

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ВЫПЕЧКА ХЛЕБА КАК ОБЪЕКТ АВТОМАТИЗАЦИИ

Исследованы теоретические и практические аспекты процесса электроконтактной (ЭК) выпечки хлеба. Приведены результаты исследования кинетики процесса ЭК-выпечки хлеба, в частности изменение силы тока, температуры, пористости, объемного и весового выходов, химического состава (содержания белков, углеводов), интенсивности образования углекислого газа, а также давления в пекарной камере от продолжительности выпечки. Разработана параметрическая схема процесса ЭК-выпечки хлеба, необходимая для создания системы автоматизированного управления данным процессом. Определен диапазон оптимальных значений управляющих параметров, позволяющих получить высококачественный продукт.

Ключевые слова: электроконтактная выпечка хлеба, параметрическая схема, управляющие параметры, управляемые параметры, кинетика процесса выпечки.

В настоящее время известны способы выпечки, различающиеся характером теплового воздействия на тестовую заготовку и видами получаемых при этом изделий.

Одним из наиболее интенсивных способов прогрева тестовой заготовки является электроконтактная (ЭК) выпечка, которая позволяет минимизировать потерю полезных свойств используемого сырья и получить бескорковый хлеб повышенной пищевой ценности.

Для обеспечения спроса потребителей бескорковый хлеб ЭК-выпечки, наряду со своими функциональными свойствами, должен обладать хорошими показателями качества. Выпечка является заключительной стадией приготовления хлеба, окончательно формирующей его качество. В связи с этим актуальным является создание автоматизированной системы управления, которая позволит поддерживать оптимальный режим ЭК-выпечки и обеспечит получение готового продукта высокого качества. Решение данной проблемы для ЭК-выпечки осложняется высокой интенсивностью данного процесса и недостаточной изученностью ее кинетики.

Для создания системы управления, обеспечивающей получение высококачественного готового продукта, необходимо исследовать теоретические и практические аспекты процесса ЭК-выпечки, выявить возмущающие, наблюдаемые, измеряемые, управляющие и управляемые параметры.

Качество готового хлеба и процесс его выпечки в значительной степени зависят от свойств теста. В связи с этим была проведена серия предварительных экспериментов, позволившая оп-

ределить оптимальные параметры приготовления теста, обеспечивающие получение бескоркового хлеба ЭК-выпечки хорошего качества.

Наилучшие показатели качества хлеба ЭК-выпечки достигались при внесении в тесто соли в количестве 0,65%, сухих дрожжей – 2,0%, массовой доле влаги – 50–56% при безопасном способе тестоприготовления и продолжительности его созревания 185–200 мин., дозировке муки на одну тестовую заготовку – 250 г при площади электродов $1,5 \cdot 10^4$ мм², расстоянии между ними 100 мм и подводимом напряжении 220 В.

В процессе ЭК-выпечки в исходном сырье (в частности в тесте) с различной рецептурой и, как следствие, реологическими характеристиками должны происходить целенаправленные коллоидные, биохимические, микробиологические и физико-химические процессы с целью его преобразования в готовый продукт с заданными показателями качества. Основным, определяющим все остальные процессы, является прогрев тестовой заготовки.

Следует отметить, что по изменению химического состава теста-хлеба можно судить об интенсивности биохимических процессов при ЭК-выпечке. Коллоидные процессы, обеспечивающие образование структуры выпекаемого изделия, в значительной степени обуславливают его пористость и объемный выход. Изменение интенсивности образования углекислого газа может характеризовать микробиологические процессы, протекающие в процессе ЭК-выпечки. Изучение изменения температуры, весового выхода выпекаемого изделия, давления в пекарной камере и силы тока позволяет оценить интен-

сивность прогрева, процессов испарения воды, спирта и других летучих веществ. Разрежение пекарной камеры задается исследователями (в данной работе использовалось разрежение 40 кПа), по сути, является управляющим параметром. Однако при выделении углекислого газа и паров воды в процессе выпечки разрежение изменяется и по его приращению можно судить об интенсивности паро- и газоотделения.

Для установления механизма ЭК-выпечки хлеба нами была изучена ее кинетика, в частности изменение силы тока, температуры, пористости, объемного и весового выходов, химического состава (содержания белков, углеводов), интенсивности образования углекислого газа, а также давления в пекарной камере в зависимости от продолжительности выпечки.

Кривые зависимости силы тока, температуры, объемного и весового выхода, пористости, влажности хлеба и разрежения пекарной камеры от продолжительности ЭК-выпечки представлены на рисунке 1.

Анализ полученных зависимостей показал, что при ЭК-прогреве тестовой заготовки в первые 50–60 с. наблюдается увеличение объем-

ного выхода и пористости, связанное с повышением ее температуры до 45–50 °С и происходящим при этом тепловым расширением пузырьков воздуха и углекислого газа, растягивающим клейковинный каркас теста-хлеба. Повышению силы тока в этот период способствует увеличение степени диссоциации солей и кислот, переход в жидкую фазу водорастворимых веществ.

В дальнейшем в период ЭК-выпечки от 60 до 90 с. сила тока снижается, объемный выход и пористость увеличиваются, что обусловлено повышением температуры тестовой заготовки до 60–70 °С и происходящими при этом активными процессами набухания белковых и углеводных компонентов теста, приводящими к снижению свободы перемещения ионов.

По мере протекания процесса ЭК-выпечки от 90 до 120 с. наблюдается период стабилизации силы тока и менее интенсивного увеличения объемного выхода и пористости, что связано с достижением температуры тестовой заготовки 80–85 °С и протекающими при этом процессом клейстеризации крахмала и снижением способности белков к набуханию.

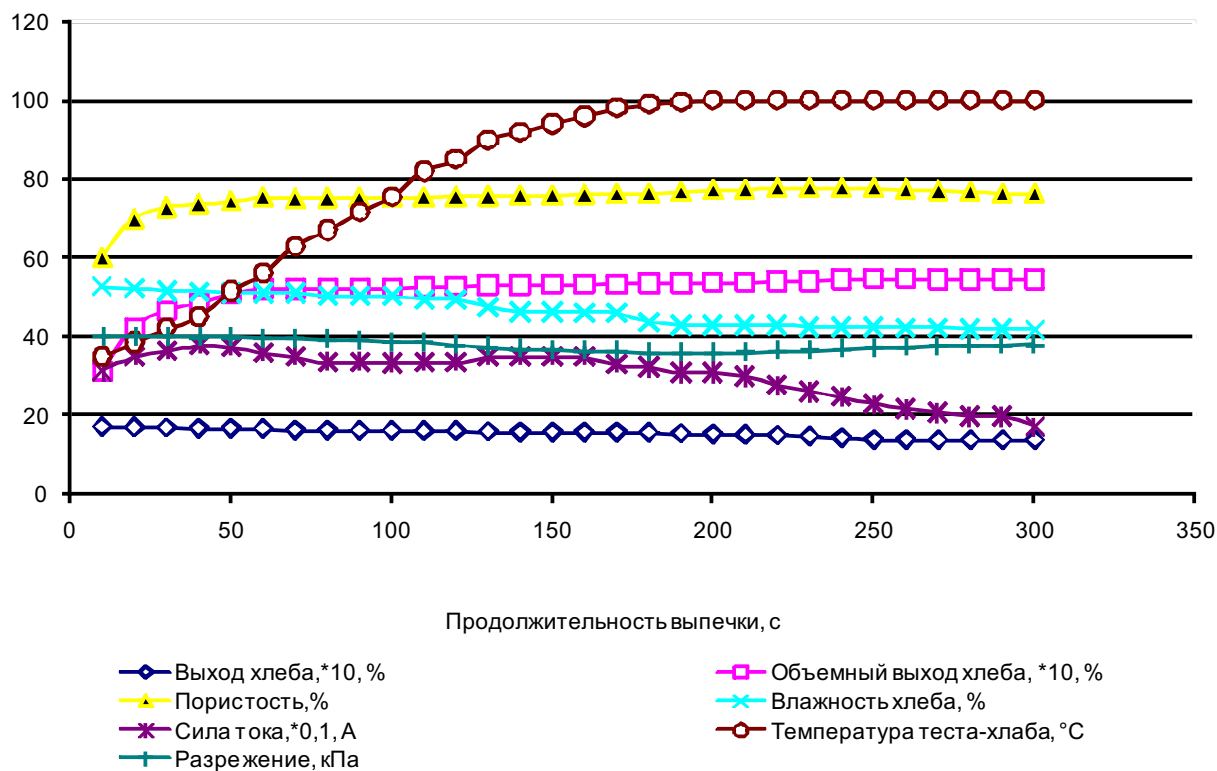


Рисунок 1. Кинетика процесса ЭК-выпечки хлеба

При дальнейшей ЭК-выпечке в период от 120 до 160 с и повышении температуры теста хлеба до 92–95 °С наблюдается повторное повышение силы тока, вероятно, обусловленное денатурацией белков и освобождением ими влаги, поглощенной при набухании. Увеличению объемного выхода и пористости в этот период способствует термическое расширение паров спирта и воды. Однако объем хлеба увеличивается уже менее интенсивно, так как слои мякиша, образовавшиеся в результате клейстеризации крахмала и денатурации белков, в значительно меньшей степени, чем тесто, способны к изменению объема.

В процессе дальнейшего допекания хлеба от 160 с. и до конца выпечки наблюдается снижение силы тока и повышение температуры до 98–100 °С, испарение воды достигает своего максимума, однако объемный выход и пористость увеличиваются уже незначительно, а в конце выпечки даже несколько снижаются из-за удаления летучих веществ из межпористого пространства хлеба. Упрочнение структуры теста хлеба и испарение из него воды приводят к снижению силы тока. Об окончании процесса ЭК-выпечки можно судить по снижению силы тока до 0–0,5 А и достижению температуры теста хлеба значения 98–100 °С.

По кривой изменения степени разрежения пекарной камеры можно судить об интенсивности газоотдачи в процессе ЭК-выпечки хлеба. В процессе ЭК-выпечки интенсивность газоотдачи увеличивается, достигая наибольшего значения в момент максимальной интенсивности испарения паров воды.

Со снижением массовой доли влаги в тестовой заготовке в процессе ЭК-выпечки, весовой выход уменьшается.

Были проведены исследования по изучению зависимости интенсивности образования углекислого газа от продолжительности ЭК-выпечки. Исследования проводились с использованием модернизированного прибора Яго-Островского. Модернизация заключается в том, что в приборе между сосудом для образования углекислого газа (в данном случае ЭК-выпечки) и сосудами для измерения объема выделенного углекислого газа установлены U-образные трубки с силикагелем для улавливания паров воды.

В процессе ЭК-выпечки интенсивность образования углекислого газа снижается. Макси-

мальная интенсивность образования диоксида углерода наблюдается в первые 1,5–2,5 мин. ЭК-выпечки. Это связано с активизацией жизнедеятельности дрожжей и молочнокислых бактерий. Дальнейший прогрев тестовой заготовки приводит к снижению биологической активности микроорганизмов. Следовательно, снижается интенсивность образования углекислого газа, являющегося одним из основных продуктов их жизнедеятельности. Через 3–3,5 мин. ЭК-выпечки интенсивность образования диоксида углерода снижается, достигая своего минимального значения к концу процесса выпечки.

Исследована кинетика изменения химического состава теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки. Результаты исследования представлены в таблице 1.

Анализ полученных данных показывает, что в процессе ЭК-выпечки содержание крахмала и белков несколько снижается. Это может быть вызвано гидролитическим и ферментативным расщеплением крахмала и белков. Содержание декстринов, как одного из продуктов расщепления крахмала, в процессе ЭК-выпечки увеличивается. Содержание сахаров в процессе ЭК-выпечки теста-хлеба снижается. Высокая интенсивность процесса ЭК-выпечки приводит к тому, что ферментативные и микробиологические процессы развиваются в гораздо меньшей степени, чем при традиционной выпечке. Этим и объясняются меньшие изменения в содержании основных компонентов теста в процессе ЭК-выпечки по сравнению с традиционной радиационно-конвективной выпечкой.

Для разработки оптимальной технологии производства хлеба ЭК-способом была проведена серия предварительных экспериментов, показавших, что наибольшее влияние на процесс ЭК-выпечки и показатели качества гото-

Таблица 1. Изменение химических показателей теста-хлеба в процессе ЭК-выпечки (n=6, P=0,95)

Компоненты теста-хлеба	Продолжительность выпечки, мин.				
	0	1,5	3	5	
Белок, % на с. в.	14,61	14,29	13,90	13,65	
Крахмал, % на с. в.	71,81	68,93	67,08	65,36	
Декстрины, % на с. в.	0,82	0,92	1,28	1,3	
Сахара, % на с. в.	общие	5,22	5,02	4,81	4,81
	редуцирующ.	5,04	4,87	4,78	4,70

вых изделий оказывают: массовая доля влаги в тесте, степень разрежения пекарной камеры и объемное напряжение.

Изучение кинетики ЭК-выпечки и результаты предварительных экспериментов позволили разработать параметрическую схему процесса ЭК-выпечки, представленную на рисунке 2.

В качестве возмущающих параметров в схеме использованы технологические отклонения (температуры и продолжительности расстойки, массовой доли рецептурных компонентов и т. п.), качество сырья и теста. В качестве наблюдаемых параметров использовались реологические характеристики, в качестве измеряемых – сила тока и температура теста-хлеба. В качестве управляемых параметров использовались экспертная оценка, пористость, кислотность, влажность, объемный и весовой выход хлеба, энергоёмкость процесса.

В виду большого количества управляемых параметров была разработана комплексная характеристика качества хлеба, включающая все единичные показатели с соответствующими коэффициентами значимости. Пятибалльная шкала, использованная на первом этапе исследований, в ходе экспериментов была уточнена и трансформирована в десятибалльную шкалу перевода отдельных показателей в баллы комплексной характеристики качества хлеба. Комплексный показатель качества включает сумму баллов отдельных показателей качества, умноженных на соответствующий коэффициент значимости: объем-

ный выход на коэффициент 0,3; весовой выход – 0,1; пористость – 0,3; экспертная оценка – 0,2; кислотность – 0,02. Следует отметить, что для установления коэффициентов значимости отдельных показателей, входящих в состав комплексного показателя качества и для экспертной оценки готовых изделий была сформирована группа экспертов, являющихся специалистами в области хлебопечения и знающих особенности приготовления бескоркового хлеба ЭК-способом. Экспертная оценка проводилась методом ранжирования, а для определения суммарной характеристики каждый единичный показатель умножался на соответствующий коэффициент: вкус – 5; консистенция – 2; запах – 1,5; внешний вид – 1,5.

В качестве управляющих параметров процесса ЭК-выпечки использовались объемное напряжение, давление в пекарной камере, продолжительность выпечки и технологические отклонения. Объемное напряжение с одной стороны связывает массу выпекаемой тестовой заготовки, расстояние между электродами и т. д. и подводимое напряжение с другой стороны. Изменение данного параметра можно характеризовать как:

- отношение напряжения к расстоянию между электродами;
- отношение напряжения к объему хлеба;
- отношение напряжения к массе тестовой заготовки;
- отношение напряжения к массе муки на одну тестовую заготовку.

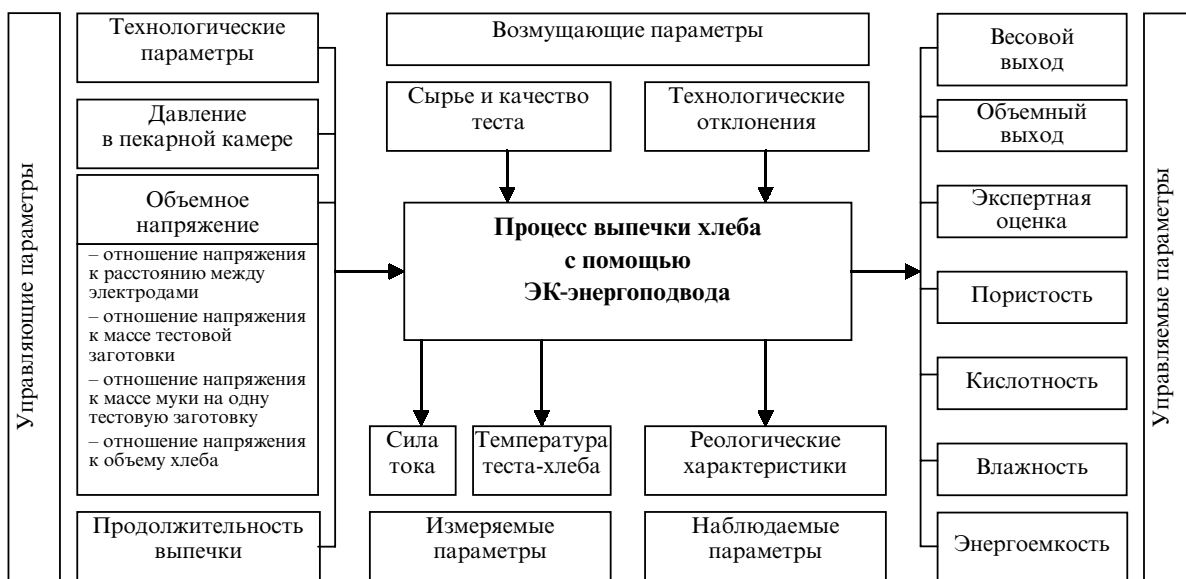


Рисунок 2. Параметрическая схема процесса ЭК-выпечки хлеба

Учитывая результаты проведенных ранее экспериментов, были построены зависимости комплексного показателя качества от данных факторов. В интервале изменения комплексного показателя качества от 7 до 9 баллов были определены коэффициенты корреляции. Установлено, что наиболее тесная связь наблюдается между комплексным показателем качества и параметром, характеризующим отношение напряжения к расстоянию между электродами.

На основе параметрической схемы был составлен и реализован план трехфакторного эксперимента по установлению влияния объемного напряжения (отношение напряжения к расстоянию между электродами), массовой доли влаги в тесте и степени разрежения пекарной камеры на комплексный показатель качества, органолептические свойства – экспертную оценку и объемный выход хлеба. При этом массовая доля влаги в тесте варьировала в пределах от 48 до 56%, объемное напряжение в пределах от 0,89 до 5,07 В/мм и степень разрежения пекар-

ной камеры в пределах от 0 до 40 кПа. По экспериментальным данным построены плоскости равного выхода, из которых следует, что оптимальным является отношение напряжения к расстоянию между электродами 4,86–5,07 В/мм, степень разрежения 32–40 кПа, массовая доля влаги в тесте 54–56%, при этом объемный выход бескоркового хлеба ЭК-выпечки составляет не менее 530%, экспертная оценка – не менее 0,32, комплексный показатель качества (по 10 балльной системе) – не менее 8,5 баллов.

Таким образом, теоретические и практические представления о процессе ЭК-выпечки и результаты исследования ее кинетики позволили разработать параметрическую схему процесса ЭК-выпечки, необходимую для создания системы автоматизированного управления данным процессом. Проведенный на основе этой схемы трехфакторный эксперимент позволил определить диапазон оптимальных значений управляющих параметров, способствующих получению высококачественного продукта.

28.11.2012

Список литературы:

1. Грачев, Ю. П. Математические методы планирования эксперимента / Ю. П. Грачев, Ю. Н. Плаксин. – М.: ДеЛи принт, 2005.
2. Евсюков, В. Н. Системы управления технологическими процессами пищевых производств: учебное пособие / В. Н. Евсюков. – Оренбург: ОГУ, 2010. – 177 с.
3. Пат. 2175839 Российская Федерация, МКИ⁶ А21Д6/00,8/06. Способ выпечки хлеба / В. П. Попов, В. Л. Касперович, Г. А. Сидоренко, Г. Б. Зинюхин; заявитель и патентообладатель Оренбургский гос. университет; заявл. 07.10.99; опубл. 20.11.01, Бюл. № 32. – 4 с.
4. Пат. 2182768 Российская Федерация, МПК А21В1/00,1/22. Устройство для выпечки хлеба / Г. А. Сидоренко, В. П. Попов, В. Л. Касперович, Г. Б. Зинюхин, П. В. Медведев; заявитель и патентообладатель Оренбургский гос. университет; заявл. 12.09.96; опубл. 27.05.02, Бюл. № 15. – 2 с.
5. Сидоренко, Г. А. Исследование особенностей выпечки бескоркового хлеба на основе системного подхода / Г. А. Сидоренко, В. П. Попов, В. Л. Касперович // Вестник ОГУ. – 1999. – № 1. – С. 81–86.

Сведения об авторах:

Краснова Мария Сергеевна, ведущий инженер кафедры пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета, e-mail: Krasnova_MS@mail.ru

Зинюхина Анна Георгиевна, аспирант кафедры пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3215, тел. (3532) 372465

Сидоренко Галина Анатольевна, доцент кафедры технологии пищевых производств
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3106, тел. (3532) 372467

Попов Валерий Павлович, заведующий кафедрой пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3104^А, тел. (3532) 372465, e-mail: ppbt@mail.osu.ru

Зинюхин Георгий Борисович, доцент кафедры пищевой биотехнологии
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 2335, тел. (3532) 372778