

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПОСОБА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

Б.А. Кулишов, А.Г. Новосёлов, С.Ю. Иващенко, В.А. Еськов

В статье обозначена актуальность исследований процесса электроконтактной выпечки в производстве хлеба различного назначения, в том числе лечебно-диетические разновидности и хлеб-полуфабрикат. Электроконтактная выпечка позволяет повысить питательную ценность хлеба, уменьшить энергетические затраты на проведение процесса выпечки, уменьшить длительность выпечки, получить хлеб без корки для применения в лечебно-диетическом рационе. Дано физическое описание процесса, выделены преимущества данного способа по сравнению с традиционным радиационно-конвективным выпеканием хлеба. Приведено описание экспериментальной установки для изучения электроконтактной выпечки, разработанной в НИУ ИТМО на базе кафедры процессов и аппаратов. Изложены конструктивные особенности, показана электрическая схема. Изложены результаты предварительной серии экспериментов по электроконтактной выпечке, проведенной в целях апробации установки. Указаны особенности протекания процесса, возникающие сложности и возможные дефекты хлеба при выпечке. Приведены зависимости силы тока от времени при различных концентрациях соли в рецептуре теста. Также проведен расчет энергетических затрат по итогам экспериментов, проведено сравнение с данными по энергетическим затратам из литературы для радиационно-конвективной выпечки. Изложен дальнейших план экспериментальных работ по изучению процесса.

Ключевые слова: электроконтактная выпечка, пищевая ценность хлеба, хлеб-полуфабрикат, хлеб лечебно-диетического назначения, бескорковый хлеб, энергозатраты, длительность выпечки, дефекты хлеба.

Применение в современной пищевой промышленности энергосберегающих технологий обработки сырья позволяет уменьшить издержки производства, а использование нетрадиционных методик проведения процессов, с учетом их сферы применения и оптимального конструктивного исполнения, позволяет расширить ассортимент выпускаемой продукции, выпуская бескорковый хлеб, повысить питательную ценность целевого продукта, а также в перспективе решить некоторые технологические проблемы [1].

В хлебопекарной промышленности к нетрадиционным технологиям выпечки относится электроконтактная выпечка. Сущность электроконтактного способа выпечки состоит в пропускании через тесто переменного тока путем контакта теста с металлическими пластинами-электродами [2]. Способ имеет несколько особенностей, которые обеспечивают повышенный интерес исследователей к изучению данного процесса. К таким особенностям можно отнести непосредственный нагрев сырья без использования промежуточных теплоносителей, малые энергетические затраты, более низкую температуру протекания процесса, меньшую длительность процесса.

В широко используемом способе радиа-

ционно-конвективной выпечки нагрев тестовых заготовок осуществляется посредством конвективного теплообмена с горячим воздухом и теплообмена через стенку хлебопекарной формы. Таким образом, нагрев тестовой заготовки проходит следующие стадии:

1. Нагрев промежуточного теплоносителя – воздуха; создание условий вынужденной конвекции теплоносителя с использованием вентиляторов;

2. Нагрев поверхностей хлебопекарной формы и тестовой заготовки за счет конвекции и термоизлучения от поверхностей нагрева;

3. Прогрев тестовой заготовки путем теплопередачи от наружных слоев к внутренним [3, 4].

Таким образом, можно предположить, что использование промежуточных стадий и малоэффективных механизмов теплопередачи (к которым относится теплопроводность) значительно уменьшают эффективность процесса. Более того, возникновение значительных температурных градиентов в тестовой заготовке приводит к локальному перегреву, термическому разрушению полезных нутриентов хлеба, витаминов, и как следствие, к общему снижению пищевой ценности [5].

Электроконтактный способ выпечки предполагает генерирование теплоты внутри

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОГО СПОСОБА ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

продукта без использования промежуточных стадий, с высокой скоростью, практически равномерно во всем объеме хлеба. При использовании данного способа температура тестовой заготовки достигает всего лишь 98 °С [2,5], в то время как температура на поверхности корки при радиационно-конвективной выпечке может достигать 180 °С [2].

Следует упомянуть, что метод непосредственного нагрева сырья при электроконтактной выпечке обуславливает значительно меньшие удельные энергетические затраты на процесс. Для радиационно-конвективного способа различные авторы упоминают следующие значения энергозатрат:

1. 0,25±0,4 кВт×ч/кг [3,4];
2. 0,292±0,446 кВт×ч/кг [6]

Для электроконтактной выпечки хлеба приводятся следующие значения энергетических затрат:

- (0,062+0,002) (напряжение 220 В);
- (0,077+0,005) кВт/кг (напряжение 120 В);
- (0,115+0,005) кВт/кг (напряжение 60 В) [4,5].

Из вышеизложенных данных можно сделать вывод, что энергетические затраты на электроконтактную выпечку в 2-7 раз меньше, чем при радиационно-конвективной выпечке.

Применение способа электроконтактной выпечки целесообразно для производства хлеба лечебно-диетического назначения [6], хлеба-полуфабриката для производства сухарей [2].

Для исследования процесса электроконтактной выпечки на базе кафедры процессов и аппаратов факультета пищевых биотехнологий и инженерии Университета ИТМО была разработана экспериментальная установка, принципиальная схема которой приведена на рисунке 1.

Электроконтактная печь состоит из корпуса 1, выполненного из неэлектропроводного материала, электродов 2, установленных в пазах корпуса 1, откидного днища 3, и откидывающейся крышки с отверстиями для выхода пара и газа 4. В корпусе выполнены пазы для возможности смещения электродов и установки различных значений межэлектродного расстояния. Откидывающееся вниз днище позволяет извлекать полученный электроконтактный хлеб (ЭК-хлеб) без деформации, что немаловажно, т.к. ЭК-хлеб в силу отсутствия корки хуже держит форму и легче деформируется. Также экспериментальная установка позволяет варьировать межэлектродное расстояние в пределах от 13 мм до 101 мм с ша-

гом в 11 мм. Таким образом, установка поддается элементному масштабированию, что позволяет в дальнейшем конструировать электроконтактные печи на большую производительность.

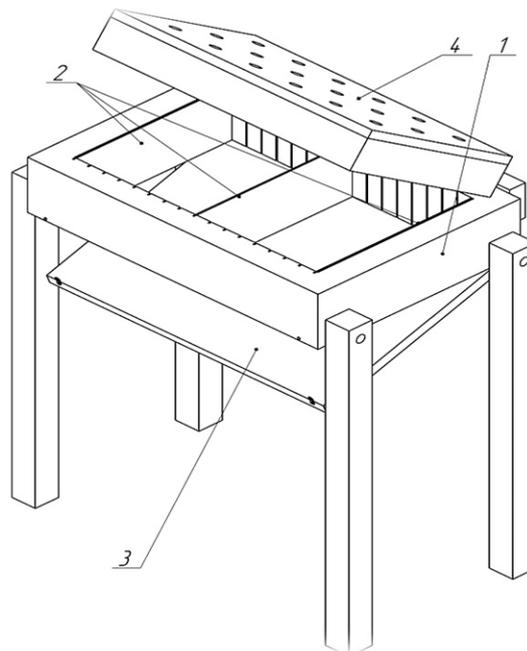


Рисунок 1 - Принципиальная схема экспериментальной установки

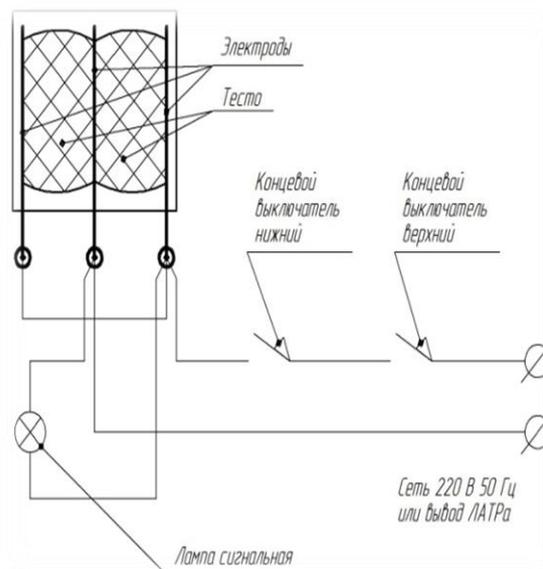


Рисунок 2 - Электрическая схема экспериментальной установки

Экспериментальная установка оснащена двумя концевыми выключателями, которые размыкают цепь при открытии крышки и/или днища, а также сигнальной лампой. Данные конструктивные элементы введены в целях

обеспечения безопасности при работе с установкой. Выводы электродов подключаются к сети 220 В 50 Гц либо к выводам ЛАТРа (рисунок 2).

В целях апробации установки и разработки методик проведения экспериментов была проведена серия предварительных опытов. При их проведении была использована рецептура теста, приведенная в таблице 1.

Приготовление теста для выпечки в электроконтактной печи проводилось следующим образом. Мука I сорта просеивалась, взвешивалась на весах. Необходимая масса соли взвешивалась, после чего соединялась с частью воды, предназначенной для замеса теста. Дрожжи хлебопекарные гранулированные взвешивались и смешивались с мукой. Все компоненты, кроме воды, смешивались в деже тестомесильной машины, после чего происходил замес с постепенным добавлением всей воды.

Таблица 1 - Рецептура теста

Наименование компонента	Масса, г
Мука пшеничная I сорт	1000
Соль	m_c^*
Дрожжи сухие	5
Вода	565

* m_c – масса соли различна для опытов.

После замеса тесто проходило стадию брожения при температуре 30 °С и относительной влажности воздуха 70 % в течение 2 ч. По истечении первого часа производилась обминка теста. После завершения стадии брожения тесто подвергалось формованию в цилиндр длиной 28-30 см и диаметром 7-8 см, после чего цилиндр разрезался на три части так, чтобы средняя часть была в длину 10-10,5 см и массу 550±10 г (расстояние между электродами в данной серии предварительных экспериментов составляло 100 мм). Далее электроды электроконтактной печи смазывались тонкой пленкой растительного масла. Сформованная тестовая заготовка в виде цилиндра помещалась между электродами так, чтобы торцовые грани цилиндра имели плотный контакт с электродами. После укладки тестовые заготовки подвергались расстойке в расстоечном шкафу при температуре 40 °С и относительной влажности 80 % в течение 1 ч. После завершения расстойки тестовая заготовка увеличивалась в объеме и заполняла пространство между электродами на 85-90 %.

Последний этап – выпечка расстойшихся тестовых заготовок – проходила при

напряжении 220 В, частота 50 Гц. Вовремя производилось измерение силы тока, протекающего через тестовую заготовку.

Для серии предварительных экспериментов в качестве варьируемого фактора эксперимента была выбрана масса соли в рецептуре теста. Были проведены следующие опыты: $m_c = 1,5\%$ от массы муки, $m_c = 15$ г;

1. $m_c = 1,0\%$ от массы муки, $m_c = 10$ г;
2. $m_c = 0,5\%$ от массы муки, $m_c = 5$ г.

Графики изменения силы тока от времени для данных опытов приведены на рис. 3.

Вместе с тестовыми заготовками, предназначенными для выпечки электроконтактным способом, параллельно из того же теста формовались тестовые заготовки для выпечки в радиационно-конвективной печи в качестве контроля. Расстойка тестовых заготовок проходила параллельно и в том же режиме, что и тестовые заготовки для электроконтактной выпечки.

При проведении предварительной серии экспериментов авторами данной статьи были установлены следующие особенности протекания процесса:

1. Очень важно поддерживать плотный контакт теста с электродами, для чего применяется способ формования и разделки тестовой заготовки, описанный выше;

2. Использование концентраций соли в 1,5 % и 1,0 % от массы муки приводит к быстрому протеканию процесса, но чревато возникновением коротких замыканий в виде искровых разрядов между кромкой электрода и тестом, что приводит к местному почернению поверхности теста и ухудшению органолептических показателей готового хлеба; данный факт упоминался авторами [5];

3. Необходимость покрытия электродов тонкой пленкой растительного масла вызвана сильным прилипанием тестовой заготовки к электродам, и неудовлетворительным качеством хлеба в отсутствие масляной пленки на электродах;

4. Высокие значения концентрации соли, такие как 1,5 % от массы муки, могут приводить к чрезмерно быстрому протеканию процесса, испарению влаги из приэлектродной зоны, и как следствие, к росту сопротивления теста и прекращению процесса выпечки, что приводит к непропеку;

5. Один из возможных дефектов при превышении массы тестовой заготовки до значения в 600 г – непропеченный слой теста под верхней поверхностью хлеба вследствие чрезмерно большой высоты расстойшейся тестовой заготовки.

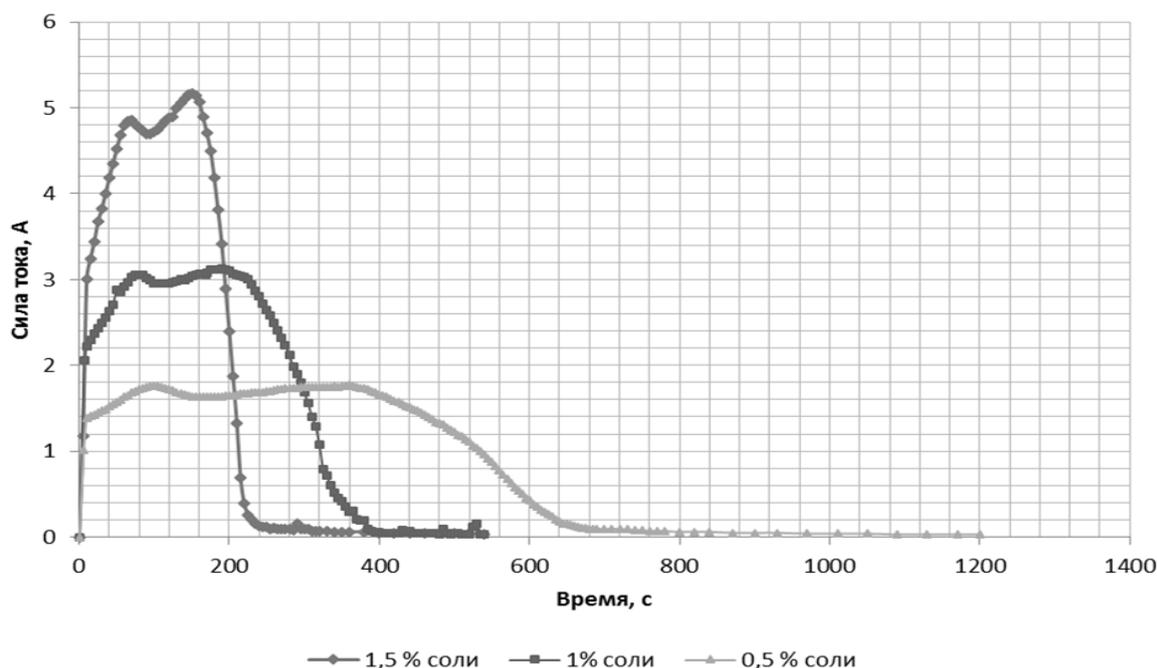


Рисунок 3 - Графики изменения силы тока при различных концентрациях соли

Как видно из графиков, длительность процесса и достигаемая сила тока напрямую зависят от концентрации соли. Наибольшее значение силы тока и наименьшая длительность процесса достигаются при концентрации соли в 1,5 % от массы муки. Меньшее значение силы тока и большая продолжительность наблюдаются при концентрации соли в 1,0 % от массы муки, и наименьшее значение силы тока и наибольшая длительность соответствуют 0,5% соли от массы муки. При этом каждый график имеет два экстремума, разделенных небольшим промежутком времени, что согласуется с данными авторов [7]. По истечении основного периода выпечки наблюдается асимптотическое уменьшение силы тока.

После проведения серии предварительных экспериментов был проведен расчет энергетических затрат. На выпечку расходуется энергия, которую можно определить по следующей формуле:

$$W = U \int_0^t i dt;$$

где W – энергетические затраты, Вт·с;
 U – напряжение, В;
 i – сила тока, А;
 t – время, с.

По имеющимся экспериментальным данным изменения тока от времени была рассчитана площадь интеграла в размерности [А×с], после умножения на значение напряжения, которое оставалось постоянным в ходе опыта,

было получено значение энергетических затрат в [Вт×с]; деление на массу готового хлеба и перевод секунд в часы дало значение в [кВт×ч/кг]; результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Энергетические затраты на выпечку при разных концентрациях соли.

Концентрация соли, % от массы муки	Удельные энергетические затраты, кВт·ч/кг
0,5	0,116
1,0	0,106
1,5	0,086

В дальнейшем планируется более детальное исследование процесса, расчет энергетических затрат на проведение выпечки, а также использование различных комбинаций варьирования напряжения и межэлектродного расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сидоренко Г.А. Электроконтактный энергоподвод при выпечке хлеба / Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, Г.Б. Зинюхин, Д.И. Ялалетдинова, А.Г. Зинюхина // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2012. – № 1. – С. 218.
2. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник. — 9-е изд.; перераб. и доп. / Под общ. ред. Л. И. Пучковой. — СПб: Профессия, 2005. — 416 с., ил.

3. Пучкова Л. И. Технология хлеба. – М.: Колос, 2005. – 560 с.

4. Хромеенков В. М. Технологическое оборудование хлебозаводов и макаронных фабрик. – СПб. Гиорд, 2004. — 496 с., ил.

5. Разработка технологии производства хлеба с применением электроконтактного способа выпечки: монография / Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, Г.Б. Зинюхин, В.Г. Коротков; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2012. – 124 с.

6. Сухенко Ю.Г. Электроконтактный способ выпечки хлебобулочных и кондитерских изделий / Ю.Г. Сухенко, В.Ю. Сухенко, Ю.И. Бойко // Хранение и переработка зерна. – 2009. – №12. - С.126.

7. Краснова М.С. Электроконтактная выпечка как объект автоматизации / М.С. Краснова, Г.А. Сидоренко, В.П. Попов, А.Г. Зинюхина, Г.Б. Зинюхин // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – № 1. – С. 188.

Кулишов Б. А. - аспирант 1 курса, кафедры процессов и аппаратов пищевых про-

изводства, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, научно-исследовательский университет ИТМО, e-mail: nosferatu@mail.ru

Новоселов А. Г. - д.т.н., профессор, кафедры процессов и аппаратов пищевых производств, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, научно-исследовательский университет ИТМО, e-mail: dekrosh@mail.ru

Иващенко С. Ю. - бакалавр 4 курса, кафедры пищевой биотехнологии продуктов из растительного сырья, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, научно-исследовательский университет ИТМО, e-mail: siivashchenko@corp.ifmo.ru

Еськов В. А. - магистрант 1 курса, кафедры процессов и аппаратов пищевых производств, факультет пищевых биотехнологий и инженерии, научно-исследовательский университет ИТМО, e-mail: slavayeskov@gmail.com