

УДК 621 57 048 982

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СКОРОТЕЧНОГО ПРОЦЕССА ВАКУУМНО-ИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Галаган Т.В., Киевцев И.А., Сурков С.А., Долягин В.А., Средних М.Е.

Орловский государственный технический университет, г. Орел

Тел. +7 (486-2) 55-11-87 E-mail: kievcev@mail.ru, multik@orel.ru

Аннотация. Новыми явлениями, реализующимися в исследуемом процессе, являются парообразование в каждом элементарном объеме охлаждаемого влажного изделия в камере охлаждения, выравнивание вакуума внутри изделия, передача влаги из центральных слоев изделия периферийным. Возможны также поправки известных зависимостей температуры насыщенных паров и их давления в исследуемых изделиях, связанные с динамическими процессами, капиллярными и поверхностными эффектами. Поэтому в экспериментах специально предусматривалась оценка влияния этих новых явлений на процесс вакуумно-испарительного охлаждения.

Ключевые слова: вакуум, испарение, скорость, пищевой продукт, измерение, LabVIEW

Постановка задачи

Основной методической проблемой постановки экспериментальных исследований является выбор способа подтверждения адекватности теоретических представлений о процессе вакуумно-испарительного охлаждения.

Часть этих представлений в достаточной мере апробирована фундаментальными науками. В частности, не подлежат сомнению: связь давления насыщенных паров и температуры воды; особенности вакуумирования замкнутых объемов и связь изменения давления в них с производительностью насоса и объемом камеры.

В связи с этими соображениями адекватность теоретических моделей практически проверялась сравнением расчетных и экспериментальных зависимостей изменения по времени давления в камере и температуры периферийных и глубоко расположенных слоев охлаждаемого изделия.

Задачами экспериментального исследования являлись: определение влияния различных факторов на конечную температуру и продолжительность охлаждения хлебобулочных изделий; выбор наиболее значимых факторов, влияющих на продолжительность вакуумно-испарительного охлаждения и конечную температуру охлаждаемых продуктов в реальных условиях.

Планирование эксперимента предусматривало выбор числа и условий проведения экспериментов, достаточных для выполнения поставленных задач. Все множество факторов (рис.1,а), определяющих процесс вакуумно-испарительного охлаждения хлебобулочных изделий, разделено на три группы: *контролируемые управляемые переменные* x_1, x_2, \dots, x_n , которые изменяются в процессе экспериментирования в соответствии с принятым планом. К ним относятся скорость вакуумирования камеры, масса и форма охлаждаемых изделий, объем камеры охлаждения, температура стенок камеры; *контролируемые неуправляемые переменные* z_1, z_2, z_n это температура корочки и мякиша изделия, их влажность; *неконтролируемые возмущения* k_1, k_2, \dots, k_n это степень герметичности системы, вибрации установки, излучательная способность стенок камеры. А как обобщающей целевой функцией Y принят темп охлаждения хлебобулочного изделия до заданной температуры.

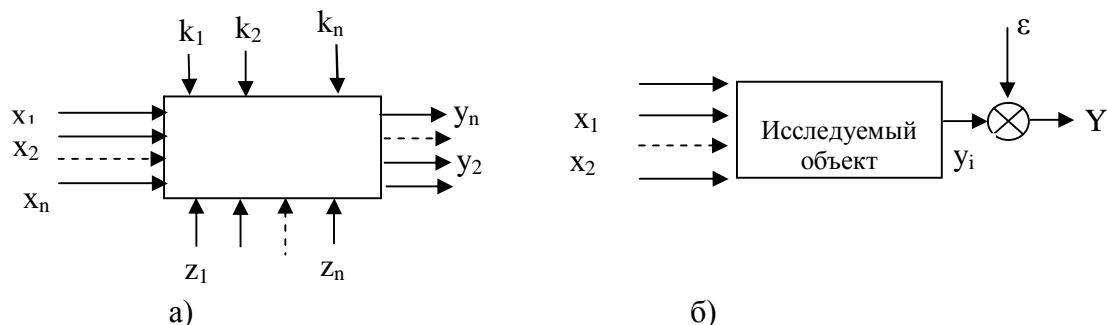


Рисунок 1 – Структурное представление объекта исследования

На рисунке 1 б дана преобразованная схема объекта исследования с целевой функцией Y равной $Y = y_i + \varepsilon_i$; где y_i – истинное значение выходной функции в этом эксперименте; ε – аддитивная помеха, соответствующая i – му эксперименту, образованная за счет суммарного действия неуправляемых переменных.

Предполагается, что зависимость: $y_i = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, «гладкая» и может быть разложена в ряд Тейлора, а помехи ε – независимые случайные числа, подчиняющиеся нормальному распределению с двумя первыми моментами: $M(\varepsilon) = 0$ и $\sigma_\varepsilon^2 = \text{const}$.

Демонстрация возможностей процесса вакуумно-испарительного охлаждения может быть осуществлена только прямым его воспроизведением на экспериментальном образце действующего оборудования. В соответствии со структурной схемой действующих факторов экспериментальное оборудование позволяет изменять и контролировать скорость вакуумирования камеры, массу и форму охлаждаемых изделий, объем камеры охлаждения и температуру стенок камеры; измерять неуправляемые переменные факторы – температуру корочки и мякиша изделия, их влажность; уменьшать влияние таких неконтролируемых возмущений, как герметичность системы, уровень вибрации установки, передачу теплоты от стенок камеры.

В качестве выходных функций контролировались изменения по времени давления в камере, температуры мякиша и корочки изделия и изменение массы охлаждаемого изделия.

Такого рода эксперименты требуют большого объема измерений различных по своей природе параметров. Подобное усложнение задачи экспериментального исследования приводит к необходимости применения достаточно сложных систем сбора и представления данных, специальных алгоритмов их обработки, а при осуществлении её в реальном режиме времени – к повышенным требованиям к скорости измерений. Скорость измерений должна обеспечивать несколько сотен измерений в минуту. Такие системы были реализованы на базе современных компьютерных систем измерения, сбора и обработки результатов измерений National Instruments.

С учетом специфики планируемого экспериментального исследования измерение каждого из названных ранее параметров предполагает использование своей методики. Наиболее сложными в эксперименте являются непрерывные измерения вакуума, изменения массы и температуры. Места измерения выбраны так, чтобы они наилучшим образом характеризовали исследуемый процесс вакуумного испарения и температурное поле внутри охлаждаемого изделия.

В соответствии с таблицей давлений насыщенного водяного пара при различных температурах для охлаждения влагосодержащих изделий до 2°C необходимо создавать абсолютное давление в камере охлаждения, равное $705,5$ Па. Однако, параметры должны выбираться с запасом. Поэтому необходимое предельное давление, создаваемое насосом, выбирается не выше 610 Па, или 6 мбар. Сама система измерений представляла из себя: многоканальная компьютерная система сбора, обработки и представления данных выполнена на основе персонального компьютера Intel Quad Core Intel Core 2 Quad Q6600, 2400 MHz (9×267) с объемом оперативной памяти 2048 Mb, с конфигурацией АЦП и согласующих устройств

SXCI 1000 по рекомендации компании «National Instrument». Кроме того, включала в себя: измерительный преобразователь давления JUMO dTRANS p02 Тип 404385, цифровые термометры Dallas semiconductor DS18201– WireTM, датчик усилий работающий, по тензометрическому принципу.

Блок-схема системы измерений приведена на рисунке 2. Как показано на схеме, аналоговый сигнал поступает с первичных приборов на многоканальный аналого-цифровой преобразователь, где превращается в цифровой код, затем фильтруется от случайных помех и по заданному алгоритму преобразуется в цифровой сигнал, соответствующий измеряемой величине в выбранной системе единиц. Достоинством разработанной системы измерения является возможность обработки поступающей информации в режиме реального времени, проведение преобразований и нормирование величин, а также использование различных способов представления и регистрации данных. Приведем примеры этапов эксперимента и их влияние на конечные результаты и выработку рекомендаций по организации и проведению дискретного производства хлебобулочных изделий на основе использования вакуумно-испарительного охлаждения. Так с помощью графика на рис.3, были сделаны выводы о многоступенчатом вакуумировании камер, приспособленных для охлаждения пищевых продуктов. Из-за различной газопроницаемости корочки и мякиша пары, образованные при кипении, отрывают корочку хлебобулочного изделия. Разрывы возникают при резком уменьшении давления в начальный период вакуумирования. Если разделить график на рис. 3 на три этапа, то можно увидеть три рекомендуемых момента постепенного увеличения производительности насосов, соответствующие моментам времени: А – начало вакуумирования, в этот период рекомендуется выводить насосы на производительность 50% от максимальной; В – конец первого периода откачивания, С– период максимальной производительности насосов.

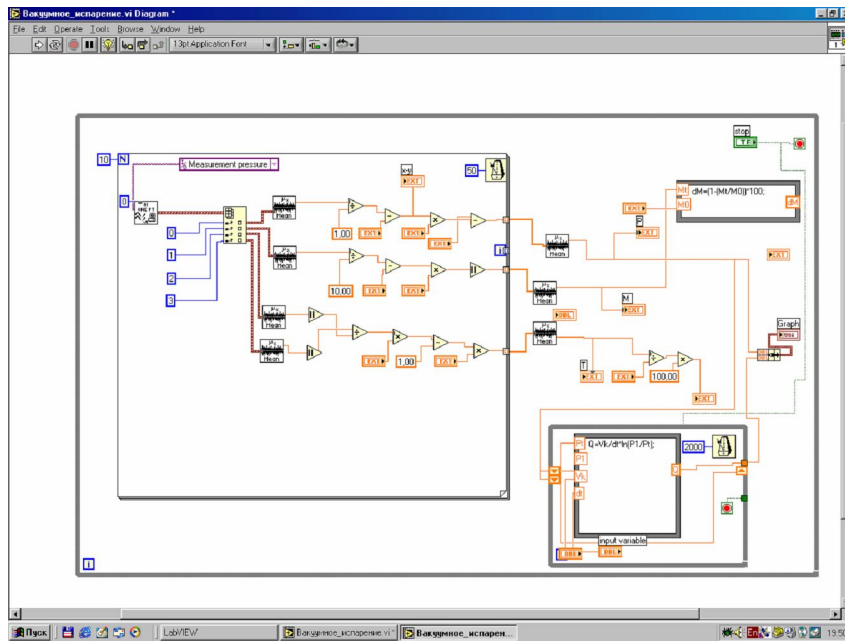


Рисунок 2– Блок-схема системы измерений

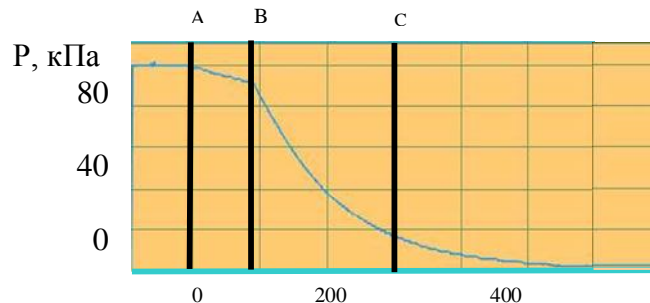


Рисунок 3 – Изменение давления в камере при вакуумировании

Известно, что длительность вакуумирования герметичных емкостей при постоянной скорости откачки прямо пропорциональна их объему:

$$\tau = \frac{V_K}{Q} \ln \frac{P_K}{P_\tau}$$

Блок-схема системы измерений была изменена таким образом (рис. 4), что сигнал, поступающий от датчика давления, непрерывно дифференцировался по времени, обрабатывался по указанному на схеме алгоритму и регистрировался одновременно с самим давлением:

$$Q = \frac{V_K}{d\tau} \ln \frac{P_K}{P_\tau}$$

По полученным данным строилась зависимость $Q = f(\tau)$ (рис.5). Благодаря которой можно было видеть, что скорость откачки постепенно увеличивается с момента пуска насоса,

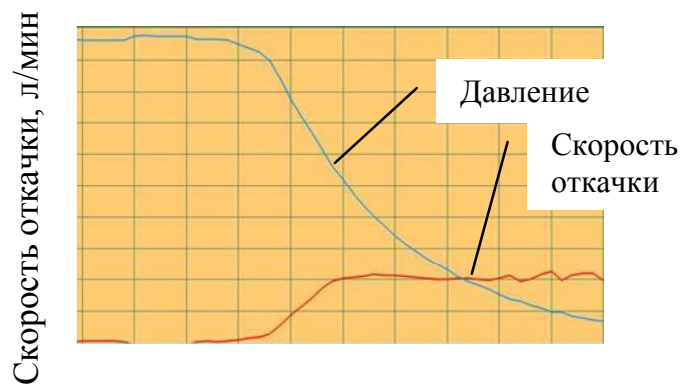


Рисунок 5 – Зависимость скорости откачки и давления в камере от времени вакуумирования

достигает значения 0,2 л/мин и далее остается практически постоянной. Были проведены многочисленные серии экспериментов, обработка которых позволила сделать следующий очень важный вывод: *процесс происходит одинаково во всем объеме охлаждаемого изделия*, что и было заложено в физическую и математическую модели процесса; так же стало известно, что конечная температура изделия равная 2°C и достигалась 350...450 с, примерно в 10 раз быстрее, чем при поверхностном конвективном охлаждении. Было выведено уравнение, описывающее процесс вакуумно-испарительного охлаждения:

$$\frac{T}{T_0} = e^{-0,0084 \cdot \tau}$$

Приведенные экспериментальные данные демонстрируют возможность использования вакуумно-испарительного охлаждения хлебобулочных изделий в процессе дискретной выпечки хлебобулочных изделий с промежуточным охлаждением полуфабрикатов. Наиболее эффективными факторами регулирования конечной температуры и продолжительности охлаждения являются: производительность вакуумного насоса и температура ограждений камеры охлаждения.

Выводы и объем выполненных измерений позволяет утверждать, что получить их можно было, только используя систему измерений NI.

Литература

1. Галаган Т.В. Совершенствование процесса вакуумно-испарительного охлаждения хлебобулочных изделий. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 2003 г., 149 с.
2. Малахов Н.Н. Процессы и аппараты пищевых производств /Плаксин Ю.М., Ларин В.А.– Орел:Изд.-во ОрелГТУ, 2001.– 686с.
3. LabVIEW: практикум по основам измерительных технологий ./Н.Тревис, А.Я. Суранов, В.П.Бытоврин. Издательство ДМК. 2007 г. ISBN
4. Теплотехнический эксперимент. Справочник./ Под ред. В.А.Григорьева, В.М.Зорина.– М: Энергоиздат, 1982.–510 с.