

УДК 664.8.047

Разработка режимов сушки пищевой съедобной упаковочной пленки

Канд. техн. наук **А. Х-Х. Нугманов**, albert909@yandex.ru
аспирант **М. А. Никулина**, mnikyulina@mail.ru

*Астраханский государственный технический университет
414056, Россия, Астрахань, ул. Татищева 16б*

Основной целью работы является разработка технологии сушки инновационной биоразлагаемой водорастворимой упаковочной пищевой пленки для широкого ассортимента замороженных и охлажденных полуфабрикатов и продуктов, готовых к употреблению в качестве альтернативы традиционной полиэтиленовой упаковке. На основании данных научной литературы и экспериментальных исследований был предложен комбинированный способ сушки, ранее не применявшийся к пленочным материалам на основе альгината натрия, осуществляемый с использованием инфракрасной сушки и вакуумирования. Разработаны, апробированы и научно обоснованы следующие режимы процесса сушки: глубина вакуума 720–730 Торр, начальная температура высушиваемого продукта 25–30°C; плотность теплового потока менее 2,3 кВт/м². Проведены эксперименты по изучению кинетики сушки и разработке статистической математической модели зависимости удельного выхода сухого продукта от режимных параметров сушильной установки, созданной для сушки упаковочной пленки на основе альгината натрия. Проведены многофакторные экспериментальные исследования при различных уровнях варьирования таких влияющих факторов, как начальное содержание сухих веществ, высота слоя высушиваемого материала, глубина вакуума в сушильной камере, плотность радиационного падающего потока, длина волны излучения в спектре ИК генератора. На основании полученных данных разработана математическая модель, позволяющая планировать результаты сушки исследуемого объекта в зависимости от исходных данных используемого материала и характеристик сушильного аппарата, что дает возможность снизить на 20% время на обработку материала при сохранении его качественных характеристик. Разработанный способ сушки и опытная сушильная установка могут быть рекомендованы для реализации процесса сушки съедобных упаковочных материалов на основе альгината натрия.

Ключевые слова: упаковка пищевых продуктов; биоразлагаемая тара и упаковка; водорастворимые полимеры; режимы сушки пищевых продуктов; комбинированный способ сушки.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-1-15-23

Drying modes for edible food packing wrap

Ph.D. **Albert X-X. Nugmanov**, albert909@yandex.ru
Post-graduate student **Maria A. Nikulina**, mnikyulina@mail.ru

*Astrakhan State Technical University
414056, Russia, Astrakhan, Tatischeva str., 16b*

The main aim is to develop innovative technology of drying water-soluble biodegradable food packaging films for a wide range of frozen and refrigerated semi-finished products and ready for use products as an alternative to traditional plastic packaging. On the basis of scientific literature and experimental studies we have suggested a new combined drying method to pllenochnym materials based on sodium alginate and carried out by infrared drying and vacuuming. Modes of drying process were designed, tested, and scientifically proved: vacuum depth is 720–730 torr; initial temperature of the product to be dried is 25–30°C; heat flow density is less than 2.3 kW/m². Experiments to study the drying kinetics and to develop a mathematical model of the statistical dependence between dry product output and mode parameters of a dryer for drying packaging film based on sodium alginate were carried out. Also multifactorial experiments were carried out at varying levels of such factors as the initial solids content, the height of the material layer to be dried, the degree of vacuum in the drying chamber, the incident radiation flux density, the wavelength in the IR spectrum of the generator. Using these data mathematical model allowing to plan the drying results of the object tested depending on the initial parameters the material and the dryer was obtained.

It allows reducing the time of processing while keeping the material quality. The developed drying method and pilot dryer can be recommended to implement for drying edible packaging materials based on sodium alginate.

Keywords: food packaging; biodegradable packaging; water-soluble polymers; baking foods; combined method of drying.

Введение

Водорастворимые нетермопластичные полимерно-коллоидные системы являются продуктами взаимодействия линейных водорастворимых полимеров с заряженными частицами стабилизаторов. На сегодняшний день именно данные комплексы стали основой для разработки различных видов экологичных упаковочных материалов не только являющихся частью продукта и применимых в пищу, но и самостоятельных упаковочных и пленочных покрытий. Эти материалы привлекают к себе внимание ученых, поскольку являются своеобразной основой для добавления различных компонентов, тем или иным образом влияющих на свойства упаковки, и могут стать реальной альтернативой полиэтиленовым упаковочным материалам в области пищевой промышленности [1–3]. Очевидно, что проблема защиты окружающей среды от вредного воздействия производства, использования и утилизации полиэтиленовой продукции [4] является важнейшим приоритетом современной биотехнологии, а возможность создания упаковочного материала, пригодного в пищу и имеющего заданные органолептические показатели, позволит снизить антропогенную нагрузку. Актуальность данного направления обусловлена, прежде всего, необходимостью активной замены полиэтиленовых материалов в сфере упаковки пищевых продуктов, поскольку именно они и являются теми бытовыми отходами, которые составляют огромную часть всего объема мусора, производимого человечеством [5].

ИК-сушка как метод обезвоживания пленочных материалов

Учеными Астраханского государственного технического университета был разработан альтернативный пищевой съедобный упаковочный материал, отвечающий вышеназванным требованиям [7, 8], позволяющий использовать его в качестве упаковки полуфабрикатов и готовых кулинарных изделий с возможностью включения в состав вкусовой основы. Разработанный материал позволит использовать упаковку как часть готового блюда при доведении до готовности посредством добавления воды с температурой выше 80°C [7]. Однако готовый продукт — пленочный материал — имеет небольшой срок хранения, что существенно ограничивает ассортимент для упаковки. Для решения данной проблемы требуется сушка продукта до влажности 5–6%, что позволит увеличить срок хранения готового пленочного материала. В исходной технологии, рекомендованной авторами изобретения, используется конвективная сушка в сушильном шкафу при температуре до 70°C в течение 6–7 часов [7], что не отвечает требованиям энерго- и ресурсосбережения [9]. Для успешной реализации технологии желательно снижение времени сушки, сохранение температуры на уровне 70°C, так как ее превышение снизит прочностные характеристики пленки, ухудшит органолептические показатели, приведет к потере питательных веществ, содержащихся в натуральной вкусовой основе пленочного материала [10, 11].

Исходя из анализа специальной и технической литературы, было выявлено, что сушка в инфракрасном излучении наиболее перспективна для изготовления водорастворимой пищевой упаковки. ИК излучение активно применяется в пищевой промышленности для интенсификации различных процессов и активации тех или иных химических и биохимических процессов. При ИК излучении значительно повышается плотность теплового потока на поверхности высушиваемого материала (порядка 20–100 раз), инфракрасные лучи имеют свойство проникать в толщу материала. При повышении температуры излучателя длина волны максимума излучения уменьшается, в то время как глубина проникновения увеличивается. Чем больше проницаемость материала, то есть меньше пористость, прозрачность, влагосодержание, тем быстрее происходит процесс сушки. Известно, что количество лучей, проникающих на длину более 6–7 мм невелико, однако учитывая высокую плотность

потока энергии, температуру слоя, а также толщину обычных пленок — не более 2 мм, то можно сказать, что эффективность ИК нагрева значительно выше [6, 12, 13]. Сушка ИК лучами имеет ряд известных преимуществ:

- возможность сушки термолабильных и чувствительных к нагреву продуктов и материалов;
- сокращение длительности процесса благодаря увеличению интенсивности и мощности потока;
- малая инерционность установок, использующих ИК излучение [9, 14];
- возможность полной автоматизации всего процесса сушки;
- простой способ контроля интенсивности теплового излучения;
- улучшение санитарно-гигиенических условий процесса сушки [15];
- относительно низкие, по сравнению с конвективными способами, капитальные затраты на проведение процесса;
- простота монтажа и установки сушильных установок, возможность изготавливать разборные и передвижные конструкции, что особенно выгодно для малых пищевых предприятий и цехов.

В работах ученых была подробно рассмотрена кинетика процесса сушки при ИК энергоподводе, описаны модели сушки, методы расчета ИК нагрева, виды конструкций аппаратов для осуществления процесса сушки [9, 11].

В целом можно сказать, что на сегодняшний день ИК оборудование нашло широкое применение в пищевой, медицинской, химической, лакокрасочной технологии для сушки широкого ассортимента продуктов и сырья.

ИК сушка активно применяется в пищевой отрасли, в частности, при выработке макаронных изделий, хлебопекарной отрасли, консервной, рыбной, производстве круп. Известно, что на данный момент ИК сушке подвергается не менее 12% сырья для пищевого потребления.

При этом, ИК нагрев возможно использовать не только самостоятельно, но и комбинируя с вакуум-сушкой, различными видами конвективной сушки. Например, при ИК сушке таких растительных продуктов, как кусочки помидоров, в отличие от обычных способов конвективной сушки, достигается более высокое качество продукта, равномерное распределение влаги, лучшие органолептические показатели.

Применение ИК сушки в пищевой промышленности позволяет снизить расходы на электроэнергию, расширить ассортимент пищевой продукции со специфическими свойствами, уменьшить содержание консервантов, красителей и других веществ, сохранить антиоксидантные и противовоспалительные свойства благодаря меньшей температуре воздействия на продукцию при доведении ее до готовности. ИК-сушка весьма эффективно позволяет использовать вырабатываемую в приборе теплоту и почти полностью доводить ее до обрабатываемого сырья. Также известны данные [9, 11, 12] о способе вакуум-инфракрасной сушки мяса птицы для производства чипсов, что является весьма перспективным методом сушки.

Математическая модель сушки пленочного материала

Известно, что быстрые методы многофакторного планирования и статистической обработки экспериментальных данных целесообразно использовать при определении рациональных режимных параметров в диапазоне технологических и технических ограничений, соответствующих реальным условиям проведения процесса сушки, и экстремума целевой функции при отсутствии четкой математической связи между ними в многостадийных производственных процессах. Такой подход позволяет кардинально сократить количество экспериментов и математически описать технологический процесс в виде нелинейной или полиномиальной зависимости, адекватной численным результатам опытов с достаточной для инженерных расчетов точностью, что дает возможность использовать полученные данные при проектировании технологических процессов и оборудования для обезвоживания жидких биополимерных продуктов.

Особенно тщательно необходимо подойти при многофакторном планировании к выбору целевой функции (критерии рационализации), которая должна адекватно отвечать требованиям к производительности, энергоемкости процесса влагоудаления и качеству готовой продукции.

Экспериментальные исследования по определению рациональных значений варьируемых факторов осуществлялись на оригинальной опытной сушилке (рисунок 1).

Кинетические исследования сушки проводились на базе вероятностных методов статистического планирования и обработки результатов опытов. Удельный выход сухого продукта в единицу времени с единицы площади рабочей поверхности Y , [кг/(м²·ч)] принят в качестве критерия рационализации при исследовании процесса обезвоживания биополимерной пищевой пленки (БПП) на подложке при комбинированном радиационном и кондуктивном энергоподводе при атмосферном и пониженном давлении (вакууме) в сушильной камере.

$$\left[Y = \frac{3600 \cdot G_c}{\tau_c \cdot S} \right], \quad (1)$$

где G_c – масса высушенного готового материала, кг (при влажности $w = 7 - 10$);

τ_c – продолжительность обезвоживания, с;

S – площадь нанесенного материала на подложке, м²;

G_c и τ_c – определялись на базе кривых сушки.

Начальная влажность БПП определялась путем сушки образца БПП до постоянной массы в вакууме при ИК энергоподводе.

Априорно за варьируемые параметры, определяющие скорость обезвоживания, можно принять: начальное содержание сухих веществ c_n (кг/кг), высоту слоя высушиваемого материала l (м) (относительная высота слоя, м³/м²), глубину вакуума в сушильной камере P (Торр, Па), плотность радиационного (теплого) падающего потока E_p (кВт/м²), длину волны излучения, соответствующую максимуму интенсивности излучения в спектре ИК генератора λ_{\max} (мкм). Для определения E_p на поверхности продукта, ее оптимальных и максимально допустимых значений, расчет которых аналитически сложен из-за многократных отражений в сушильной установке, применен универсальный тепломер для среднеинтенсивных тепло-массообменных процессов при $E_p = 10 \dots 10000$ Вт/м².

Диапазоны изменения влияющих параметров исходя из технологических и технических ограничений: $U = 100 \div 220$ В; $l = (0.5 \div 2) \cdot 10^{-3}$ м; $E = 0.91 \div 2.3 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}$; $P = 0 \div 760$ Торр.

С целью получения статистической математической модели зависимости удельного выхода сухого продукта от режимных параметров, опыты при многофакторных экспериментальных исследованиях велись по полному плану при различных уровнях варьирования влияющих факторов.

При расчете относительного выхода продукта определение погрешностей велось в следующей последовательности: определялись усредненные величины, где $n = 3$ – число опытов в выборке; x_i – величина удельного выхода сухого материала; рассчитывались одиночные отклонения, при $\sum_1^n \Delta x_i = 0$; определялись среднеквадратичные отклонения S_n ; рассчитывались среднеквадратичные отклонения среднего результата; при заданном численном значении надежности доверительной вероятности ($a = 0.95$) рассчитывается критерий Стьюдента $t_{an} = 4,3$ определялись погрешности результатов и относительные погрешности. Относительная погрешность средней величины удельного выхода сухого материала была не более $\varepsilon = 10\%$.

Кинетика сушки исследуемого материала

Схема опытной сушильной установки для обезвоживания БПП при атмосферном и пониженном (вакууме) давлении на подложке из нержавеющей стали при инфракрасном подводе энергии представлена на рисунке 1.

Экспериментальная установка состоит из обечайки цилиндрической 12 с плоской герметичной крышкой 2 и вакуумметром 3, фланцами 7 и смотровыми окнами 1. Отсос паровоздушной смеси производился насосом водокольцевого принципа действия 16.

Подвод лучистой энергии для обезвоживания осуществлялся с помощью инфракрасных генераторов 5 типа КГТ-220-1000 с алюминиевыми полированными отражателями по обеим сторонам пластины, расположение которых можно менять, как и напряжение, подаваемое на каждый из них с помощью тиристорного регулятора. На щитке управления 8 установлены приборы для контролирования силы тока и напряжения, потенциометр КСП-4 9 для регистрации температуры хромель-копелевыми термопарами 14.

Текущая масса при обезвоживании экспериментального образца контролировалась посредством весов ВЛК-500, показания которых записывались на видеокамеру 6, заэкранированную от прямого излучения, в режиме реального времени и обрабатывались на ПЭВМ.

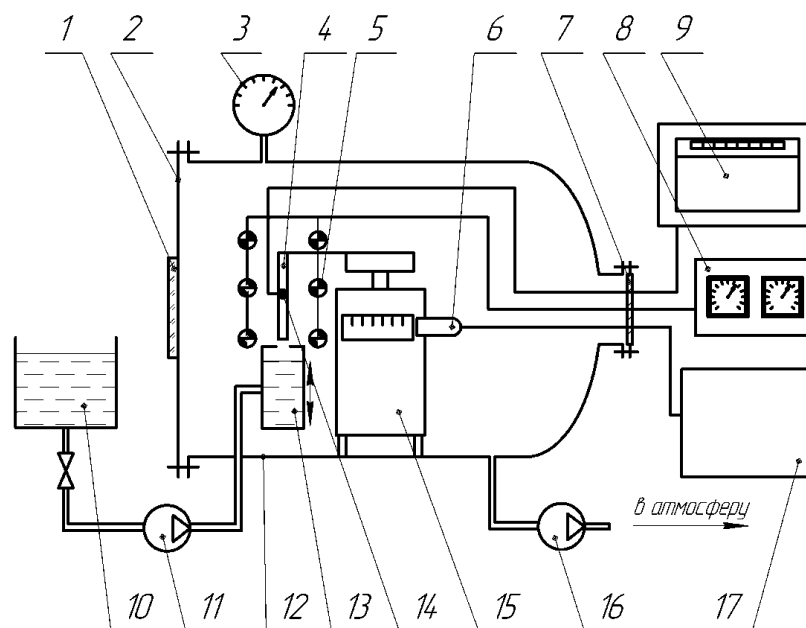


Рисунок 1 – Опытная сушильная установка:

1 – окно визуального наблюдения за процессом сушки; 2 – герметичная крышка; 3 – вакуумметр; 4 – рабочая поверхность (пластина с продуктом); 5 – инфракрасные генераторы; 6 – миниатюрная видеокамера; 7 – фланец; 8 – панель управления; 9 – потенциометр; 10 – емкость для исходного материала; 11 – насос для исходного материала; 12 – обечайка; 13 – устройство для распределения продукта на рабочей поверхности; 14 – хромель-копелевая термопара; 15 – весы; 16 – водокольцевой вакуум-насос; 17 – персональный компьютер.

Экспериментальные кривые обезвоживания (рисунок 2 и 3), полученные на опытной сушилке, послужили базой для расчета Y .

Математическую аппроксимацию опытных данных вели, применяя специализированное программное обеспечение MathCAD и Excel.

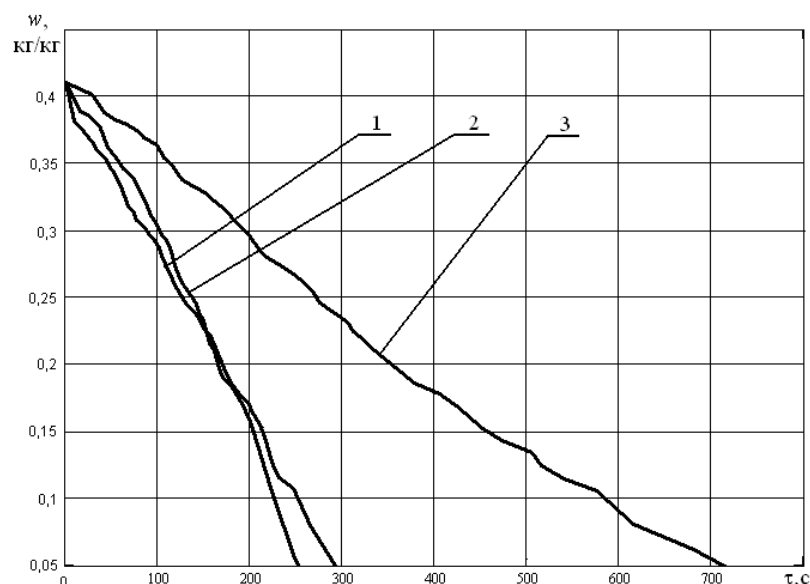


Рисунок 2 – Кинетические кривые обезвоживания БПП при $l = 0,001$ м:

$$1 - E_p = 0.91 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}; 2 - E_p = 1.52 \frac{\text{кВт}}{\text{м}^2}; 3 - E_p = 1.8 \text{ кВт/м}^2$$

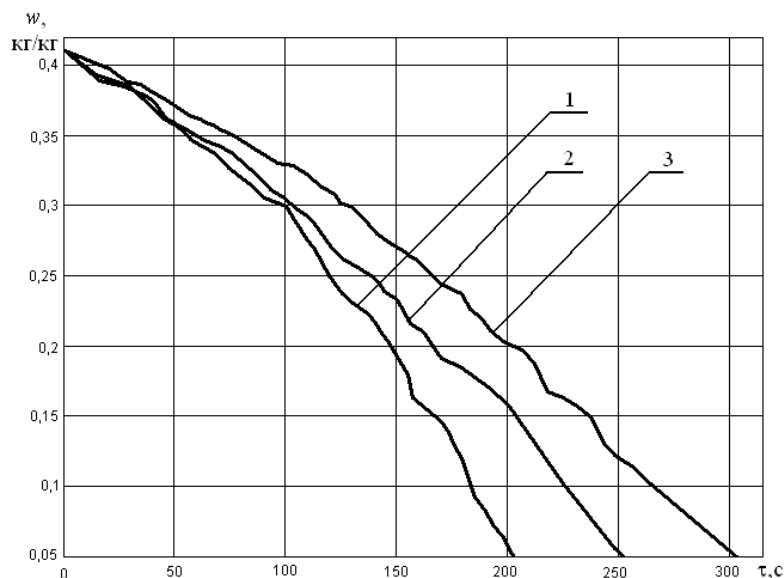


Рисунок 3 – Кинетические кривые обезвоживания БПП при $E_p = 1.52$ кВт/м²:

$$1 - l = 0,0005 \text{ м}; 2 - l = 0,001 \text{ м}; 3 - l = 0,002 \text{ м}$$

Вероятностная достоверность аппроксимации R^2 для всех полученных математических полиномиальных зависимостей была не менее 0,85, не зависимо от степени полинома, что подтверждает их адекватность экспериментальным данным.

Удельный выход сухого материала от варьируемых влияющих факторов при вакуумном обезвоживании (рисунок 4) можно определить по формуле:

$$Y = [(2.9314167 \cdot \lambda - 4.278197) \cdot E_p^2 + (-7.667794649 \cdot \lambda + 11.288764) \cdot E_p + 5.057987214 \cdot \lambda - 4.497740843] \times 10^8 \cdot l^2 + [(-4.551075 \cdot \lambda + 8.8358265) \cdot E_p^2 + (24.842925 \cdot \lambda - 43.2211535) \cdot E_p] \cdot 10^4 \cdot l + [(-43.098725 \cdot \lambda + 46.7485895) \cdot E_p^2 + (124.097125 \cdot \lambda - 123.3693175) \cdot E_p - 44.086809]. \quad (2)$$

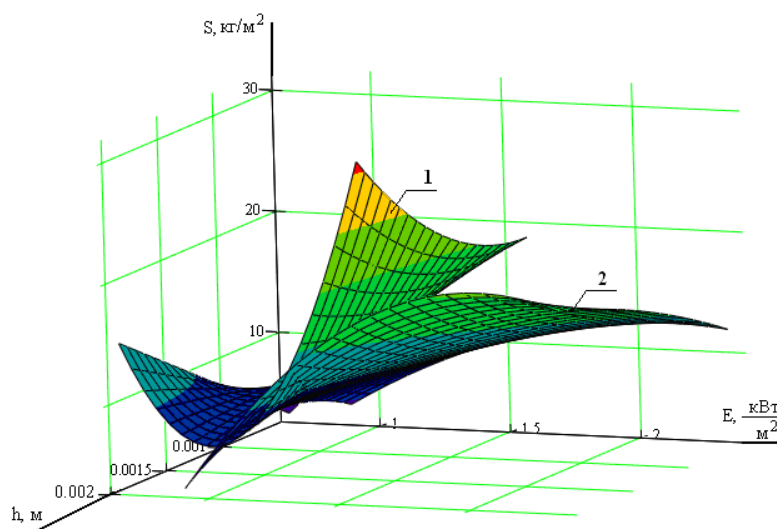


Рисунок 4 – Удельный выход сухого материала при вакуумной сушке:
 1 – $\lambda = 1,42$ мкм; 2 – $\lambda = 1,5$ мкм

При сушке в атмосферных условиях удельный выход сухого материала (рисунок 5) можно определить по формуле:

$$Y = (-3.32125 \cdot 10^7 \cdot \lambda + 4.8120125 \cdot 10^7) \cdot l^2 + (1.021875 \cdot 10^7 \cdot \lambda - 1.4675187 \cdot 10^5) \times \\ \times l \cdot (-5.9699 \cdot E_p^2 + 27.77 \cdot E_p - 57.875 \cdot \lambda - 113.01275). \quad (3)$$

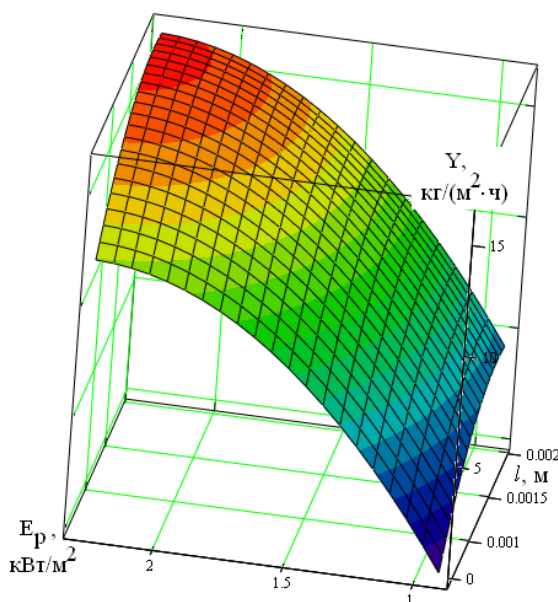


Рисунок 5 – Удельный выход сухого материала при сушке в атмосферных условиях,
 длина волны $\lambda = 1,5$ мкм

В процессе исследований максимальный удельный выход сухого продукта отмечен при $U = 120$ В, ввиду смещения $\lambda_{\text{макс}}$, соответствующей наибольшей интенсивности излучения в области ИК спектра галогенных ламп к $\lambda = 1,53$ мкм, коррелирующей с диапазоном поглощения влаги. При $U > 10$ В не целесообразно, из-за подгорания поверхности продукта. К тому же биополимеры являются термолабильными материалами, обладающими высокой термопластичностью.

Заключение

В ходе проведения исследований по сушке пленочного материала выявили, что исходное содержание сухих веществ в высушиваемом растворе целесообразно поддерживать в пределах 40–50%. $c_n = 50\%$, что определяет ввиду вязкостных ограничений возможность свободного перемещения исходного материала через трубопроводы, регулирование его расхода и дозировки.

Значение $c_n = 42\%$ определяется необходимостью повышения удельного съема сухого продукта.

Высоту слоя БПП целесообразно заменить относительной высотой (отношение объема продукта к площади его поверхности), которую более удобно использовать при расчете расхода исходного материала с учетом его плотности. Адекватность полученной математической модели статистически проверена по критерию Фишера [11].

E_p целесообразно поддерживать в диапазоне 0,91–2,3 кВт/м², превышение не целесообразно из-за подгорания поверхности продукта, а также термопластичности БПП, а при $E_p < 0,91$ наблюдается снижение Y .

Вследствие отсутствия явления самоиспарения, при пониженном давлении глубина вакуума менее 680 Торр не приводит к существенному росту удельного выхода сухого материала и его качества [12], что в данном случае делает применение вакуумной сушки нерентабельной. Высота слоя БПП неоднозначно влияет на удельный выход сухого материала. Это обусловлено с одной стороны уменьшением времени обезвоживания сушки при снижении высоты слоя, а с другой — ростом Y и относительного веса высушиваемого материала.

Рациональными режимными параметрами являются: глубина вакуума $P = 720–730$ Торр; начальная температура высушиваемого продукта $t_{см.нач} = 25–30^\circ\text{C}$; высота слоя $l < 2$ мм, плотность теплового потока E_p менее 2,3 кВт/м² при использовании генераторов типа КГ-220–1000 ($U = 120$ В). Удельный выход сухого материала достигает величины $Y = 24$ кг/(м²·ч).

Таким образом, использование результатов приведенных исследований позволят дать практические рекомендации по апробации переменных режимов обезвоживания и рациональному проектированию сушильного оборудования в технологии производства инновационных пленочных пищевых материалов.

Литература

1. Lendlein A., Sisson A. *Handbook of Biodegradable Polymers*. Germany, Wiley-VCH Verlag&Co. KGaA, 2011, P. 402.
2. Guillet J.E. *Plastics and the environment in Degradable Polymers: Principles and Applications*. London, Chapman & Hall, 1995, pp. 216–246.
3. Scott G., Wiles D.M. Programmed-Life Plastics from Polyolefins: new look at sustainability. *Biomacromolecules*, 2001, no. 2, pp. 615–622.
4. ASTM D6400-04 (2009). *Standard specification for compostable plastics*. Available at: <http://www.astm.org/Standards/D1129.htm> (accessed April 22, 2015).
5. Sakai K., Hamada N. and Watanabe Y. Degradation Mechanism of Poly(vinyl alcohol) by Successive Reactions of econdary Alcohol Oxidase and β -Diketone Hydrolase from Pseudomonas sp. *Agric. Biol. Chem.* 1986, no. 50, pp. 989–996.
6. Мясная индустрия. Обработка бульона [Электронный ресурс]. URL:<http://promeat-industry.ru/tehnologiya-myaso/3154-obrabotka-bulona.html> (дата обращения: 17.11.2015).
7. Никулина М.А. Водорастворимая биодegradируемая съедобная упаковочная пленка: пат. 2525926 Российская Федерация. 2014. Бюл. №23. 5 с.
8. Фомин В.А., Завражнов С.А. Состояние и направления развития работ по получению биоразлагаемых полимеров из молочной кислоты // Пластические массы. 2012. № 3. С. 56–64.
9. Иванов И.В., Гуринович Г.В. Исследование вакуум-инфракрасной сушки чипсов из мяса птицы [Электронный ресурс] // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 3(30). URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vakuum-infrakrasnoy-sushki-chipsov-iz-myasa-ptitsy> (дата обращения 08.02.2016)

10. Halley P.J., George G.A. *Chemorheology of Polymers: From Fundamental Principles to Reactive Processing*. Cambridge University Press. 2009. 454 p.
11. Sun X.-H. et. Al. Hybrid Organic–Inorganic Membrane: solving the tradeoff between Permeability and Selectivity. *Chem. Mater.* 2005, V. 26, no. 17, pp. 51–54, 58.
12. Gilead D., Scott G. Developments in Polymer Stabilisation – 5. *Applied Science Publishers*. 2002, pp. 40–44.
13. Iring M., Tüdos F. Thermal oxidation of polyethylene and polypropylene: effects of chemical structure and reaction conditions on the oxidation process. *Prog. Polym. Sci.* 2003, no. 15, pp. 217–262.
14. Wiles D.M., Scott G. Polyolefins with controlled environmental degradability. *Polym. Degrad. Stab.* 2006, pp. 91, 1581–1592.
15. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Введ. 01.09.2002 (с изм. 06.07.2011). М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России, 2002. 12 с.

References

1. Lendlein A., Sisson A. *Handbook of Biodegradable Polymers*. Germany, Wiley-VCH Verlag&Co. KGaA, 2011, P. 402.
2. Guillet J.E. *Plastics and the environment in Degradable Polymers: Principles and Applications*. London, Chapman & Hall, 1995, pp. 216–246.
3. Scott G., Wiles D.M. Programmed-Life Plastics from Polyolefins: a new look at sustainability. *Biomacromolecules*, 2001, no. 2, pp. 615–622.
4. ASTM D6400-04 (2009). *Standard specification for compostable plastics*. Available at: <http://www.astm.org/Standards/D1129.htm> (accessed April 22, 2015).
5. Sakai K., Hamada N. and Watanabe Y. Degradation Mechanism of Poly(vinyl alcohol) by Successive Reactions of Secondary Alcohol Oxidase and β -Diketone Hydrolase from *Pseudomonas* sp. *Agric. Biol. Chem.* 1986, no. 50, pp. 989–996.
6. *Myasnaya industriya. Obrabotka bul'ona* [Meat Industry. Processing broth]. Available at: <http://promeat-industry.ru/tehnologiya-myaso/3154-obrabotka-bulona.html> (accessed 17.11.2015).
7. Nikulina M.A. *Vodorastvorimaya biodegradiruemaya s'edobnaya upakovochnaya plenka* [Water soluble biodegradable edible packaging film]. Patent RF, no. 2525926. 2014.
8. Fomin V.A., Zavrazhnov S.A. Sostoyaniye i napravleniya razvitiya rabot po polucheniyu biorazlagaemykh polimerov iz molochnoi kisloty [Status and trends of development works on obtaining biodegradable polymers from lactic acid]. *Plastics*. 2012, no. 3, pp. 56–64.
9. Ivanov I.V., Gurinovich G.V. Issledovanie vakuum-infrakrasnoi sushki chipsov iz myasa ptitsy [Study vacuum infrared drying chips poultry]. *Engineering and technology of food production*. 2013, no. 3(30). Available at: <http://cyberleninka.ru/article/n/issledovanie-vakuum-infrakrasnoy-sushki-chipsov-iz-myasa-ptitsy> (accessed 08.02.2016).
10. Halley P.J., George G.A. *Chemorheology of Polymers: From Fundamental Principles to Reactive Processing*. Cambridge University Press. 2009. 454 p.
11. Sun X.-H. et. Al. Hybrid Organic–Inorganic Membrane: solving the tradeoff between Permeability and Selectivity. *Chem. Mater.* 2005, V. 26, no. 17, pp. 51–54.
12. Gilead D., Scott G. Developments in Polymer Stabilisation – 5. *Applied Science Publishers*. 2002, pp. 40–44.
13. Iring M., Tüdos F. Thermal oxidation of polyethylene and polypropylene: effects of chemical structure and reaction conditions on the oxidation process. *Prog. Polym. Sci.* 2003, no. 15, pp. 217–262.
14. Wiles D.M., Scott G. Polyolefins with controlled environmental degradability. *Polym. Degrad. Stab.* 2006, pp. 91, 1581–1592.
15. SANPIN 22.3.2.1078-01. *Gigienicheskie trebovaniya bezopasnosti i pishchevoi tsennosti pishchevykh produktov* [Sanitary rules and norms. Hygienic requirements for quality and safety of food raw materials and food products]. Moscow, Federal Centre of Sanitary Inspection Ministry of Health of Russia, 2002.

Статья поступила в редакцию 01.12.2015