

# ПРОЦЕССЫ, АППАРАТЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 621.365:641.5.35; 641.521:641.542.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПЕЧКИ ПОДОВЫХ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ПШЕНИЧНОГО ТЕСТА В ПАРОКОНВЕКЦИОННОМ АППАРАТЕ

*И.М. Кирик, Е.А. Назаренко, А.В. Кирик*

Исследован процесс выпечки тестовых заготовок из пшеничной муки в пароконвекционном аппарате. Определены оптимальные значения технологических параметров выпечки, в результате которых достигаются наилучшие качественные показатели хлебобулочных изделий при минимальных удельных энергетических затратах.

### Введение

В настоящее время на потребительском рынке хлебобулочных изделий наблюдается тенденция падения спроса на сорта хлеба массового производства, в связи с чем хлебопекарные предприятия вынуждены искать пути сохранения объемов производства. Делается это за счет расширения ассортимента выпускаемой продукции, в первую очередь мелкоштучных изделий, выпускаемых в сравнительно небольших количествах.

Для реализации поставленных задач необходимо использование пароконвекционных аппаратов – экономичных, мобильных, малогабаритных. Мобильность и гибкость небольших хлебопекарных и кондитерских производств, оснащенных современным технологическим оборудованием, позволяют оперативно изменять вырабатываемый ассортимент продукции, ориентируясь на вкусы потребителей, что и предопределяет их эффективную работу и позволяет занимать свою нишу на рынке.

В современных литературных источниках [1–5] практически отсутствуют сведения, характеризующие научные представления о процессах, происходящих в хлебопекарных печах ротационного типа и пароконвекционных аппаратах. Эксплуатация этих аппаратов на предприятиях основана на практическом опыте, сформированном при работе с печами тупикового или тоннельного типа. Это не всегда отражает настоящую картину особенностей, возникающих при выпечке в пароконвекционной аппаратуре.

Согласно теории, изложенной Л.Я. Ауэрманом и И.И. Маклюковым [1, 6], наряду с поддержанием оптимальной температуры в пекарной камере на процессы, происходящие при выпечке тестовых заготовок, большое влияние оказывает пароувлажнение греющей среды, которое необходимо осуществлять как в начале, так и в конце выпечки. Кроме того, длительность процесса выпечки обусловлена и многими другими факторами. К ним относятся масса и форма изделия; свойства теста, из которого выпекается изделие; интенсивность тепловой обработки и способ выпечки. Окончание процесса выпечки объективно устанавливается по значению температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки, которая должна составлять 96 °С – 98 °С.

Оптимальные режимы выпечки могут быть установлены лишь с учетом типа и конструкции хлебопекарной печи и вида, формы и массы выпекаемого изделия. Однако результаты исследования процессов, происходящих при выпечке, позволяют отметить некоторые общие положения, характеризующие оптимальный режим радиационно-конвективного процесса выпечки хлебобулочных изделий в хлебопекарных печах с естественным движением греющей среды. Процесс выпечки можно условно разделить на три периода, каждый из которых характеризуется определенными процессами в тесте-хлебе, присущими данному периоду.

В первый период выпечка протекает в течение 2–5 минут при высокой относительной влажности (64–80 %) и сравнительно низкой температуре паровоздушной среды пекарной камеры (120 °С – 160 °С). В этом периоде тестовые заготовки несколько увеличиваются в объеме и нагреваются до температуры 35 °С – 40 °С в центре и 70 °С – 80 °С на поверхности.

Второй период протекает при высокой температуре (270 °С – 290 °С) и его проводят без увлажнения среды пекарной камеры. Поверхность тестовой заготовки в этой зоне нагревается до температуры 100 °С – 110 °С, а центральные слои мякиша – до температуры 50 °С – 60 °С. Эта часть выпечки занимает 15 % – 22 % от общей продолжительности выпекания изделий.

Третий период – это завершающий этап выпечки. Он характеризуется менее интенсивным подводом теплоты (180 °С) и повышением относительной влажности воздуха. Независимо от температуры в камере корка при выпечке хлеба не нагревается выше температуры 160 °С – 180 °С.

Несмотря на то, что современные ротационные печи и пароконвекционные аппараты являются аппаратами периодического действия, с помощью имеющегося в них блока автоматического управления можно практически точно воссоздать технологические параметры, присущие зонам хлебопекарных печей тоннельного и тупикового типов, отличительным фактором может являться лишь скорость движения греющей среды в рабочей камере, достигающая порой 4 – 5 м/с. Данный фактор позволяет значительно интенсифицировать теплообмен и, согласно выдвинутой гипотезе, дает возможность понизить температуру техпроцесса на 20 °С – 30 °С.

Цель работы – определение оптимальных режимов выпечки подовых тестовых заготовок из пшеничной муки в пароконвекционном аппарате для получения готовой продукции высокого качества.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

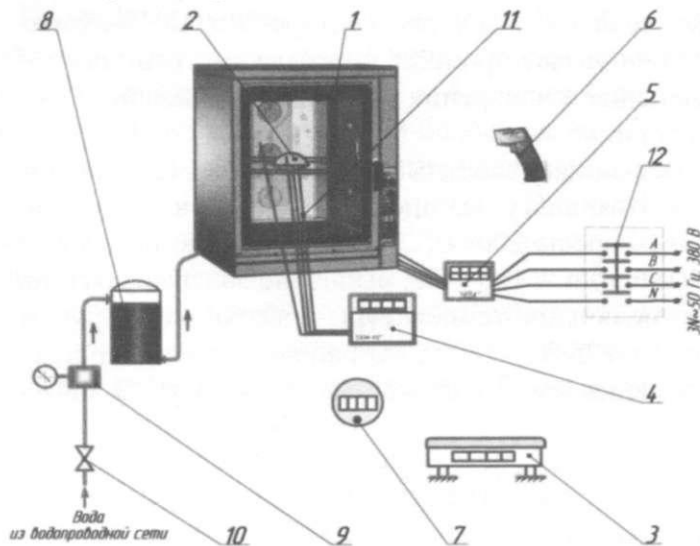
Для исследования температурных полей в выпекаемой тестовой заготовке с целью определения оптимальных технологических параметров выпечки подовых хлебобулочных изделий в пароконвекционном аппарате была создана экспериментальная установка, представленная на рисунке 1.

Основу экспериментальной установки составляет пароконвекционный аппарат 1, который подключался к источнику трехфазного переменного тока через магнитный пускатель 12, счетчик электрический трехфазный 5, а также к заземляющему контуру испытательной лаборатории.

Измерение температур в различных точках тестовой заготовки 2 и в рабочей камере теплового аппарата осуществлялся с помощью хромель-алюмелевых термоэлектрических преобразователей 11 с диаметром термоэлектродов 0,5 мм в кремнеземной оплетке, подключенных к измерителю-регулятору 4 типа «Сосна». Расположение термопар в выпекаемой тестовой заготовке (далее ВТЗ) при измерении температуры в различных ее слоях представлено на рисунке 2.

Температура наружной поверхности выпекаемой тестовой заготовки измерялась с использованием пирометра 6. Масса тестовой заготовки до и после выпечки определялась с помощью весов электронных лабораторных 3. Габаритные размеры тесто-

вой заготовки до и после выпечки измерялись с помощью специального штатива и штангенциркуля. Время проведения эксперимента фиксировалось с помощью счетчика-секундомера 7.



1 – пароконвекционный аппарат; 2 – выпекаемая тестовая заготовка; 3 – электронные весы; 4 – измеритель температуры; 5 – трехфазный счетчик электрической энергии; 6 – пирометр; 7 – счетчик-секундомер электронный; 8 – ионообменная колонка; 9 – клапан редукционный; 10 – кран пробковый; 11 – термоэлектрический преобразователь; 12 – пускатель магнитный

#### Рисунок 1 – Схема экспериментальной установки

Величину упека определяли по формуле, приведенной в источнике [1].

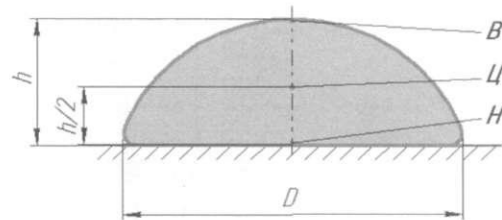
Балльную оценку качества готовых изделий, которая комплексно отражает (в баллах) наиболее важные показатели качества хлеба, определяемые органолептическими и объективными методами анализа и учитывает весомость (значимость) каждого показателя, проводили согласно рекомендациям [7]. Оценку каждого показателя проводили по пятибалльной шкале. Качество хлеба оценивали как сумму баллов всех оцениваемых показателей с учетом коэффициентов весомости каждого показателя.

Для исследования влияния температурных и влажностных характеристик теплоносителя рабочей камеры пароконвекционного аппарата на качество готовых изделий из пшеничного теста проведены 3 серии выпечек из тестовых заготовок круглой формы, приготовленных по рецептуре пшеничного батона «К чаю» массой 400 г:

- 1 этап выпечек проводился без увлажнения греющей среды, диапазон варьирования температуры греющей среды составлял 200 °С – 230 °С;
- 2 этап выпечек проводился при увлажнении греющей среды на протяжении всего периода выпечки при различных температурах. Значения относительной влажности теплоносителя – 45 % и 64 %, температуры – 200 °С – 230 °С;
- 3 этап выпечек проводился при увлажнении греющей среды в I периоде и в III периоде, II период – без увлажнения, при различных температурах.

При проведении первого этапа выпечек принималась следующая температура греющей среды: 200 °С – в опыте 1; 210 °С – в опыте 2; 220 °С – в опыте 3; 230 °С – в опыте 4. Ре-

Оценку органолептических показателей (запах, вкус, цвет мякиша, состояние поверхности корки, структурно-механические свойства мякиша, структуру пористости) определяли по ГОСТ 5667–65. Качество готовых изделий оценивали через 8 часов после выпечки по следующим физико-химическим показателям: влажность, пористость, удельный объем, формоустойчивость, толщина верхней и нижней корки. Влажность определяли по ГОСТ 21094–75, пористость – по ГОСТ 5669-96, удельный объем, формоустойчивость готовых изделий – по методикам, приведенным в источнике [7], толщину верхней и нижней корки измеряли штангенциркулем.



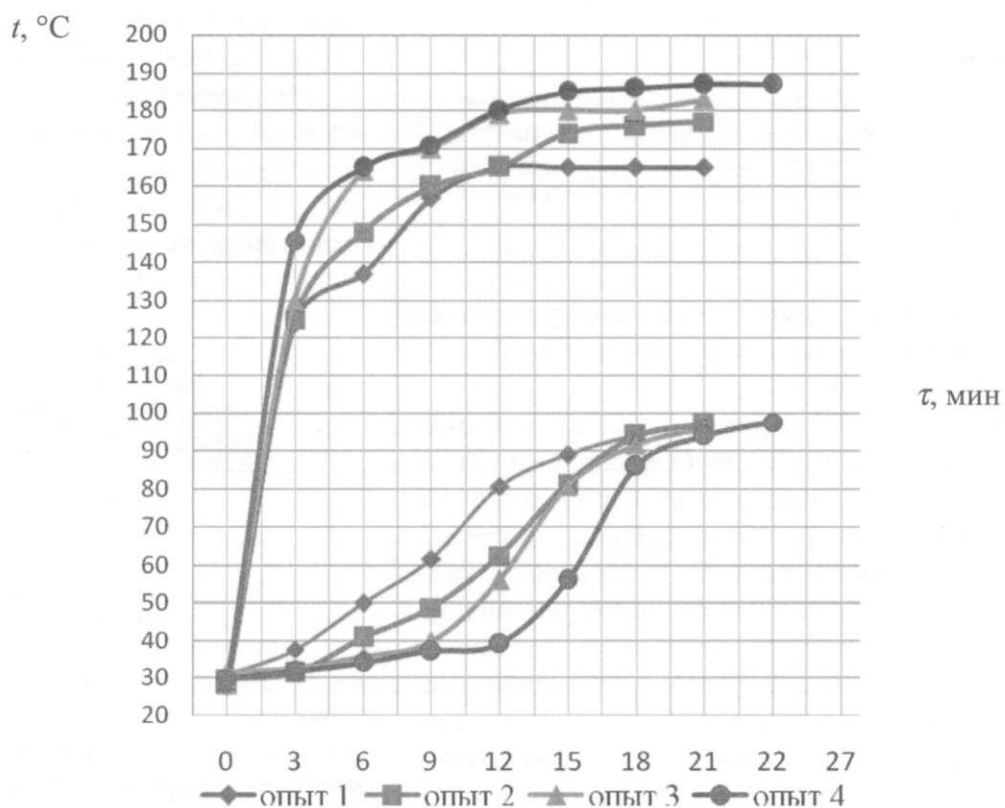
*B* – точка измерения температуры в подкорковом слое; *Ц* – точка измерения температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки; *H* – точка измерения температуры в нижней корке

#### Рисунок 2 – Схема расположения спаев термопар в различных слоях ВТЗ

зультаты первого этапа экспериментов представлены на рисунке 3.

Из представленного графика видно, что скорость прогрева тестовой заготовки неодинакова. Наиболее быстро центральные слои тестовой заготовки прогреваются при температуре греющей среды 200 °С и значительно медленнее при температуре 230 °С. Полученная закономерность может быть объяснена при увязке процесса прогрева внутренних слоев тестовой заготовки с процессами перемещения и испарения влаги из выпекаемой тестовой заготовки и с процессом образования корки.

В неувлажненной атмосфере рабочей камеры поверхностный слой куска теста начинает интенсивно прогреваться, быстро теряя при этом влагу. На рисунке 3 видно, что выпечке тестовых заготовок при температуре греющей среды 200 °С, 210 °С, 220 °С по истечении 2 минут поверхностный слой теста нагревается до 100 °С и выше. Не задерживаясь на этой температуре, происходит дальнейшее увеличение температуры поверхности корки, и через 3 минуты данная температура достигает 125 °С – 130 °С. В рабочей камере, прогретой до 230 °С, температура на поверхности выпекаемой тестовой заготовки через 3 минуты достигает значения 145 °С.



**Рисунок 3 – График изменения температур в центре и на поверхности ВТЗ из пшеничного теста массой 400 г при выпечке без увлажнения греющей среды при разных значениях температуры греющей среды**

Таким образом, увеличение температуры теплоносителя с 200 °С до 230 °С сопровождается более интенсивным прогревом поверхностных слоев. Это приводит к тому, что при повышении температуры теплоносителя в рабочей камере тепловых аппаратов периодического действия с вынужденным движением греющей среды достаточно интенсивно происходит образование на поверхности выпекаемой тестовой заготовки корки, что замедляет процесс прогрева центральных слоев тестовой заготовки.

Согласно литературным данным[1], температура внешних слоев куска теста-хлеба, из которого образуется корка хлеба, при выпечке доходит на поверхности примерно до 180 °С. Данные заключения характерны для печей тоннельного и тупикового типа. В ходе проведенных экспериментальных исследований замечено, что в камере с вынужденным

движением греющей среды при температуре на поверхности выпекаемой тестовой заготовки, превышающей 170 °С, корка приобретает темно-коричневый, горелый вид, а увеличение температуры свыше 180 °С приводит к ее обугливанию.

Из графика видно, что температура 160 °С на поверхности выпекаемой тестовой заготовки достигается в опыте 1 через 9 минут от начала выпечки, в опыте 2 – через 6 минут от начала выпечки, в опытах 3 и 4 – через 4–5 минут выпечки. Установлено, что при увеличении времени выпечки при более высокой температуре греющей среды с целью получения мякиша хлеба с удовлетворительными свойствами образуется излишне темноокрашенная корка (на примере опытов 2 и 3) и характеризуется как горелая корка (на примере опыта 4), что ухудшает потребительские свойства хлеба. Исследования показали, что одновременно увеличивается и упек изделий, что существенно влияет на выход хлеба, уменьшая его. Также необходимо отметить, что с повышением температуры греющей среды увеличивается толщина верхней корки. Так, при температуре выпечки 200 °С толщина верхней корки составила 3,5 мм, а при температуре выпечки 230 °С – 5 мм, т.е. увеличилась на 1,5 мм.

Следует отметить, что через 9 минут выпечки при температуре теплоносителя в рабочей камере 220 °С и 230 °С температура на поверхности выпекаемой тестовой заготовки достигает 162 °С – 164 °С. Согласно теории выпечки[1] при достижении температуры на поверхности корки выше 160 °С процесс меланоидинообразования переходит в процесс обугливания, т.е. корка, не достигнув определенной толщины и прочности, что свойственно первому периоду выпечки, уже начинает «гореть», и изделие теряет товарный вид. Достигнутая на поверхности температура 160 °С и выше продолжает возрастать, одновременно температура в центре мякиша за этот же период времени не превышает 36 °С – 37 °С, что свидетельствует о том, что процессы, связанные с формированием мякиша, находятся в начальной стадии, и консистенция тестовой заготовки в ее центре аналогична тесту. Это противоречие не позволяет, увеличивая продолжительность выпечки, получить хлеб хорошего качества.

Анализируя показатели качества хлеба, можно сделать вывод о том, что на формоустойчивость, запах, разжевываемость и структурно-механические свойства мякиша температура в пекарной камере в пределах исследуемых температур влияния не оказывала. Наиболее существенные изменения фиксировались при оценке окраски корки, отчасти вкуса хлеба и состояния поверхности корки. Окраска корки в процессе выпечки при температуре 230 °С становилась «горелой». Следует отметить, что выпечку пшеничных изделий в промышленных хлебопекарных печах ведут при температуре в пекарной камере 230 °С – 250 °С. Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что выпечка в пароконвекционных аппаратах при высоких температурах (230 °С) приводит к обугливанию поверхности корки, образованию пузырей, некрупных трещин. Увеличение температуры выпечки приводит к ухудшению качества хлебобулочных изделий.

Органолептическая оценка показателей качества показала, что поверхность корки характеризовалась значительной толщиной (до 5 мм) и была матовая, т.е. без глянца. В то же время наличие глянца на поверхности корки значительно улучшает потребительские характеристики изделия.

Известно, что глянец поверхности корки можно достичь путем увлажнения паровоздушной среды пекарной камеры. Таким образом, проведя серию выпечек без увлажнения греющей среды при различных температурах, можно сделать следующие выводы:

- выпечку в тепловых аппаратах периодического действия с вынужденным движением греющей среды следует проводить при температурах не выше 200 °С – 210 °С, что делает процесс менее энергоемким;
- выпечка в неувлажненной среде при высоких температурах приводит к увеличению технологических затрат на упек, т.е. снижает выход готовой продукции;

– выпечка без увлажнения греющей среды при постоянной температуре теплоносителя не способствует образованию глянца на поверхности изделий, что снижает потребительские характеристики готовых изделий.

Учитывая вышесказанное, на следующем этапе исследований изучалось влияние степени увлажнения греющей среды в процессе выпечки.

Значение фактора увлажнения греющей среды теплового аппарата обусловлено тем, что атмосфера пекарной камеры любой производственной хлебопекарной печи всегда в той или иной степени насыщена парами воды в результате испарения влаги из хлеба при выпечке или благодаря дополнительному подводу пара в пекарную камеру. Увлажнение теплоносителя в значительной мере обуславливает упек и прирост объема хлеба в печи, а также характер поверхности корки готового хлеба и даже его форму. Когда в увлажненную и нагретую среду пекарной камеры поступает относительно холодная выпекаемая тестовая заготовка, поверхность которой имеет температуру  $30\text{ }^{\circ}\text{C} - 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  (ниже температуры точки росы), на ней сразу же начинается конденсация пара. Ввиду пористой структуры теста сорбция и конденсация происходят не только на самой поверхности выпекаемой тестовой заготовки, но и в поверхностном слое теста [1]. Помимо влияния конденсации паров на поверхности выпекаемой тестовой заготовки на качество хлеба (объем, форма, характер поверхности корки) существенным является влияние конденсирующегося пара на передачу его теплоты тестовой заготовке, внесенной в печь, а, следовательно, и на ее прогрев. Это обуславливается тем, что при конденсации пара выделяется удельная (скрытая) теплота парообразования.

Второй этап выпечек проводился при увлажнении греющей среды на протяжении всего периода выпечки при различных температурах. Экспериментальные исследования проводились при следующих условиях:

– 1 серия: выпечка при значении относительной влажности греющей среды  $\phi=45\%$  и значениях ее температуры  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;

– 2 серия: выпечка при значении относительной влажности греющей среды  $\phi=64\%$  и значениях ее температуры  $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $220\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Эксперимент показал, что увлажнение греющей среды рабочей камеры теплового аппарата в определенной степени влияет на упек и прирост объема хлеба при выпечке, на качество готовых изделий и характер его корки. Так, например, технологические затраты на упек при выпечке в увлажненной среде снизились на  $4,5\%$  по сравнению с выпечкой в неувлажненной среде пекарной камеры.

Проанализировав полученные в ходе второго этапа выпечек экспериментальные данные, можно отметить следующее. Существенных различий физико-химических показателей качества, таких как удельный объем, формоустойчивость, пористость при выпечке с относительной влажностью греющей среды  $45\%$  и  $64\%$  не наблюдается, лишь незначительно уменьшается толщина верхней корки, причем, чем больше увлажнение среды пекарной камеры, тем тоньше становится корка. Увлажнение греющей среды при выпечке с высокими температурами не снижает интенсивности окраски поверхности корки, и в процессе выпечки при температуре  $230\text{ }^{\circ}\text{C}$  она по-прежнему оставалась «горелой».

Таким образом, изделия, выпеченные в условиях увлажнения греющей среды на протяжении всего периода выпечки, отличаются лучшей окраской корки, состоянием поверхности, хорошей структурой пористости, несколько снижается толщина корки, и значительно снижается упек. Однако даже при сравнительно большом пароувлажнении ( $\phi=64\%$ ) при постоянной температуре на протяжении всего периода выпечки желаемого глянца на поверхности изделия так и не было получено, что повлекло за собой проведение дальнейших исследований – изучение влияния температурных и влажностных режимов в различных периодах процесса выпечки на качество готовых изделий и величину упека.

Продолжительность периодов регламентировали температурой центра мякиша ВТЗ, исходя из теоретических данных [6]. По этим данным температура центра к концу I периода достигала  $35\text{ }^{\circ}\text{C} - 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , II периода –  $80\text{ }^{\circ}\text{C} - 90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , III периода –  $94\text{ }^{\circ}\text{C} - 98\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На

основании теоретических данных и результатов ранее проведенных исследований были выбраны следующие режимы выпечки:

– *1 серия* – увлажнение греющей среды только в I периоде выпечки. Значение относительной влажности теплоносителя составляла 45 %; 64 %; 74 %. Температура на протяжении всего процесса выпечки поддерживалась 210 °С. Эта температура рекомендована как одна из оптимальных температур выпечки изделий из пшеничного теста массой 400 г исследованиями, проведенными на первом этапе работы;

– *2 серия* – увлажнение греющей среды только в III периоде выпечки при тех же значениях относительной влажности и температуры теплоносителя;

– *3 серия* сформировалась на основании проведенных исследований в первых двух сериях выпечек. Режимы выпечек третьей серии следующие: относительная влажность греющей среды в I периоде 45 %; 64 %; 74 %. Температура выпечки в I периоде 140 °С, с последующим повышением ее во II периоде до 200 °С – 210 °С.

Анализ экспериментальных данных показывает, что увеличение степени увлажнения греющей среды при выпечке тестовых заготовок приводит к значительному сокращению I периода. Одновременно в зависимости от степени увлажнения изменяется и длительность II периода выпечки, при котором происходит формирование мякиша хлеба. Установлено, что длительность II периода выпечки как в камере без увлажнения, так и в камере с наибольшим увлажнением 74 % не велика и составляет 3–5 минут. В то же время при увлажнении греющей среды камеры 45 % и 64 % II период увеличивается до 6–9 минут, то есть практически в 2 раза.

I серия выпечек показала, что благодаря увлажнению греющей среды теплового аппарата с вынужденным движением теплоносителя в I периоде выпечки при постоянной температуре 210 °С ускоряется прогрев центра мякиша, сокращается продолжительность процесса выпечки, образуется глянец на поверхности изделия, увеличивается объем готовых изделий, уменьшается упек, уменьшается толщина корок по сравнению с выпечкой в неувлажненной среде. Кроме того, если температура поверхности превышает 160 °С, то верхняя корка начинает гореть. Поэтому температура поверхности в конце выпечки не должна превышать 160 °С. С целью улучшения качества готового изделия предлагается снизить температуру греющей среды в I периоде до 120 °С. Высокая влажность и низкая температура приведут к замедлению образования корки и позволят быстрее прогреться центральным слоям выпекаемой тестовой заготовки. За счет снижения температуры в I периоде предполагается увеличение продолжительности II периода.

2 серия выпечек осуществлялась с увлажнением греющей среды в III периоде, т.е. при достижении температуры в центре выпекаемой тестовой заготовки 90 °С – 95 °С.

Полученные в ходе 2 серии выпечек результаты показали, что увлажнение паровоздушной среды в III периоде практически не влияет на процессы тепло- и массообмена и на продолжительность самого процесса выпечки. Высокое увлажнение (64 % и 74 %), наоборот, ухудшает органолептические и физико-химические показатели качества.

3 серия выпечек сформировалась на основе анализа первых двух и на основе теоретических данных. В результате процесс выпечки разбили на два периода. В каждом из периодов устанавливали определенные режимы выпечки:

– I период – увлажнение греющей среды 74 %, как оптимальное из первой серии выпечек, температура – 140 °С;

– II период – температура греющей среды 210 °С, без увлажнения.

При отмеченных параметрах процесса было получено изделие хорошего качества, с хорошими органолептическими и физико-химическими показателями, но корка имела темно-золотистую окраску. Поэтому было принято решение снизить температуру выпечки во II периоде до 200 °С. В итоге получили изделие с золотистой и подрумяненной глянцево-корочкой, упек при этом снизился.

Полученные результаты проведенных экспериментальных исследований позволяют отметить, что при выпечке хлеба в пароконвекционных аппаратах так же, как и в других



промышленных печах можно выделить периоды выпечки. Регулируя температуру и степень увлажнения греющей среды пекарной камеры, можно управлять процессом выпечки в этих аппаратах и получать качественные хлебобулочные изделия. Целесообразно регулировать параметры паровоздушной среды пекарной камеры в I и II периодах выпечки. Продолжительность III периода настолько мала, что видимых изменений в улучшении качества готовых изделий не наблюдается.

С целью оптимизации режимов и параметров тепловой обработки изделий из пшеничной муки, проверки результатов рассмотренных выше однофакторных экспериментов был использован метод центрального композиционного планирования. В качестве независимых факторов выбрали температуру выпечки ( $t$ , °C) и относительную влажность воздуха в рабочей камере выпечки ( $\varphi$ , %). За основной уровень выбраны значения температуры 200 °C, относительной влажности 54,5 %. Интервал варьирования факторов был принят: для температуры – 180 °C– 220 °C, а для относительной влажности – 45 % – 64 %.

В качестве параметра оптимизации был предложен комплексный показатель ( $K$ ), позволяющий учитывать затраты энергии на процесс выпечки тестовых заготовок (количественная составляющая) и качество хлеба по балльной оценке (качественная составляющая).

Комплексный показатель  $K$  (балл·кг/Дж) определяется расчетным путем по формуле

$$K = \frac{B \cdot 10000}{УЗ} \quad (1)$$

где  $B$  – балльная оценка качества хлеба, балл;

$УЗ$  – удельные энергетические затраты, Дж/кг.

Расчет значений звездных плеч исследуемых факторов, а также анализ полученных экспериментальных данных осуществлялся с помощью пакета программ математической обработки результатов экспериментов «Statgraphics Plus». Была выполнена серия из десяти экспериментов по выпечке тестовых заготовок в пароконвекционном аппарате при полной его загрузке. Рецептура изделий, качество сырьевых ингредиентов, методика замеса и подготовки теста к выпечке для всех опытов была одинаковой.

Результаты опытов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Экспериментальные и расчетные данные комплексного эксперимента

Температура выпечки ( $t$ , °C)	Относительная влажность воздуха в камере выпечки ( $\varphi$ , %)	Удельные энергозатраты, Дж/кг, $УЗ \cdot 10^{-6}$	Балльная оценка хлеба, балл	Значение комплексного показателя, $K$
200	54,5	1,69	89	5,26
180	45,0	1,26	68	5,38
220	45,0	1,29	75	5,81
180	64,0	1,95	75	3,86
220	64,0	1,93	84	4,36
172	54,5	1,45	63	4,33
228	54,5	1,58	75	4,74
200	41,0	1,20	71	5,93
200	67,9	1,82	82	4,51
200	54,5	1,62	89	5,50

В ходе обработки данных было получено следующее уравнение регрессии, описывающее влияние независимых факторов на параметр оптимизации:

$$K = -32,26 + 0,4 t - 0,066 \varphi - 0,001 t^2 \quad (2)$$

Осуществлена проверка адекватности уравнения модели описываемому процессу и оценка значимости коэффициентов уравнения.



Оптимальные значения фактора температуры  $t$  лежат в интервале 200 °С – 210 °С. Фактор  $\phi$  изменяется в области 40 % – 45 %. Эти данные характерны для выпечки в аппаратах, в которых режимные параметры теплоносителя остаются постоянными на протяжении всего технологического процесса.

При обработке экспериментальных данных выявлено, что при температуре выпечки 207 °С и относительной влажности воздуха в рабочей камере пароконвекционного аппарата 41 % обеспечиваются наименьшие энергетические затраты на процесс выпечки без потери качества пшеничного хлеба.

На основании проведенных исследований разработаны и внедрены в производство на ОАО «Гомельский завод торгового машиностроения» и УО «МГЭПТК» рецептуры и технологические карты по производству мучных изделий в пароконвекционном аппарате.

### **Заключение**

На основании проведенных экспериментальных исследований для достижения наилучших показателей качества пшеничных изделий рекомендуются следующие технологические режимы их выпечки в пароконвекционных аппаратах: при выпечке изделий при постоянных параметрах паровоздушной среды рекомендуется температура в рабочей камере аппарата 200 °С – 210 °С, относительная влажность воздуха 40 % – 45 %, время выпечки зависит от массы и формы выпекаемой тестовой заготовки; целесообразно регулировать параметры паровоздушной среды в рабочей камере аппарата в I и II периодах выпечки; для достижения наилучших показателей качества пшеничных изделий рекомендуются следующие режимы выпечки: I период – относительная влажность воздуха 74 %, температура воздуха в пекарной камере 140 °С, продолжительность периода 4–5 минут; II период – температура воздуха в пекарной камере 200 °С без его увлажнения, продолжительность периода зависит от массы и формы выпекаемой тестовой заготовки.

### **Литература**

1. Ауэрман, Л.Я. Технология хлебопекарного производства: учебник / Л.Я. Ауэрман; под ред. Л.И. Пучковой. – 9-е из., перераб. и доп. – СПб: Профессия, 2002. – 416 с.
2. Пашук, З.Н. Технология производства хлебобулочных изделий: справочник / З.Н. Пашук, Т.К. Апет, И.И. Апет. – СПб.: ГИОРД, 2009. – 400 с.
3. Пашенко, Л.П. Технология хлебобулочных изделий / Л.П. Пашенко, И.М. Жаркова. – М.: КолосС, 2008. – 389 с.
4. Брызун, В.А. Теплотехнические аспекты эффективной выпечки пшеничных хлебобулочных изделий / В.А. Брызун, В.И. Маклюков, М.Ф. Бочарников. – Москва: Пищепромиздат, 2004. – 272 с.
5. Брызун, В.А. Новое о закономерностях выпечки хлебобулочных изделий / В.А. Брызун, В.И. Маклюков, М.Ф. Аднодворцев // Кондитерское и хлебопекарное производство. – 2007. – № 5. – С. 4–7.
6. Маклюков, И.И. Промышленные печи хлебопекарного и кондитерского производства. / И.И. Маклюков, В.И. Маклюков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 272 с.
7. Пучкова, Л.И. Лабораторный практикум по технологии хлебопекарного производства. / Л.И. Пучкова. – 4-е изд. – СПб: ГИОРД, 2004. – 264 с.

*Поступила в редакцию 17.10.2014*