

ПРОЦЕССЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ И ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА В ТЕХНОЛОГИЯХ ПЕРЕРАБОТКИ ПИЩЕВОГО СЫРЬЯ

Гаврилов А.В., Гербер Ю.Б.

Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского, Симферополь

Ключевые слова: энергоемкость, тепло- и массообмен, интенсификация, тепломассоперенос, микроволновое поле, адресная доставка энергии, диффузия, микро- и нанокапиллярная структура, процесс обезвоживания, выпаривание.

Аннотация. Исследование механизмов и моделирование кинетики тепломассопереноса в микроволновом поле в технологиях комплексной переработки пищевого сырья. Комбинация тепловых, гидродинамических и диффузионных движущих сил при их согласованном действии способно решать проблемные вопросы обработки сырья, в первую очередь пищевого. Непосредственный, адресный подвод энергии к жидкой фазе сырья дает возможность получения в аппарате твердой фазы. Это принципиально новые возможности процесса обезвоживания. Предложенный в статье метод позволит получать качественный продукт и иметь концентрацию сухих веществ до 95°brix. Пищевые технологии с организацией процессов адресной доставки энергии при выпарке, сушке и экстрагировании являются ресурсо-энергоэффективными, и обеспечивают полное сохранение потенциала сырья.

PROCESSES OF TRANSPORTATION AND HEAT AND MASS TRANSFER IN FOOD PROCESSING TECHNOLOGIES

Gavrilov A.V., Gerber Yu.B.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol

Keywords: energy intensity, heat and mass transfer, intensification, heat and mass transfer, microwave field, targeted energy delivery, diffusion, micro- and nanocapillary structure, dehydration process, evaporation.

Abstract. Investigation of mechanisms and modeling of kinetics of heat and mass transfer in a microwave field in technologies of complex processing of food raw materials. The combination of thermal, hydrodynamic and diffusion driving forces with their coordinated action is able to solve problematic issues of processing raw materials, primarily food. Direct, targeted energy supply to the liquid phase of raw materials makes it possible to obtain a solid phase in the apparatus. These are fundamentally new features of the dehydration process. The method proposed in the article will allow to obtain a high-quality product and have a concentration of dry substances up to 95°brix. Food technologies with the organization of targeted energy delivery processes during evaporation, drying and extraction are resource-energy efficient, and ensure the full preservation of the potential of raw materials.

Введение. Производство пищевых продуктов питания в странах с развитой экономикой характеризуется показателем энергоемкость [1, 2]. Выбросы и отходы от производства продуктов питания загрязняют атмосферу и окружающую среду. В то же время технологии производства пищевых продуктов значительно отстают в практической реализации проектов инновации от других секторов экономики [2-4]. При этом проблемы пищевых энергетических технологий в мире комплексно не решаются.

Сырье для производства пищевых продуктов специфичное. Состоит из макро-микро элементов и элементов наноразмерного типа. Более того, пищевые технологии нацелены именно на объекты микро- и наноразмерного типа. Эти объекты, обладают большим диффузионным сопротивлением и определяют энергоемкость технологии, соотношение использованного сырья, а также сохранение пищевого потенциала. В связи с этим в отходах остается до 15-20% целевых компонентов, которые находятся в микро- и нанокапиллярах и не извлекаются традиционными технологиями. Использование новых технологий в пищевой перерабатывающей промышленности даст возможность создавать новые продукты, принципиально отличающиеся от известных аналогов. Производство современных технологий должно учитывать всесторонний анализ энергетических, биотехнологических и теплофизических явлений. Основными процессами в пищевых технологиях являются процессы тепло- и массообмена, которые необходимо интенсифицировать. Эти процессы охватывают энергетику и качество пищевого готового продукта.

Цель исследования – исследование механизмов и моделирование кинетики тепломассопереноса в микроволновом (МВ) – поле в технологиях комплексной переработки пищевого сырья.

Обзор литературы. Этап развития общества неразрывно связан с ростом потребления энергоресурсов и снижением их запасов [1]. В таких условиях возрастает роль экономически полезного расхода энергии, повышения энергетического коэффициента полезного действия инновационных технологий. В пищевых технологиях (ПТ) более всего происходит расход энергетических ресурсов, в основном в пищевом производстве производится термическая обработка сырья [3]. А эффективность использования энергетических ресурсов и сырья остается на низком уровне [4-5]. Если сравнить количество энергии получаемое человеком с пищей с затратами на ее производство, то получим энергетический КПД, который не превысит 10% [6].

При снижении количества потребляемой энергии наблюдается повышение энергетического КПД ПТ, снижение себестоимости готового продукта и степени термического воздействия на него, а также сохранение термолабильных и биологически активных компонентов сырья.

Чтобы отходы пищевых технологий являлись полноценными источниками пищи, нужно разрабатывать инновационные и экономически эффективные принципы организации процессов ПТ. Предлагается, процессы стерилизации, экстрагирования, биотехнологий, сушки, сокоотдачи и прочие осуществлять с помощью технологий адресной доставки энергии (АДЭ). Осуществляемые принципы, при переводе пищевого производства на технологии АДЭ, позволят в разы снизить энергоемкость, степень воздействия температур на пищевое сырье и готовый продукт, а также получить новые продукты, принципиально отличающиеся от аналогов.

В мире многие ученые занимаются поиском инновационных средств обработки пищевого сырья. К таким средствам относятся электрические и электромагнитные интенсификаторы. Наиболее мощными и энергоэффективными являются микроволновые (МВ) генераторы [7-9].

Инновационные технологии применения МВ – поля известны в мире и активно исследуются при выпаривании продуктов [10-12].

Материалы и методы. Предложена классификация режимов потока из микро- и нанокapиллярной структуры (рис. 1). Во-первых, это ламинарная бародиффузия, которая интенсифицирует внутридиффузионный массоперенос. Влага подается из объема сырья на поверхность фазового контакта и традиционным диффузионным потоком (диффузионное сопротивление в стесненных условиях капилляра R_c), но также бародиффузионным потоком (гидравлическое сопротивление R_b). Во-вторых, это турбулентная бародиффузия, которая интенсифицирует и внутри – и внешнедиффузионный массоперенос. В среду выносятся 2 потока: традиционный (J_d) и гидродинамический (J_b). В-третьих, это специфичный гибридный поток, который переносит и растворимые, и нерастворимые экстрагентом компоненты («механодиффузия» [13-15]).

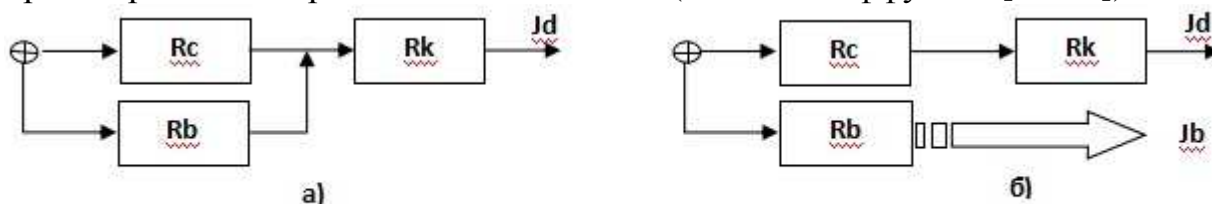


Рис.1. Схемы транспортных процессов при бародиффузии:
а) ламинарная; б) турбулентная

Результаты исследования. Проведение процесса выпаривания при граничных условиях (ГУ) 2 рода (в отличие от 1 и 3 рода в традиционных аппаратах) предопределяет преимущества: возможность получения высококонцентрированных растворов. В инновационных аппаратах нет классической теплопередачи, нет проблемы пограничного слоя. Непосредственный, адресный подвод энергии к жидкой фазе сырья дает возможность получения в аппарате твердой фазы. Это принципиально новые возможности процесса обезвоживания. Скорости выпаривания при постоянной мощности поля зависят только от типа растворителя.

Определено, что скорость влагоизвлечения в спиртосодержащих системах в 2-2,5 раза выше, чем в водорастворимых, а в растворах на основе ацетона – в 5 раз. Давление в системе не превышало 10 кПа, что обеспечило процесс выпаривания при относительно низкой температуре (20-45)°С. Конечная концентрация сухих веществ дошла до 80-95 °brix, это выше на 20-25% по сравнению с известными установками.

В качестве базовых значений принято: давление $P_0 = 10$ кПа; теплота фазового перехода $R_0 = 525$ кДж/кг.

Пищевые технологии с организацией процессов адресной доставки энергии при выпарке, сушке и экстрагировании являются ресурсо-энергоэффективными, и обеспечивают полное сохранение потенциала сырья.

Список литературы

1. Gabor D., Colombo U., King A.S. Beyond the age of waste: a report to the Club of Rome. Elsevier. 2016, 258 p. URL: <https://www.elsevier.com/books/beyond-the-age-of-waste/gabor/978-0-08-027303-7>.

2. Азоев Г.Л. и др. Рынок нано: от нанотехнологий к нанопродуктам / под.ред. Г.Л. Азоева. – М.: БИНОМ, 2011. – 319 с.
3. Cai X., Wallington K., Shafiee-Jood M., Marston L. Understanding and managing the food-energy-water nexus—opportunities for water resources research // *Advances in Water Resources*. 2018, vol. 111, pp. 259-273. DOI: 10.1016/j.advwatres.2017.11.014.
4. Clapp J., Newell P., Brent Z.W. The global political economy of climate change, agriculture and food systems // *Journal of Peasant Studies*. 2018, 45(1) pp. 80-88. DOI: 10.1080/03066150.2017.1381602.
5. Govindan K. Sustainable consumption and production in the food supply chain: A conceptual framework // *International Journal of Production Economics*. 2018, vol. 195, pp. 419-431. DOI: 10.1016/j.ijpe.2017.03.003.
6. Hosovskyi R. Diffusive mass transfer during drying of grinded sunflower stalks // *Chemistry & Chemical technology*. 2016, no. 10(4), pp. 459-464.
7. Monteiro R.L., Link J.V., Tribuzi G., Carciofi B.A.M., Laurindo J.B. Microwave vacuum drying and multi-flash drying of pumpkin slices // *Journal of food engineering*. 2018, vol. 232, pp. 1-10. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2018.03.015.
8. Rahman M.M., Joardder M.U.H., Khan M.I.H., Pham N.D., Karim M.A. Multi-scale model of food drying: Current status and challenges. *Critical reviews in food science and nutrition*. 2018, vol.58, no.5, pp. 858-876. DOI: 10.1080/10408398.2016.1227299.
9. Bozkir H., Baysal T. Concentration of apple juice using a vacuum microwave evaporator as a novel technique: Determination of quality characteristics // *Journal of Food Process Engineering*. 2017, vol. 40, no. 5, pp. 1-9. DOI: 10.1111/jfpe.12535.
10. Kumar A., Shrivastava S.L. Temperature, concentration, and frequency dependent dielectric properties of pineapple juice relevant to its concentration by microwave energy // *Journal of Food Process Engineering*. 2019, vol. 42, no. 1, pp. 1-12. DOI: 10.1111/jfpe.13013.
11. Elik A., Yanik D.K., Maskan M., Göğüş, F. Influence of three different concentration techniques on evaporation rate, color and phenolics content of blueberry juice // *Journal of Food Science and Technology*. 2016, vol. 53, no. 5, pp. 2389-2395. DOI: 10.1007/s13197-016-2213-0.
12. Dai J.-W., Xiao H.-W., Zhang L.-H., Chu M.-Y., Qin W., Wu Z.-J., Han D.-D., Li Y.-L., Liu Y.-W., Yin P.-F. Drying characteristics and modeling of apple slices during microwave intermittent drying // *Journal of Food Process Engineering*. 2019, pp. 1-10. DOI: 10.1111/jfpe.13212.
13. Бурдо О.Г., Бурдо А.К., Пур Д.Р., Сиротюк И.В. Технологии селективного подвода энергии при выпаривании пищевых растворов // *Проблемы региональной энергетики*. – 2017. – №1(33). – С. 100-109.
14. Burdo O., Bezbah I., Zykov A., Terziev S., Gavrilo A., Sirotyuk I., Mazurenko I., Li Yunbo. Development of power-efficient and environmentally safe coffee product technologies. *Eastern-European journal of Enterprise Technologies*. 2020, no. 1/11 (103), pp. 6-14. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.194647.
15. Гаврилов А.В. Экспериментальное моделирование процессов выпаривания водных растворов в условиях вакуума и микроволнового поля // *Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина»*. – 2020. – № 1 (95). – С. 41- 50. – doi: 10.34677/1728-7936-2020-1-41-50.

Сведения об авторах:

Гаврилов Александр Викторович – к.т.н., доцент, доцент кафедры технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства;

Гербер Юрий Борисович – д.т.н., профессор, заместитель директора Института «Агротехнологическая академия», заведующий кафедрой технологии и оборудования производства и переработки продукции животноводства.