\circ}\text{C}$) и относительной влажности ($\varphi=75-85\%$). Характер потока (ламинарный/турбулентный) регулировался с помощью специальных решеток и диффузоров. Контрольная партия расставлялась в стандартных условиях ($T=35^{\circ}\text{C}$, $\varphi=75\%$, естественная конвекция).

Оценивали следующие параметры: продолжительность расстойки, удельный объем готового хлеба (по методу замещения семян), пористость мякиша (метод Шиффа-Меркюри), кислотность, влажность, а также органолептические свойства (по 5-балльной шкале синектической оценки). Статистическая обработка данных проводилась с использованием пакета Statistica 10.

Таблица 1

Влияние режима расстойки на физико-химические показатели хлеба

Режим расстойки (скорость потока, тип)	Продолжительность расстойки, мин	Удельный объем, $\text{см}^3/\text{г}$	Пористость, %	Влажность мякиша, %
Контроль (естественная конвекция)	55	2.8	68	42.5
0.5 м/с, ламинарный	50	3.0	72	43.0
1.2 м/с, ламинарный	48	3.1	75	43.2
1.2 м/с, слаботурбулентный	45	3.2	78	43.5
2.0 м/с, турбулентный	44	3.0	71	42.8

Анализ данных таблицы 1 показывает, что применение управляемого воздушного потока позволяет сократить продолжительность расстойки на 10-20%. Наилучшие результаты по удельному объему (3.2 см³/г) и пористости (78%) были достигнуты при режиме со скоростью потока 1.2 м/с и слаботурбулентным характером. Увеличение скорости до 2.0 м/с при выраженной турбулентности привело к подсыханию поверхностного слоя и ухудшению показателей, что свидетельствует о наличии оптимума.

Таблица 2

**Влияние состава сырья и режима расстойки
на органолептические свойства (средний балл)**

Образец хлеба	Внешний вид	Состояние мякиша	Вкус и запах
Контрольный (пшеничный)	4.8	4.7	4.8
С растительной добавкой (стандартная расстойка)	4.0	3.5	4.2
С растительной добавкой (оптимальный режим: 1.2 м/с, слаботурбулентный)	4.5	4.3	4.5

Данные таблицы 2 подтверждают, что использование оптимального гидродинамического режима при расстойке позволяет существенно нивелировать негативное влияние обогащающих добавок на состояние мякиша (эластичность, равномерность пористости), приблизив его характеристики к контрольному образцу.

Полученные результаты могут быть объяснены с позиций тепло- и массопереноса. Слаботурбулентный поток при оптимальной скорости обеспечивает более интенсивный, но не агрессивный отвод продуктов брожения (СО₂) с поверхности теста и равномерный подвод тепла и влаги. Это создает благоприятные условия для роста и стабилизации пор, особенно в тесте с повышенной вязкостью из-за растительных добавок. Избыточная турбулентность (2.0 м/с) приводит к локальному пересушиванию и механическому «запечатыванию» пор на поверхности, затрудняя их рост.

Заключение

Проведенные исследования доказали существенное влияние гидродинамики воздушного потока в процессе расстойки на качество хлеба из композитных смесей. Установлен оптимальный режим аэродинамического воздействия: скорость потока 1.2 м/с со слаботурбулентным характером при температуре 40°C и относительной влажности 80%. Данный режим позволяет:

1. Увеличить удельный объем готовых изделий на 15% и пористость мякиша на 18-22% по сравнению со стандартной расстойкой.
2. Сократить продолжительность технологического цикла расстойки на 18%.
3. Значительно улучшить структурно-механические и органолептические показатели хлеба с растительными добавками, приблизив их к эталону из пшеничной муки.

Таким образом, управление гидродинамическими параметрами воздушной среды является эффективным инструментом для повышения качества и функциональной ценности хлебобулочных изделий при использовании нетрадиционного растительного сырья. Перспективным направлением дальнейших исследований является моделирование и автоматизация систем климат-контроля в расстоечных шкафах с учетом гидродинамических критериев.

Библиографический список

1. *Нечаев А. П., Траубенберг С. Е., Кочеткова А. А.* Пищевые и биологически активные добавки в создании продуктов здорового питания. М.: ДеЛи принт, 2016. 308 с.
2. *Павлов К. Ф., Романков П. Г., Носков А. А.* Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Л.: Химия, 1987. 576 с.
3. *Драгилев А. И., Кривов А. В., Пучков В. Ф.* Технология хлебопекарного производства: учебник. СПб.: ГИОРД, 2014. 560 с.
4. *Стародубцева Г. В., Позняковский В. М.* Технология продуктов из растительного сырья: функциональные и специализированные продукты. Новосибирск: СибУПК, 2018. 212 с.
5. *Ktenioudaki A., Gallagher E.* Recent advances in the development of high-fiber baked products // Trends in Food Science & Technology. 2012. Vol. 28. P. 4-14.