

Инновационные аспекты разработки ресурсосберегающего процесса выпечки хлебобулочных изделий в поле действия ультразвука

Антуфьев В.Т., Андреев А.Н., Горшков Ю.Г., Русакевич О.Н.

Санкт-Петербургский Государственный Университет
Низкотемпературных и Пищевых Технологий. Факультет
техники пищевых производств. Кафедра техники пищевых
производств и торговли

Проведены исследования интенсификации теплообмена в хлебопекарных печах в поле ультразвука. Ультразвуковые воздушные генераторы позволяют интенсифицировать процесс выпечки и увеличить производительность, при этом качество хлебобулочных изделий не ухудшается. Требуется установить зависимость скорости выпечки от интенсивности и продолжительности действия ультразвука. Они позволяют при малой затрачиваемой мощности ($0,1-0,2 \text{ Вт/см}^2$) в значительной степени разрушить пограничную пленку воздуха у хлебобулочного изделия и соответственно увеличить коэффициент теплоотдачи в 1,6 – 2,1 раза. Это увеличивает скорость выпечки на 25 – 30%.

Ключевые слова: интенсификация, теплообмен, ультразвук, процесс выпечки, пограничная пленка.

Возросшая конкуренция предприятий диктует необходимость повышения качества и снижения энергозатрат для выработки хлебобулочных изделий. Особенно большие резервы имеются на завершающей стадии хлебопекарного производства - выпечке. Она осуществляется в хлебопекарных печах, от степени совершенства которых во многом зависят как качество хлебобулочных изделий, так и удельные затраты энергии на их производство.

Процесс выпечки хлебобулочных изделий традиционным способом изучен достаточно глубоко, однако удельные затраты энергии на производство единицы продукции велики. Поэтому проблема интенсификации процесса выпечки в хлебопекарных печах является актуальной и не требует доказательств.

С точки зрения механизма подвода или генерации тепла, вызывающего прогрев выпекаемого теста-хлеба, все традиционные способы выпечки можно классифицировать следующим образом:

— Способы при которых тепло к выпекаемому тесту-хлебу подводится извне:

1. Радиационно-конвективная выпечка в обычных хлебопекарных печах;
2. Выпечка в хлебопекарных печах с генераторами инфракрасного (коротковолнового) излучения;

3. Выпечка в замкнутых камерах в атмосфере пара: а) В атмосфере насыщенного пара; б) Начало выпечки в атмосфере насыщенного пара и завершение выпечки — в атмосфере перегретого пара.

— Способы при которых тепло выделяется в массе прогреваемой тестовой заготовки:

1. Выпечка с применением электроконтактного прогрева;
2. Выпечка в электрическом поле токов высокой и сверхвысокой частоты (ВЧ-выпечка и СВЧ-выпечка).

— Способы выпечки с комбинированным прогревом выпекаемого теста-хлеба:

1. Выпечка в хлебопекарных печах с одновременным высокочастотным и инфракрасным (коротковолновым) прогревом тестовой заготовки;
2. Выпечка в печах с прогревом сначала в электрическом поле токов высокой частоты и завершением выпечки при инфракрасном прогреве;
3. Выпечка с одновременным инфракрасным и электроконтактным прогревом;
4. Выпечка с последовательным прогревом сначала электроконтактным и затем инфракрасным.

Однако существующие способы выпечки, как правило, энергоемки и требуют совершенствования, применения новых физических эффектов, ранее не применяемых в хлебопечении. Все эти способы ведут к существенному усложнению конструкции хлебопекарных печей, а повышенная скорость обдува воздухом — к существенным потерям массы хлеба на упек и снижению качества корки.

В настоящее время наиболее перспективным и совершенным, по нашему мнению, является способ выпечки с помощью ИК-излучения с наложением ультразвука.

Выпечка тестовых заготовок под воздействием регулируемого электромагнитного излучения инфракрасного спектра происходит в пекарной камере, оснащённой трубчатыми электронагревателями (ТЭНы), которые имеют специальное покрытие из функциональной керамики и размещены эквидистантно относительно тестовых заготовок. Благодаря этому происходит равномерное и значительно более интенсивное облучение тестовых заготовок по всей поверхности. Инфракрасное излучение с определенной длиной волны активно поглощается водой, содержащейся в продукте, и значительно меньше другими ингредиентами хлеба, что позволяет практически полностью сохранять витамины, биологически активные вещества, естественный цвет и аромат. Длина волны составляет от 40 до 250 мкм, плотность потока регулируется в пределах от 5000 до 25000 Вт/м², который создаёт через 4-5 мин облучения температуру 190 - 220°С на поверхности тестовой заготовки и 75-80 °С на глубине 3-5 мм (за счет высокой проникающей способности коротковолнового диапазона ИК-излучения). В зависимости от используемой рецептуры и вида продукции (хлеб, батон, баранки), такие характеристики, как длина волны и плотность облучающего потока выпечки хлебобулочных изделий изменялись, но не выходили при этом за рамки указанных выше величин. Использование в стадии выпечки мощного инфракрасного излучения

позволяет в первоначальный момент времени выпечки сформировать на тестовых заготовках тонкую и пока эластичную корочку. При дальнейшем прогреве мякиша, вода и этиловый спирт интенсивно превращаются в пар и, увеличиваясь, делают мякиш более объемным, т.к. пар не может сразу испариться из-за образовавшейся ранее корочки, а испаряется с некоторой задержкой, проделав работу в мякише по его "разрыхлению". Из предыдущих исследований известно, что этот способ выпечки на 20-30% сокращает продолжительность процесса производства хлебобулочных изделий, что в свою очередь повышает качество хлеба за счет сохранения в нем большего количества витаминов и улучшения структурно-механических свойств мякиша. Быстрое создание в процессе выпечки изделий тонкостенной корочки снижает упек изделий на 15 - 18% по сравнению с традиционным, что способствует продлению срока свежести выпекаемой продукции. Однако способ выпечки с помощью ИК-излучения в перспективе необходимо совершенствовать в направлении увеличения коэффициента теплоотдачи [3]. Так как ИК-подвод энергии сочетает в себе поверхностный и объемный способ обогрева, то он менее ограничен по интенсивности подвода тепла. Авторы считают, что радикальной мерой для интенсификации процесса выпечки будет применение ультразвука совместно с ИК-излучением.

Выпечка хлебобулочных изделий с поле ультразвука изучена недостаточно. Необходимо вывести зависимости скорости выпечки от интенсивности и продолжительности действия ультразвука, отсутствует экономическое обоснование процесса.

Известно, что тепломассообмен в ультразвуковом поле — процесс изменения температурных и концентрационных полей в газообразной или жидкой среде вследствие изменения гидродинамических характеристик среды под воздействием акустических колебаний. Механизм воздействия ультразвука при выпечке изделий в основном связан с появлением акустических течений, обусловленных поглощением энергии в среде и в пограничном слое у их поверхности, а также поглощением части энергии внутри хлеба. Преимущество акустических потоков перед обычными гидродинамическими — в малой толщине их пограничного слоя:

$$\delta = \sqrt{\nu/\pi f},$$

где ν — коэффициент кинематической вязкости, м²/с; f — частота колебаний, Гц.

Из формулы видно, что существует реальная возможность изменения его толщины путём увеличения частоты колебаний. Так при частоте колебаний 22000 Гц толщина ламинарного пограничного слоя δ составит всего 0,2 мм. Это в свою очередь приводит к уменьшению толщины температурного или концентрационного пограничного слоя и увеличению тем самым градиентов температуры или концентрации, определяющих скорость переноса массы или тепла.

Интенсифицирующее действие акустических колебаний на тепло-массообмен в ультразвуковом поле проявляется, начиная от некоторых пороговых значений звукового давления, но далеко до кавитационных условий.

В условиях свободной конвекции этот порог определяется соотношением двух сил, действующих на элемент объема среды: силы, связанной с акустическим потоком, и подъемной.

В созданной нами экспериментальной установке (Рис.1) выпечка хлебобулочных изделий инфракрасным излучением с наложением ультразвука осуществляется в пекарной камере, где установлены два ультразвуковых воздушных генератора с регулируемой выходной мощностью от 40 до 400 Ватт у каждого. Они позволяют при малой затрачиваемой мощности ($0,1-0,5 \text{ Вт/см}^2$) в значительной степени разрушить пограничную пленку воздуха у хлебобулочного изделия и соответственно увеличить коэффициент теплоотдачи в 1,6 – 2,1 раза. Расчет показывает, что это увеличит скорость выпечки на 25 – 30% и позволит снизить температурный режим в печи.

Замеры интенсивности звукового излучения показывают, что рассеяние и отражение ультразвуковых волн от изменяющейся в пространстве и времени генерирующей области приводит к усреднению акустического поля, интерференционная картина сглаживается и поле приобретает ярко выраженный мелкомасштабный диффузионный характер [4].

Теоретические исследования показывают, что малые возмущения от генератора волн в воздухе приводят к турбулизации пограничного слоя, а их отражения к автоколебаниям этого слоя с интенсивным теплообменом с воздухом пекарной камеры. То есть передвижение одной волны возмущения способствует созданию вакуума у поверхности, и подосу новых порций воздуха – теплоносителя. Естественно, тесто при этом будет выпекаться быстрее и равномернее, так как при озвучивании ультразвук многократно отражается от стен камеры и хлебобулочного изделия, и проникает во все трещины и пустоты хлеба, снижая термическое сопротивление тепло- и массопереносу. Мякиш хлеба за счет периодического изменения местного давления также подвергается автоколебаниям на глубину от миллиметров до нескольких сантиметров, что способствует интенсивному проникновению тепла внутрь хлеба (звукокапиллярный эффект, локальный нагрев). Расчеты показывают, что при этом наружные частицы хлеба получают ускорения до $3-4g$ ($g = 9.8 \text{ м/с}^2$ при мощности около $0,5 \text{ Вт/см}^2$). Для подтверждения теоретических исследований на созданной лабораторной установке будут проведены эксперименты по выпечке мелкоштучных хлебобулочных изделий и баранок в переносном жарочном шкафу "Альянс 010" и в печи периодического действия «Ровента», в которых установлен ультразвуковой воздушный генератор. Он кроме звуковой мощности вносит и определенную тепловую мощность с нагретым до $160 - 190^\circ\text{C}$ озвученным воздухом (за счет превращения кинетической энергии воздуха в тепло). Особое внимание при исследованиях будет обращено на качество выпечки и снижение удельной энергоемкости процесса.

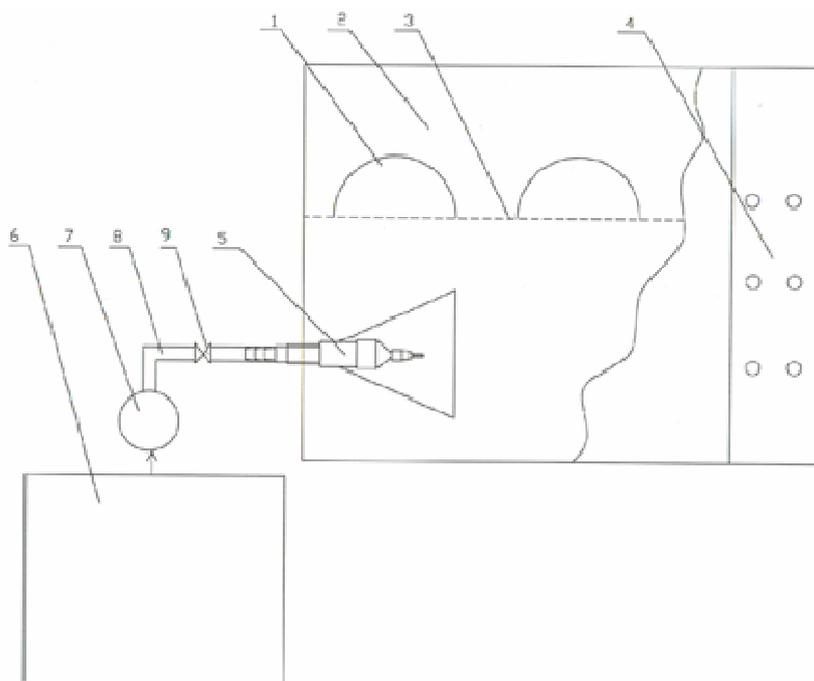


Рис.1 Схема установки ультразвукового излучателя в пекарной камере.
 1 — Объект исследования — хлебобулочные изделия; 2 — Пекарная камера; 3 — Решётка; 4 — Блок управления; 5 — Ультразвуковой воздушный генератор; 6 — Компрессор; 7 — Редуктор; 8 — Трубка высокого давления; 9 — Вентиль.

Таким образом, на основе теоретических исследований можно сделать вывод, что применение ультразвуковых воздушных генераторов в хлебопекарных печах позволит интенсифицировать процесс выпечки, а, следовательно, увеличить производительность хлебопекарных печей.

Список литературы

1. Авторское свидетельство №95106750 Способ производства хлеба и хлебобулочных изделий. Ермоленко В.Н, Рахимов Р.Х., Свешников П.Г., 1997г.
2. Ауэрман Л.Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник. -СПб.: Профессия, 2003.-416с.
3. Барышников А.Н., Володарский А.В., Михелев А.А. О прогреве тестовых заготовок в процессе выпечки // Хлебопекарная и кондитерская промышленность. – 2001г.
4. Голямина И.П., и др. Ультразвук. Маленькая энциклопедия. Советская энциклопедия. – М.:1979. – 400с.