

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

Е.И. Верболоз, А.П. Савельев

Практически полностью эффективность производства хлеба и хлебобулочных изделий зависит от организации этапа технологического процесса, отвечающего за термообработку сформованных заготовок. Множество физико-химических процессов протекающих в заготовке хлеба при его выпечке зависит от точности регулирования температуры окружающей среды, как по времени, так и по объему камеры. Понимая это, авторы для модернизации всего процесса выпечки обратили внимание на нагревающие элементы. Большинство применяемых в традиционных конструкциях печей тепловые электронагреватели передают выделяющееся в электрической спирали тепло посредством нагрева слоя промежуточного материала – диэлектрика, обеспечивающего безопасное функционирование всей камеры. Отчасти применение часто массивных керамических деталей необходимо для предотвращения касания витков спирали между собой, чреватого коротким замыканием. Новые электроизолирующие материалы, например, различные виды органосиликатных эмалей позволяют обеспечить электробезопасность нанесением тонкого слоя на токопроводящую подложку. Используя эти свойства, авторы разместили электрическую спираль на основе оригинальной конструкции обеспечивая прямой теплосъем со спирали потоком нагнетаемого воздуха. Проведенные расчеты подтвердили эффективность такой конструкции, поскольку за счет отсутствия нагрева промежуточного изолирующего спираль материала длительность импульса уменьшается в 2 раза, а величина тока примерно в 2,3 раза. Это говорит о значительном повышении мобильности регулирования тепловой обстановки в камере с одновременным снижением энергопотребления.

Ключевые слова: пекарная камера, прогрев, поверхностный слой, влажпроводимость, деформация, припек, скорость производства.

Известно, что процесс выпечки хлеба очень чувствителен к температурно-влажностному режиму среды в печи. Прогрев теста-хлеба, является основной причиной всех процессов и изменений, сопровождающих выпечку хлеба [1]. Тестовые заготовки, имеющие после расстойки температуру около 30 °С, попадая в увлажненную и нагретую паровоздушную среду пекарной камеры, начинают быстро прогреваться. На поверхности куска теста в начальной стадии выпечки конденсируется пар из окружающей среды, ускоряя прогрев теста. Спустя некоторое время температура поверхностного слоя достигает температуры точки росы, соответствующей моменту прекращения конденсации и началу испарения влаги. Испарение происходит при атмосферном давлении, в связи с чем этот слой прогревается до 100 °С и при такой температуре остается до момента, когда влажность его достигнет равновесной. В дальнейшем, до окончания выпечки, температура поверхности изделия будет непрерывно возрастать. Из-за пористой структуры теста испарение влаги из поверхностного слоя происходит не с какой-то ровной плоскости (зеркала испарения, как с поверхности жидкости), а из ограниченного

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 4 2017

объема или зоны, располагающейся под коркой по всему периметру изделия. Влажпроводность теста невелика, поэтому подвод влаги из глубинных слоев теста к зоне испарения отстает от интенсивного обезвоживания, и зона испарения начинает медленно углубляться к центру изделия, в связи с чем, постепенно увеличивается толщина корки. Толщина зоны испарения и всей корки зависит в основном от состояния и размера пор мякиша хлеба [2].

В используемой на ряде предприятий печи ГТ-119м, например, с печи двухниточным цепным конвейером предусмотрены типовые трубчатые нагреватели со спиралью из ни-хромовой проволоки, заключенной в стальную трубу, заполненную магнезитом.

Мощность каждого нагревателя 2,5 кВт, всего в печи имеется 30 нагревателей, и все они разбиты на три группы — по зонам пекарной камеры в соответствии с тепловыми нагрузками. Тепловой режим печи контролируется тремя термопарами и может регулироваться как автоматическим, так и ручным.

В левых и правых боковых панелях печи имеются трубки для крепления и уплотнения электронагревателей и термопар. Количество предусмотренных отверстий в боковых пане-

лях на 8 отверстий больше расчетного количества нагревателей. Эти дополнительные отверстия дают возможность установить в период наладки и доводки печи термопары или дополнительные нагреватели с суммарной мощностью до 15 кВт.

Концы электронагревателей соединяются между собой на наружных боковых панелях. Для удобства обслуживания электронагревателей в боковых ограждениях печи предусмотрены дверцы.

Боковые стенки печи и верхнее перекрытие представляют собой пустотелые металлические панели, заполненные изоляционным материалом – минеральной ватой.

Между ветвями конвейера размещены вытеснительные коробки, которые позволяют создать более гибкую регулировку температуры по зонам выпечки.

Для включения и выключения электронагревателей предусмотрены магнитные пускатели типа ПА второй и третьей величин. Пускозащитная аппаратура (автоматические выключатели, магнитные пускатели) смонтированы в силовом щите, имеющем вводной автомат на рабочий ток 400 А. Принципиальная электрическая схема печи предусматривает две цепи управления: цепь управления температурным режимом печи и цепь управления конвейером печи.

Аппаратура цепей управления и пускозащитная электродвигателей смонтирована в щите управления.

Цепь управления температурным режимом печи состоит из трех одинаковых регулирующих контуров, состоящих из датчиков (термопары марки ТХК-ХЛ1), вторичных приборов (потенциометры марки ЭПВ-2-11А) и исполнительных механизмов (магнитные пускатели серии ПА и ПМЕ).

Питание электронных потенциометров осуществляется током напряжением 127 В от раздельного трансформатора типа ТБС-2 – 0,25. Термопары монтируются на печи в трех зонах и с помощью компенсационного провода марки ХК-КПО соединяются с электронными потенциометрами. Автоматическое и ручное управление температурным режимом осуществляется с помощью универсальных переключателей типа

УП 5311-С23 и УП 5312-ф105, установленных на щите управления. Электронагреватели печи соединены между собой медными проводами сечением согласно передаваемой мощности. Каждый из 30 электронагревателей крепится двумя болтами с гайками.

В соответствии с тепловым расчетом печи пекарная камера разбита на три зоны, в

каждой из которых производится самостоятельное регулирование и контроль температуры. В первой зоне печи нагреватели разбиты на три группы, одна из которых может быть либо включена постоянно, либо выключена или подключена к одной из двух групп, управляемых автоматически. В остальных зонах нагреватели разбиты на две группы.

При температуре в зоне ниже заданной автоматически включаются все нагреватели, после чего при достижении нижнего предела заданной температуры одна из групп отключается, а по достижении верхнего предела – отключается вторая группа и температура начинает падать.

Автоматическое регулирование заданной температуры в пекарной камере печи производится одноточечными автоматически показывающими потенциометрами ЭПВ-2-11А, работающими в комплекте с термопарами марки ТХК-ХШ и градуировки ХК. Потенциометр имеет трехконтактное позиционное регулирующее устройство, состоящее из трех контактных групп и трех профильных дисков. Регулирование пределов измерения температуры производится профильными дисками потенциометра, которые устанавливаются на разрыв контактов.

В начальный момент, когда температура печи равна окружающей среде, нижний и средний контакты должны быть замкнуты. Ручное управление предусматривает два режима работы: слабый нагрев — поворотом рукоятки переключателя влево на 45°, замыкается неподвижный контакт, включаются нагреватели и печь работает в минимальном режиме разогрева; сильный нагрев – поворотом рукоятки переключателя влево на 90°, замыкаются неподвижные контакты, включаются все нагреватели и печь работает в максимальном режиме разогрева.

После разогрева печи до рабочей температуры систему управления печью переводят с ручного режима на автоматический. При этом за 6 – 10 с до достижения заданной температуры отключаются нагреватели, работающие в режиме «Макс». При достижении заданной температуры отключаются нагреватели, работающие в режиме «Мин». Когда температура в зоне падает, нагреватели включаются в обратном порядке. В зависимости от сорта выпекаемых изделий задается требуемая температура по зонам и время выпечки. Температура выпечки устанавливается на верхней шкале потенциометра для каждой зоны. Реохорд потенциометра (средний диск) устанавливается на «0». Требуемая длительность выпечки данного сорта

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ НАГРЕВАТЕЛИ ДЛЯ ВЫПЕЧКИ ХЛЕБА

хлеба устанавливается с помощью реле времени. Первоначально включается автоматический выключатель силового щита (в случае остановки печи автоматический выключатель обязательно должен быть отключен). В щите управления необходимо включить общий выключатель, чтобы загорелись контрольные лампочки, информируя о том, что напряжение на приборы подано. Разогрев печи из холодного состояния до рабочей температуры рекомендуется производить постепенно, увеличивая температуру. Для этого разогрев печи рекомендуется производить при дистанционном (ручном) включении вначале только одной группы электронагревателей (положение II переключателя). При достижении определенной температуры в пекарной камере, включают вторую группу электронагревателей. По мере возрастания температуры в пекарной камере реохорд потенциометра поворачивается. При достижении заданной тем-

пературы в пекарной камере показания температур на шкале реохорда и на неподвижном диске совпадают, необходимо перейти на автоматический режим обогрева печи.

Продолжительность разогрева печи из холодного состояния до рабочей температуры должна быть не менее 2,5 ч. Одновременно с включением электронагревателей необходимо включить в работу конвейер печи.

От удобства и возможности оперативно влиять на температурно-влажностный режим, таким образом, в значительной степени зависит и качество, и себестоимость выпечки хлеба. Представляется, что решение вопроса контролирования режима выпечки в значительной степени зависит от инерционности применяемых в печи нагревателей. Одним из выходов из сложившегося положения является использование нагревателя, схема которого изображена на рисунке 1.

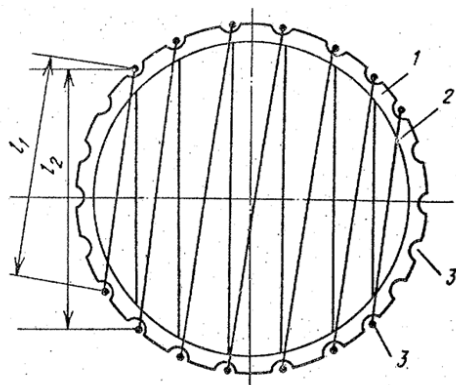


Рисунок 1 – Схема безынерционного нагревателя для выпечки хлеба
1 – корпус; 2 – нагревательный элемент; 3 – выемка

Известны воздушнонагреватели, состоящие из тонкостенной металлической оболочки, выполненной из трубы соответствующего диаметра, внутри которой размещена спираль из проволоки высокого удельного электрического сопротивления. Концы спирали соединены с контактными стержнями, снабженными с внешней стороны контактными устройствами. Между торцом трубы и контактными устройствами установлен изолятор. Свободное пространство внутри оболочки заполнено наполнителем, например периклазом, обладающим высокими диэлектрическими свойствами и имеющим достаточно высокий коэффициент теплопроводности. Наиболее близким к предлагаемому является воздушнонагреватель, содержащий корпус, размещенные в нем электроизолированные стержни, установленные по оси каждого нагревательного элемента, имеющего форму

цилиндрической спирали, и систему подачи воздуха. Недостатком спирального нагревательного элемента является его недолговечность и значительные потери при съеме тепла вследствие того, что витки спирали имеют большую поверхность соприкосновения со стержнями и, соответственно, меньшую поверхность, обдуваемую воздухом. Перспективной, по нашему мнению, является конструкция позволяющая обеспечить увеличение съема тепла с нагревательного элемента и повышение долговечности воздушнонагревателя.

Такой воздушнонагреватель может состоять из теплоизолированного корпуса 1 и нагревательного элемента 2, представляющего собой спираль из проволоки, охватывающую корпус с касанием в точках. При этом корпус 1 выполнен в виде кольца с равномерно расположенными на его поверхности

дугообразными выемками 3, а спираль нагревательного элемента 2 охватывает корпус 1 так, что ее витки проходят через дугообразные выемки 3 кольца и расположены по разные стороны последнего по хордам окружности. Расстояние от плоскости симметрии, делящей кольцо на полукольца, до выемок составляет $(0,10-0,15)(L_1+L_2)$, где L_1 и L_2 - длины хорд, составляющих один виток. Воздухонагреватель работает следующим образом. Воздух поступает в печь под действием системы подачи воздуха, проходя внутри теплоизолированного корпуса 1. На своем пути поток воздуха встречает включенный в электрическую сеть нагревательный элемент 2. отдельные витки которого, размещены в

выемках 3. Имея точечный контакт с корпусом, витки полностью отдают генерируемое тепло воздуху. Несмотря на интенсивный нагрев корпуса и нагревательного элемента 2, надежная теплоизоляция поддерживается слоем изолирующего материала, который сохраняет свою монолитность в процессе теплового расширения витков и кольца, совместность деформаций которых обеспечивается определенным расстоянием между хордами и основной плоскостью симметрии корпуса [3, 4].

Эксплуатационные характеристики такого нагревателя легко определяются, поскольку он включается в сеть с простейшими емкостным и индукционным элементами (рис.2).

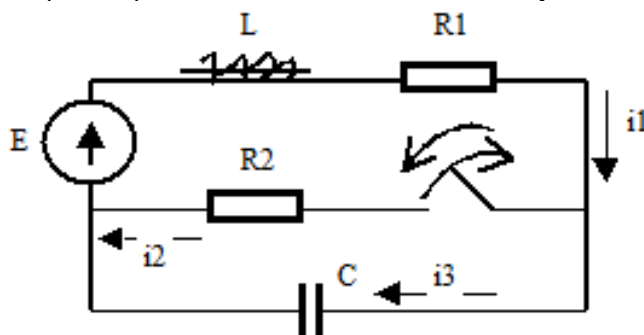


Рисунок 2 – Схема включения нагревателя

Программа, выполненная в пакете Mathcad (рис. 3, 4) позволяет сравнить длительность импульса (скорость срабатывания нагревателя) и величину тока в сети (выделяемую нагревателем мощность) при про-

стом изменении сопротивления регулятора R2 с 10 ом до 30 ом. При таком переключении (по мере уменьшения сопротивления регулятора) длительность импульса уменьшается в 2 раза, а величина тока примерно в 2,3 раза.

$$\text{Given } L \cdot C \cdot \frac{d^2}{dt^2} U(t) + \left(R1 \cdot C + \frac{L}{R2} \right) \cdot \frac{d}{dt} U(t) + \left(\frac{R1}{R2} + 1 \right) \cdot U(t) = E$$

$$U(0) = 0 \quad U'(0) = E$$

$$U := \text{odesolve}(t, t1, 1000) \quad t := 0, \frac{t1}{100} \dots t1$$

$$i_c(t) := C \cdot \frac{d}{dt} U(t) \quad i1(t) := i_c(t) + \frac{U(t)}{R2} \quad i2(t) := \frac{U(t)}{R2}$$

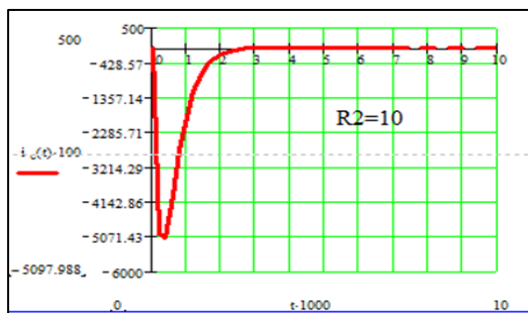


Рисунок 3 – Профиль импульса (срабатывания нагревателя) при R2=10

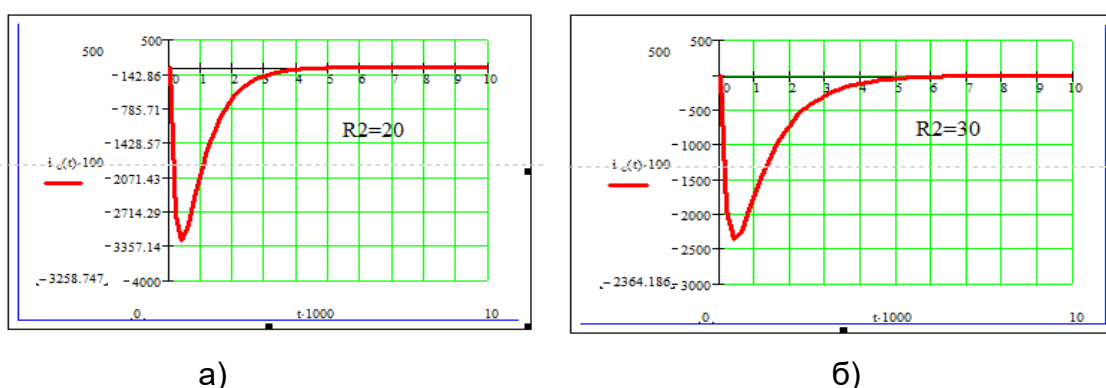


Рисунок 4 – Профили импульса при $R2 = 20$ (а) и $R2 = 30$ (б)

Еще более эффективным управление становится при одновременном изменении индуктивности включенного в сеть второго регулятора.

Выполненный расчетно-графический анализ подтверждает эффективность использования безинерционного нагревателя предложенной конструкции для повышения качества и снижения себестоимости выпекаемого хлеба. Дополнительная возможность изменения влажно-температурного режима в печи в процессе выпечки обеспечит уменьшение припека и повысит скорость получения готового продукта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Романчиков С.А. Инновационные решения в сфере производства продукции агропромышленных предприятий [Текст] / А.А. Сычев, С.А. Романчиков // Сборник научной конференции с международным участием «Неделя науки в СПбГУ» (Санкт-Петербург 14-19.11.2016 г.)- ч. 1 СПб.: Издво «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» 2016. С. 61-63.
2. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопекарного производства: Учебник. — 9-е изд.; прераб. и доп. / Под общ. ред. Л. И. Пучковой. — СПб: Профессия, 2005. - 416 с.,
3. Косован А. П., Полторак М. И., Торкунова Т. В. Технологическое оборудование хлебопекар-

ных предприятий. — М.: ГосНИИХП, Рос. союз пекарей; 2000. - 243 с.

4. Алексеев Г.В., Мосина Н.А. Абразивная обработка картофеля и овощей с дискретным энергоподводом. Монография / Саратов, 2013.

5. Матвеева И. В., Белявская И. Г. Биотехнологические основы приготовления хлеба. — М.: Делпринт, 2001. - 257 с.

6. Алексеев Г.В., Егошина Е.В., Аксенова О.И., Пучков В.Ф. Особенности динамического сегментного анализа рынка продуктов питания. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. 2016. № 1. С. 10-19.

Верболюз Елена Игоревна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой Процессы и аппараты пищевых производств, Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики. 197101, г Санкт-Петербург, пр-т Кронверкский д. 49, Россия, elenaverboloz@mail.ru, тел 8-921-310-67-00.

Савельев Алексей Петрович, слушатель Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В. Хрулева.199034, Санкт-Петербурге, наб. Макарова д.8. saveleva-aleksey1983@gmail.com, тел 8-911-907-49-11.