

5. Курик М.В. О фрактальности питьевой воды («Живая вода»). Физика, сознание и жизнь. Космология и астрофизика. 2002, №3. - с.45-48.
 6. Курик М.В. Мицеллярность и фрактальные кластеры биологических структур. Изв. АН СССР, сер. физ. 1991. 55(9). - с.1798.

УДК 664

БЕРНИК М.П., канд. техн. наук, доцент
 Технический университет Молдовы, г. Кишинев
СУШКА ЯДЕР МИНДАЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ
ПОДВОДЕ Т.В.Ч. ЭНЕРГИИ

В работе исследована кинетика процесса сушки ядер миндаля при импульсном подводе токов высокой частоты. Проведенные исследования доказали, что при данном методе подвода энергии увеличивается одна из движущих сил процесса сушки – значение градиента температуры. Это позволило интенсифицировать процесс сушки ядер миндаля на 19,6 %, при этом расход энергии сократился на 21,8 %.

Ключевые слова: сушка, ядра миндаля, токи высокой частоты, тепло- и массообмен, импульс.

We studied the kinetics of the drying process of almond under impulses of high frequency currents. Studies have shown that this method of energy supply increases one of the driving forces of the drying process - the value of the temperature gradient. This allowed us to intensify the drying process of almond by 19.6%, while energy consumption decreased by 21.8%.

Keywords: drying, kernels of almond, currents of high-purity, teplo- and mass-transfer, impulse.

Введение. Исходя из Национальной Программы развития ореховых культур до 2020 г. [1], в Молдове предусматривается закладка 10,1 тыс. гектаров садов миндаля адаптированных к местным условиям. Особую значимость для национальной экономики составляет не только производство, но и переработка сырья с целью получения готовой продукции.

Ключевая технологическая операция переработки миндаля и увеличения сроков хранения является сушка, которая, как правило, сопровождается большими энергозатратами. Интенсификация данного процесса, может быть с успехом реализована на базе использования высоких температур полученных под действием различных полей – конвекции или Т.В.Ч. [2, 3]. Однако, учитывая, что ядра миндаля содержат жирные кислоты, имеющие высокую пищевую ценность, очень чувствительные к воздействиям высоких температур, такой метод интенсификации нежелателен.

Анализ теории тепло- и массообмена выявил, что для интенсификации процесса сушки, с одновременным уменьшением энергетических затрат, может быть использован источник тепла работающий в импульсном режиме подвода энергии. Это позволит существенно увеличить значения одной из движущих сил процесса сушки – градиента температуры ∇T при сравнительно низком температурном воздействии на продукт.

Материалы и методы. В представленной работе дан анализ кинетики процесса сушки ядер миндаля с использованием внутреннего источника тепла – электромагнитного поля высокой частоты (Т.В.Ч.). Изучался непрерывный подвод энергии и периодический, в форме импульсов, имеющих активный период нагрева и пассивный, релаксационный период (отключенный источник тепла).

Были исследованы ядра миндаля сорта «Победа» с начальной влажностью 26,9 %. Ядра миндаля калибровались и были использованы только со средними размерами (длина 25 ± 2 мм, толщина – 8 ± 1 мм).

Сушка проводилась на лабораторной установке,

которая позволяла использовать различные методы энергоподвода: конвекция, в поле Т.В.Ч. и комбинированный – посредством конвекции и поле Т.В.Ч.

В процессе сушки, в режиме Onlines регистрировались на ПК убыль массы (с помощью электронных весов SC-132), температура сушильного агента (посредством термомпары) и температура на поверхности и в центре слоя продукта (термометром сопротивления типа Nc W-1.617).

На базе экспериментальных данных были получены кривые сушки, кривые скорости сушки, зависимость средней температуры продукта и градиента температуры как функции от времени.

Результаты и их обсуждение. С целью изучения эффективности воздействия электромагнитных полей в процессе сушки ядер миндаля, была исследована кинетика процесса сушки, как в непрерывном, так и в импульсном режиме.

Для оптимизации импульсного режима были получены уравнения для расчета активного и пассивного периодов каждого импульса как функции от основных параметров процесса сушки: напряженность электромагнитного поля, температуры продукта и среды, а также от изменения электрофизических и теплофизических свойств продукта [4]:

$$\tau_A = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{c\rho x}{Q_V} \nabla T = \frac{\alpha}{\lambda} \cdot \frac{c\rho d}{2Q_V} (T_{II} - T_C), \quad (1)$$

$$\tau_P = \frac{x^2}{2a_p} = \frac{d^2 II}{8a_p}, \quad (2)$$

где τ_a – активный период времени импульса, с;
 α – коэффициент теплообмена, Вт/м²·К;
 λ – коэффициент теплопроводности, Вт/м·К;
 d – характерный геометрический размер, м;
 Q_V – мощность внутреннего источника тепла, Вт/м³;

T_{II} – температура поверхности материала, К;

T_C – температура сушильного агента, К.

τ_p – пассивный период времени импульса, с;

d_{II} – толщина слоя материала, м;

a_p – молярный коэффициент диффузии, м²/с.

Используя энергию Т.В.Ч. в импульсном режиме с параметрами импульса, рассчитанные по формулам (1) и (2), можно добиться максимальных значений ∇T для всего процесса сушки.

Кинетика процесса сушки исследовалась при температуре сушильного агента 20 °С, для которой, при использовании Т.В.Ч. в непрерывном режиме был получен минимальный расход энергии по сравнению с более высокими температурами.

Напряженность электромагнитного поля была рассчитана по формуле (3) [4]

$$E = \sqrt{\frac{\alpha(T_{Ц} - T_{С})}{0.555 \cdot 10^{-6} \cdot f \cdot k \cdot d_{П} \left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} d_{П}\right)}}, \quad (3)$$

где $T_{Ц}$ – температура в центре слоя продукта, К;
 f – частота электромагнитного поля, Гц;
 k – фактор потерь ($tg \delta \cdot \epsilon'$).

Расчет проводился из условия, чтобы ∇T получил максимальные значения при средней температуре продукта в 93 °С, в соответствии с рекомендациями Министерства сельского хозяйства США совместно с Ассоциацией производителей миндаля штата Калифорния [5]:

Для получения максимальных значений градиента температур при данном режиме, согласно формуле (3) напряженность электромагнитного поля составила 44.0 кВ/м.

Кривые сушки ядер миндаля $W = f(\tau)$ при обезвоживании в поле Т.В.Ч. в импульсном (кривая 1) и непрерывном (кривая 2) режимах показаны на рис. 1. Графический характер кривых сушки в импульсном режиме, в основном, соответствует кривым сушки полученным при непрерывном подводе энергии Т.В.Ч. с некоторым отклонением по времени. Это еще раз доказывает правильность теорий выдвинутых А.В. Лыковым, А.С. Гинзбургом, В.В. Красниковым, М.А. Гришиным и др. [2, 3], причем характер кривых во многом зависит от физико-механической структуры продукта и от форм связи влаги с материалом. В тоже время, на кривых сушки (увеличенный масштаб) хорошо видны участки подвода энергии (линия с большим углом наклона) и участки релаксации (с меньшим углом наклона).

Из графиков видно, что при воздействии внутреннего источника тепла в импульсном режиме, продолжительность процесса по сравнению с использованием Т.В.Ч. при постоянном режиме уменьшилась на 19,6 % и составило 118,3 мин.

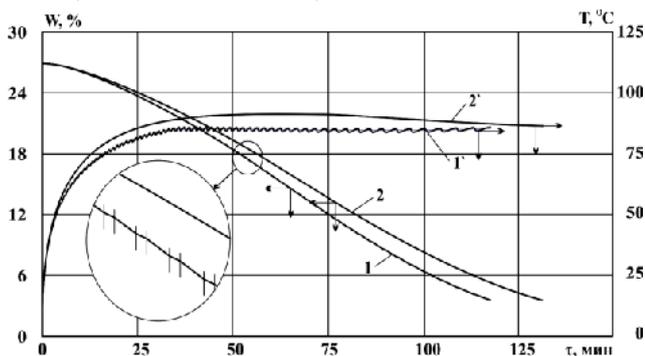


Рис. 1. Кривые сушки и температуры при сушке ядра миндаля с использованием энергии Т.В.Ч. в импульсном (кривые 1 и 1') и непрерывном (кривые 2 и 2') режимах

На кривых сушки в импульсном режиме хорошо просматривается некоторая волнистость (увеличенный масштаб) с появлением экстремумов. Это указывает на то, что в момент отключения источника тепла происходит переориентация форм сопротивления тепло- и массопереносу в сторону их уменьшения, что благоприятствует перемещению влаги.

Там же, на рис. 1. (кривые 1' и 2'), представлен характер изменения температуры ядер миндаля в течение процесса сушки. Как видно из графиков, в обо-

их режимах, с ростом продолжительности сушки увеличивается и температура продукта до(3) достижения какого-то максимального значения. Полученное максимальное значение температуры зависит от напряженности электромагнитного поля, теплофизических и электрофизических свойств продукта и от способа подвода энергии. При непрерывном подводе энергии (кривая 2') и напряженности электромагнитного поля 44,0 кВ/м температура продукта составила 91,3 °С. В импульсном режиме температура составила 85,2 °С (кривая 1'). При этом продолжительность роста температуры составила 34 мин. В дальнейшем, для обоих методов подвода энергии, температура продукта, в основном, оставалась постоянной. Вся энергия подводимая к продукту расходовалась на испарение свободно связанной влаги и на преодоление сопротивлений ее перемещения по капиллярам к внешним слоям. Все же, для случая непрерывного подвода энергии, наблюдается уменьшение температуры на $\approx 5\%$. Уменьшение температуры продукта при непрерывном нагреве, объясняется ростом затрат на разрыв химических и механических связей влаги со скелетом продукта и на сокращение количества тепла выделяющейся в продукте в связи с уменьшением количества полярных молекул воды [6]. При импульсном нагреве уменьшение температуры продукта практически исчезает. Это объясняется более равномерным перераспределением влаги в периодах релаксации (отключение источника тепла). Одной из основных движущих сил процесса сушки является градиент температуры. На рис. 2 представлены зависимости значений градиента температуры от продолжительности сушки для исследуемых режимов.

Из графиков видно, что при непрерывном использовании Т.В.Ч., градиент температуры растет до определенного максимального значения (для $E=44$ кВ/м $\nabla T_{\max} = 5,4$ °С/м), затем падает (в нашем случае до 0,5 °С/м). При импульсном подводе энергии скорость падения градиента температур значительно меньше, чем при непрерывном подводе тепла, выраженные соответственно 0,074 °С/(м·мин) и 0,22 °С/(м·мин). Эта зависимость говорит о том, что градиент в первом случае в три раза больше сохраняет свое максимальное значение.

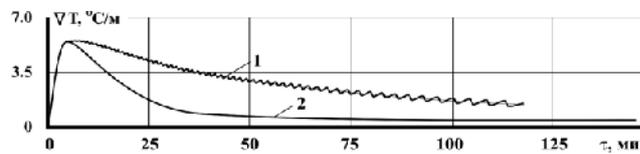


Рис. 2. Зависимость градиента температуры от продолжительности сушки ядра миндаля с использованием энергии Т.В.Ч. в импульсном (кривая 1) и непрерывном (кривая 2) режимах

На рис. 3. представлена зависимость продолжительности активных и пассивных периодов импульса подвода Т.В.Ч. энергии от продолжительности процесса сушки. Из графиков видно, что в случае постоянной напряженности поля ($E=44,0$ кВ/м), как активный, так и пассивный периоды импульса увеличиваются. Более того, активная составляющая импульса растет быстрее пассивной.

Рост активного периода импульса в процессе

сушки является результатом сокращения количества влаги, а значит и количества выделяемого тепла в единице времени под воздействием поля Т.В.Ч. Продолжительность пассивного периода импульса растет за счет уменьшения теплопроводности высушиваемого продукта [7].

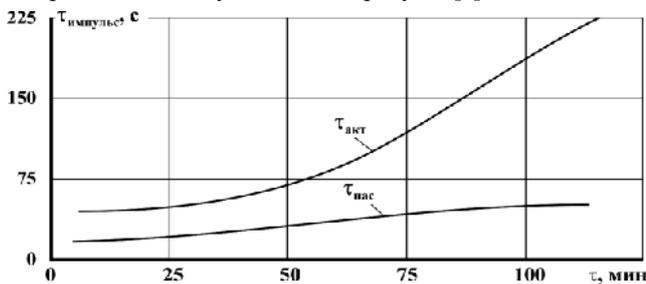


Рис. 3. Зависимость изменения активного ($\tau_{акт}$) и пассивного ($\tau_{пас}$) продолжительностей периодов импульса подвода Т.В.Ч. энергии при сушке ядер миндаля в импульсном режиме

Использование энергии Т.В.Ч. в импульсном режиме позволило уменьшить общее время термической обработки ядер миндаля в 0,73 раза или на 61 мин. (суммарное время всех периодов отключения поля в течении процесса сушки).

На рис. 4. отражены кривые скорости сушки ядер миндаля с использованием Т.В.Ч. в импульсном (кривые 1 и 2) и непрерывном (кривая 3) режимах.

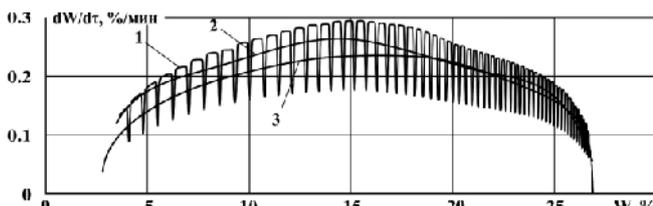


Рис. 4. Кривые скорости сушки ядер миндаля: 1 – импульсный подвод энергии Т.В.Ч.; 2 – регрессия функции 1; 3 – непрерывный подвод энергии Т.В.Ч.

Из рисунка видно, что кривая скорости сушки при импульсном режиме (кривая 1), в основном имеет ту же форму что и кривая скорости сушки при непрерывном

подводе энергии (кривая 3), но ей присущ осциллирующий характер. Экстремальные максимумы осцилляторов (импульса) соответствуют активному периоду, а экстремумы минимума – пассивному периоду. Таким образом, максимальная скорость сушки в активных периодах составила 0,219 %/мин. а в пассивных периодах 0,176 %/мин. По отношению к максимальной скорости сушки при непрерывном режиме наблюдается увеличение на 24 % в активном периоде и уменьшение на 25 % в пассивном периоде.

Сравнительный анализ расхода удельной энергии в процессе сушки ядер миндаля в поле Т.В.Ч. в импульсном режиме по сравнению с непрерывным показал уменьшение от 0,76 кВт/кг до 0,51 кВт/кг, что составляет 21,8 %.

Такое снижение затрат энергии связано с уменьшением продолжительности процесса сушки при той же напряженности электромагнитного поля, с тем, что обезвоживание происходит и в периодах релаксации за счет накопленной энергии, с более эффективным использованием инерционных эффектов и с использованием более высоких значений градиента температур. В то же время снижение расхода энергии происходит и за счет частичного удаления влаги с поверхности продукта в жидком состоянии под действием кинетической энергии воздушного потока.

Выводы. Исследование процесса сушки ядер миндаля подтвердило целесообразность применения внутреннего источника тепла, а именно энергии Т.В.Ч. в импульсном режиме. Это позволило уменьшить продолжительность теплового воздействия на продукт по отношению к непрерывному подводу энергии до 61 мин. (в 0,73 раза). Сокращение продолжительности термического воздействия на продукт дало возможность уменьшить удельный расход энергии почти на 21 %.

Импульсный подвод Т.В.Ч. энергии в процессе сушки позволил при той же напряженности поля уменьшить среднюю температуру продукта на 5 %, что повлияло положительно на сохранность ценных пищевых элементов содержащихся в миндале.

Поступила 02.2011

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Programul Național Pentru Dezvoltarea Culturilor Nucifere Pină în anul 2020. Hotărâre de Guvern nr. 8 din 03.01.06, Monitorul Oficial nr.005 din 13.01.06;
2. Лыков А.В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. - 470 с.
3. Малежик И.Ф., Гарлев В.П., Лулашко А.С. Конвективно- высокочастотная сушка косточковых фруктов. Кишинев: UTM, 2005. - 460 с.;
4. Bemic M. Theoretical and experimental suppositions regarding the drying process of oily products when using impulse heating source. / Buletinul Institutului politehnic din Iasi, Tomul LVI (LX) Fasc. 4B, Ed: Politehnica, Iai 2010, p.341-346.
5. Hughes M.K., Yanamala S., San Francisco M., Loneragan G.H., Miller M.F., Brashears, M.M. Reduction of Multidrug-Resistant and Drug-Susceptible Salmonella in Ground Beef and Freshly Harvested Beef Briskets after Exposure to Commonly Used Industry Antimicrobial Interventions. // Journal of Food Protection, Vol. 73, Num. 7, 2010, pp. 1231-1237(7)
6. Hussain, A.; Li, Z.; Ramanah, D. R.; Niannuy, C.; Raghavan, G. S. V. Microwave drying of ginger by online aroma monitoring. / Drying technology, Vol. 28 Issue 1, 2010, p.42-48.
7. Гинзбург А. С., Савина И. М. Массовлагодобменные характеристики пищевых продуктов. Справочник. - М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 280с.

УДК 504.7:[664.65.05.041:66.012.3]

ШЕВЧЕНКО Р.И., канд. тех. наук, доцент, ИВАНОВА Е.М., магистр,
КРЕСТИНКОВ И.С., д-р биол. наук, профессор

Одесская национальная академия пищевых технологий

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ХЛЕБОПЕКАРНЫХ ПЕЧЕЙ

Обоснована методика эколого-энергетического анализа хлебопекарных печей как одиночного энергетического оборудования на основе материально-энергетического баланса. Расчитан показатель полной эквивалентной эмиссии парниковых газов для анализируемых печей.

Ключевые слова: полная эквивалентная эмиссия парниковых газов, материально-энергетический баланс, хлебопекарные печи.

The technique of the ekologo-power analysis of baking furnaces as single power equipment on the basis of is material-power balance is proved. Calculation of an indicator of full equivalent issue of hotbed gases for analyzed furnaces is carried out.

Keywords: full equivalent issue of hotbed gases, is material-power balance, baking furnaces.