

Научная статья
УДК [66.047.596:664-4]
<https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-116-122>
EDN DCTIIW

Перспективные конструкторские решения для сушки жидких пищевых систем

Юрий Александрович Максименко, Ольга Ивановна Коннова[✉],
Игорь Юрьевич Алексанян, Наталия Павловна Мемедейкина

Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, Россия, Okonnova88@gmail.com[✉]

Аннотация. Приведена оценка перспективных альтернативных конструкторских решений для осуществления сушки жидких пищевых систем. Сушильная технология и техника для удаления влаги из жидких материалов в диспергированном состоянии нашли широкое использование в пищевой индустрии. Практически мгновенное высушивание распыленных частиц в потоке теплоносителя обуславливает формирование развитой поверхности фазового взаимодействия и ускорение тепло- и массообменных процедур, а также исключение перегрева материала ввиду интенсивного объемного испарения влаги. Разработан ряд конструкций сушилок для устранения недостатков (таких как большие размеры сушилок и их сравнительно высокая энергоемкость и сложность конструктивных элементов) или снижения их влияния на течение операции обезвоживания. Конструкторская специфика аппаратов для обезвоживания в распыленном состоянии обусловлена способами подвода тепловой энергии, технологическими условиями и ограничениями, параметрами высушиваемого продукта и конечной порошковой субстанции, а также ее удельным выходом, особенностями операции распыливания и пр. Обоснование способа распылительной сушки жидкого пищевого материала и конструктивного исполнения аппарата должно опираться на изучение комплекса параметров и характеристик объекта обезвоживания, а также на построение и решение математической модели процессов тепломассопереноса и обмена на границе фазового раздела и их механизма при разработке рационального способа влагоудаления для обеспечения качественных показателей готовой продукции и энергии- и ресурсосбережения. Предложенные конструкции установок рекомендуются для организации процесса сушки жидких продуктов, в частности для сушки бульонов в технологиях рыбной продукции.

Ключевые слова: рыбные бульоны и гидролизаты, обезвоживание, сушка, распыление, конвективно-радиационный подвод, сушилка, конструкция

Для цитирования: Максименко Ю. А., Коннова О. И., Алексанян И. Ю., Мемедейкина Н. П. Перспективные конструкторские решения для сушки жидких пищевых систем // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Рыбное хозяйство. 2024. № 1. С. 116–122. <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-116-122>. EDN DCTIIW.

Original article

Promising design solutions for drying liquid food systems

Yuriy A. Maksimenko, Olga I. Konnova[✉], Igor Yu. Aleksanyan, Nataliia P. Memedeykina

Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, Russia, Okonnova88@gmail.com[✉]

Abstract. An assessment of promising alternative design solutions for drying liquid food systems is given. Drying technology and techniques for removing moisture from liquid materials in a dispersed state have found widespread use in the food industry. The almost instantaneous drying of the sprayed particles in the coolant flow causes the formation of a developed phase interaction surface and acceleration of heat and mass transfer procedures, as well as the exclusion of overheating of the material due to intensive volumetric evaporation of moisture. A number of dryer designs have been developed to eliminate disadvantages (such as the large size of the dryers and their relatively high energy consumption and complexity of structural elements) or to reduce their impact on the course of the dehydration operation. The design specifics of devices for dewatering in the atomized state are due to the methods of supplying thermal energy, technological conditions and limitations, parameters of the dried product and the final powder substance, as well as its specific yield, peculiarities of the spraying operation, etc. The justification of the method of spray drying of liquid food material and the constructive use of the apparatus should be based on the study of a set of parameters and characteristics of the dehydration object, as well as on the construction and solution of a mathematical model of heat and mass transfer and exchange processes at the boundary of the phase section, as well as their mechanism in

the development of a rational method of moisture removal to ensure the quality of finished products and energy- and resource saving. The proposed plant designs are recommended for organizing the drying process of liquid products, in particular for drying broths in fish production technologies.

Keywords: fish broths and hydrolysates, dehydration, drying, spraying, convective radiation supply, dryer, construction

For citation: Maksimenko Yu. A., Konnova O. I., Aleksanyan I. Yu., Memedeckina N. P. Promising design solutions for drying liquid food systems. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Fishing industry.* 2024;1:116-122. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2024-1-116-122>. EDN DCTIHW.

Введение

Сушильные технология и техника для влагоудаления из жидких материалов в диспергированном состоянии нашли широкое использование в пищевой индустрии, например для рыбных бульонов и гидролизатов. Особенность распылительной сушки – практически мгновенное высушивание распыленных частичек в потоке теплоносителя (в основном нагретой паровоздушной среды), что обуславливает формирование развитой поверхности фазового взаимодействия и ускорение тепло- и массообменных процедур, а также исключение перегрева материала ввиду интенсивного объемного испарения влаги.

К негативным сторонам обозначенной технологии можно причислить большие размеры сушилок и их сравнительно высокую энергоемкость и сложность конструктивных элементов. Для устранения недостатков или снижения их влияния на течение операции обезвоживания разработан ряд конструкций сушилок.

Объекты и методы исследований

Объектом изучения послужил способ влагоудале-

ния из рыбных бульонов и гидролизатов в распыленном состоянии. Предметом изучения является физический механизм обеспечения равномерного диспергирования продукта в зоне обезвоживания сушильной установки. Изучение и анализ операции влагоудаления и характеристик исследуемых продуктов осуществлялись посредством современных апробированных методик на опытных стендах.

Результаты и обсуждение

Установка для распылительного обезвоживания [1] позволяет обеспечить равномерное поступление теплоносителя в сушилку, повысить продолжительность взаимодействия частиц с ним и минимизировать налипание частиц на внутренние стенки установки. Приведенная конструкция (рис. 1) скомпонована из рабочей камеры, распылительного узла, системы откачки и выгрузочного отсека, вертикальных перегородок прямоугольного сечения, жестко сцепленных с внутренней стенкой цилиндрической обечайки сушилки, которые имеют идентичную высоту.

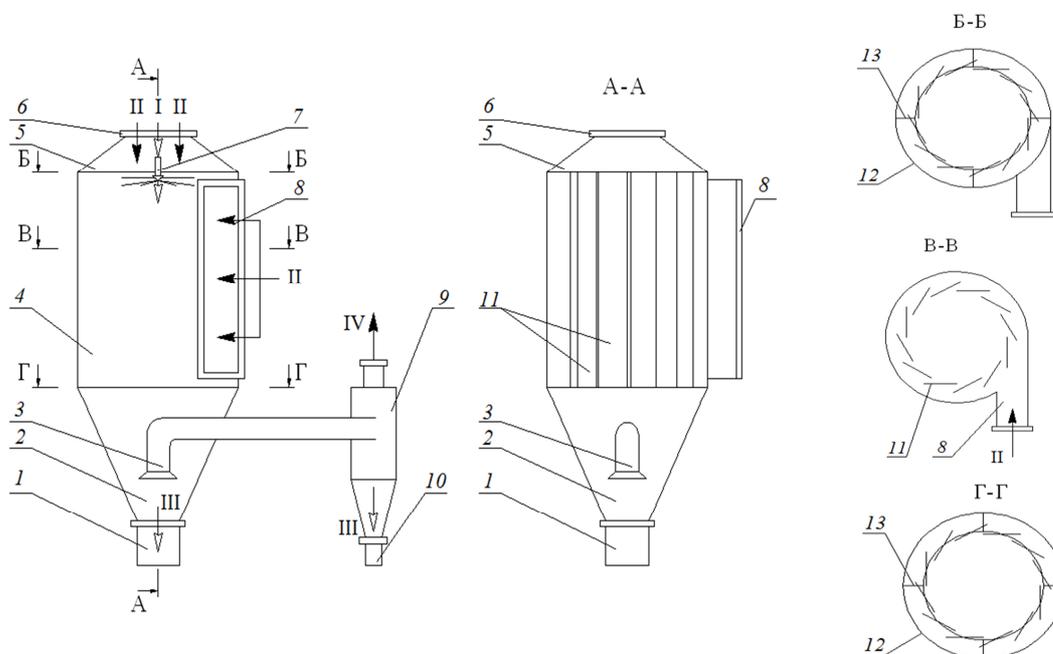


Рис. 1. Распылительная сушилка [1]: 1 – узел выгрузки сухого продукта; 2 – нижняя коническая часть сушильной камеры; 3 – система отсоса; 4 – цилиндрическая часть сушильной камеры; 5 – верхняя часть сушильной камеры; 6 – верхний патрубок ввода сушильного агента; 7 – распылитель; 8 – патрубок ввода сушильного агента; 9 – циклон; 10 – сборник сухого продукта; 11 – вертикальные прямоугольные перегородки; 12 – сушильная камера; 13 – крепления;

А, Б, В, Г – буквенное обозначение разреза; А-А – продольный разрез сушильной камеры; Б-Б – поперечный разрез верхней части сушильной камеры; В-В – поперечный разрез центральной части сушильной камеры; Г-Г – поперечный разрез нижней части сушильной камеры;
I – исходный продукт; II – сушильный агент; III – сухой продукт; IV – отработавший сушильный агент

Fig. 1. Spray dryer [1]: 1 – dry product unloading unit; 2 – the lower conical part of the drying chamber; 3 – the suction system; 4 – the cylindrical part of the drying chamber; 5 – the upper part of the drying chamber; 6 – the upper inlet pipe of the drying agent; 7 – the sprayer; 8 – inlet pipe of the drying agent; 9 – cyclone; 10 – collection of dry product; 11 – vertical rectangular partitions; 12 – drying chamber; 13 – fasteners; А, Б, В, Г – letter designation of the incision; А-А – longitudinal section of the drying chamber; Б-Б – transverse section of the upper part of the drying chamber; В-В – transverse incision of the central part of the drying chamber; Г-Г – cross section of the bottom of the drying chamber; I – initial product; II – drying agent; III – dry product; IV – spent drying agent

С целью проведения распылительного влагоудаления в два этапа рекомендован аппарат [2], где на первом этапе предусмотрено взаимодействие материала и теплоносителя в прямоточном режиме в меньшем цилиндре, а на втором – комбинирование прямотока с добавочным перекрестным током

контактирующих фаз в большем цилиндре, что обуславливает аэродинамический вихревой режим осуществления фазового контакта.

Конструкция (рис. 2) включает перегородки прямоугольного сечения с идентичными щелевыми зазорами.

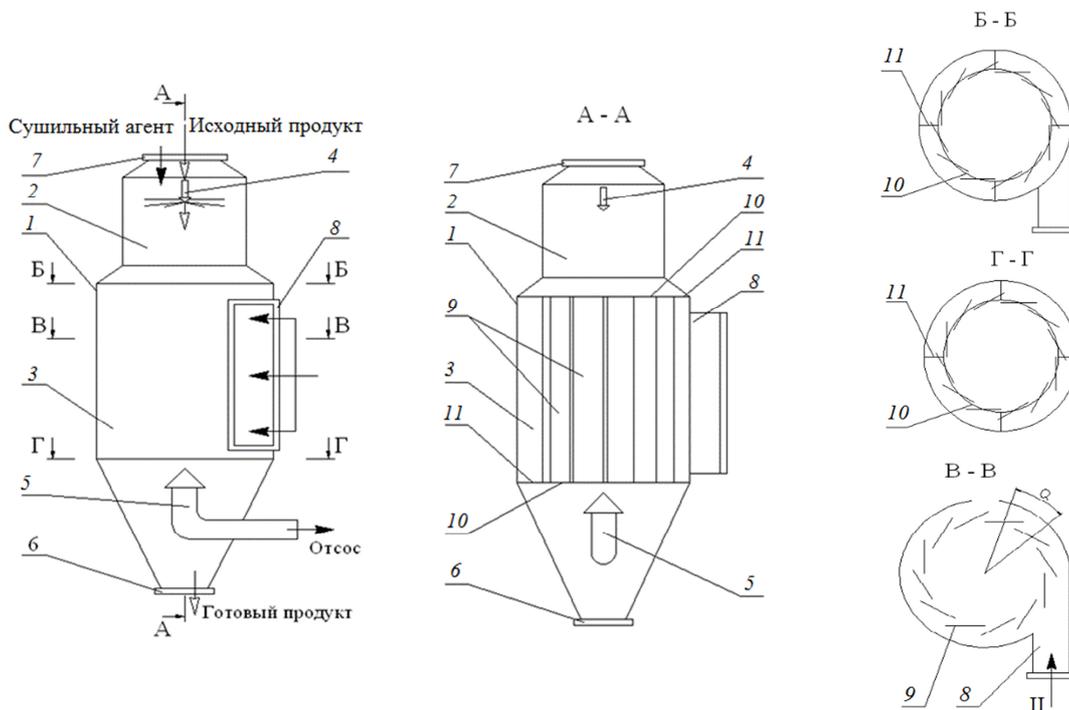


Рис. 2. Распылительная сушилка [2]: 1 – сушильная камера; 2, 3 – полые цилиндры; 4 – распылитель; 5 – система отсоса; 6 – узел выгрузки; 7, 8 – патрубок для ввода сушильного агента; 9 – вертикальные прямоугольные перегородки; 10 – крепления; 11 – стержневые крепежные элементы

Fig. 2. Spray dryer [2]: 1 – drying chamber; 2, 3 – hollow cylinders; 4 – sprayer; 5 – suction system; 6 – unloading unit; 7, 8 – nozzle for entering the drying agent; 9 – vertical rectangular partitions; 10 – fasteners; 11 – rod fasteners

На основе содержания публикаций [3–7] и авторских эмпирических данных сделано заключение о том, что проектирование оригинальных конструкций сушильных агрегатов при конвективно-радиационном подводе тепловой энергии к объекту сушки является перспективным направлением развития распылительной сушильной техники.

Рекомендован оригинальный аппарат для обез-

воживания распыленных частиц при конвективно-радиационном подводе тепловой энергии [8] с вихревым аэродинамическим режимом (рис. 3, 4), позволяющий увеличить продолжительность нахождения материала в зоне сушки при увеличении времени обезвоживания и минимизировать вероятность налипания дисперсных частиц на внутренней стенке аппарата.

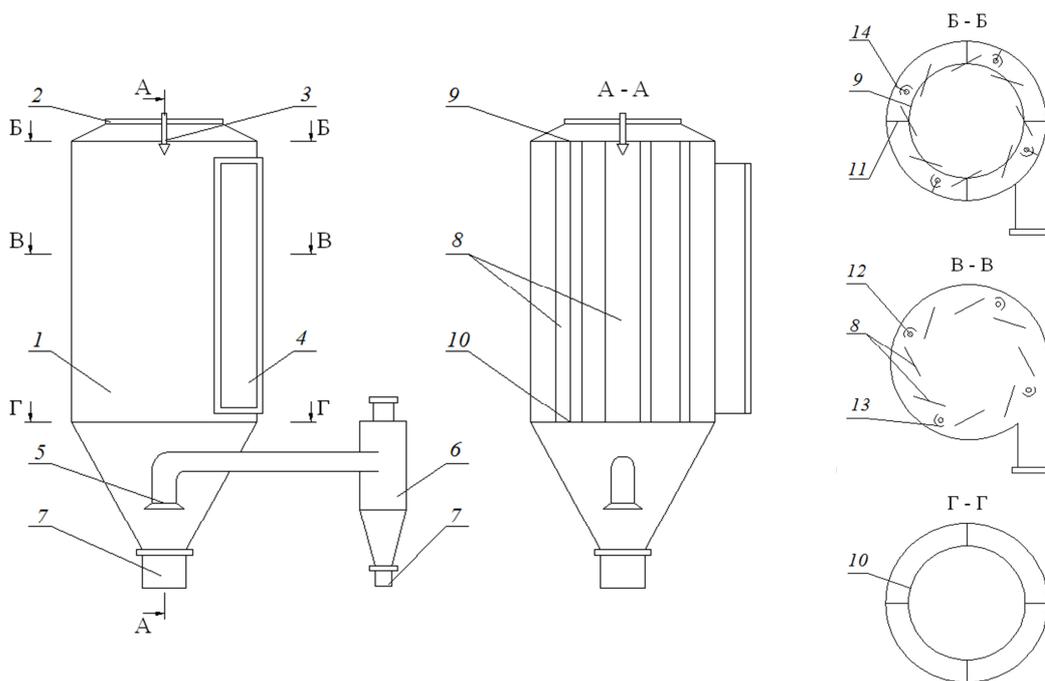


Рис. 3. Установка конвективно-радиационной распылительной суши [9]:
1 – сушильная камера; 2, 4 – патрубок для ввода сушильного агента; 3 – распылитель;
5 – система отсоса; 6 – циклон; 7 – сборник сухого материала; 8 – вертикальные прямоугольные перегородки;
9, 10 – крепления; 11 – стержневые крепежные элементы; 12 – излучатели КГТ-220-1000;
13 – отражатели; 14 – крепления

Fig. 3. Installation of convective radiation spray drying [9]:
1 – drying chamber; 2, 4 – nozzle for entering the drying agent; 3 – sprayer;
5 – suction system; 6 – cyclone; 7 – collection of dry material; 8 – vertical rectangular partitions;
9, 10 – fasteners; 11 – rod fasteners; 12 – emitters KGT-220-1000;
13 – reflectors; 14 – fasteners

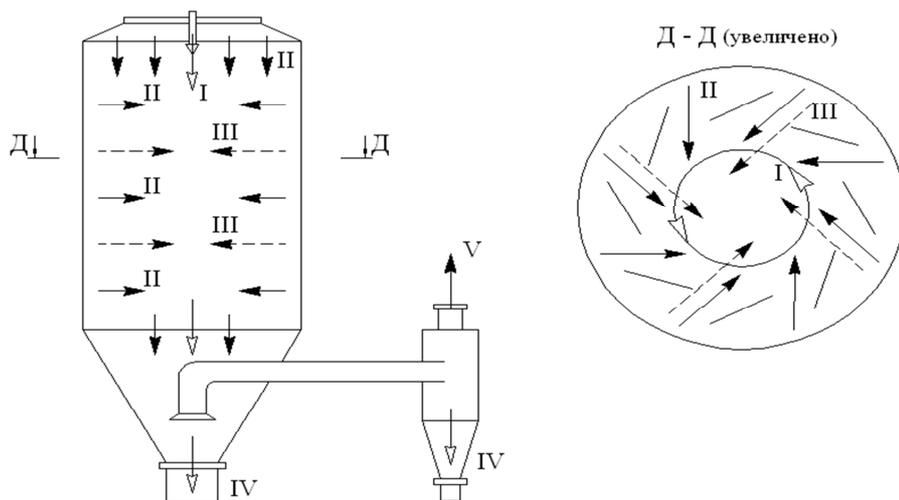


Рис. 4. Схема распределения потоков в установке конвективно-радиационной распылительной суши [8]:
I – исходный продукт; II – сушильный агент; III – инфракрасное излучение;
IV – сухой продукт; V – отработавший сушильный агент; Д-Д – сушильная камера в разрезе

Fig. 4. Flow distribution scheme of the convective radiation spray drying unit [8]:
I – initial product; II – drying agent; III – infrared radiation;

IV – dry product; V – spent drying agent; Д–Д – the drying chamber in the section

Данная конструкция обеспечивает рост скорости обезвоживания при комбинации инфракрасного и конвективного поступления тепловой энергии, что предопределяет расширение ареала распылительной сушильной технологии для влагоудаления из диспергированных продуктов растительной природы без снижения качественных параметров. При комбинации видов подводимой тепловой энергии конвективная составляющая обеспечивает влагоудаление в активном аэродинамическом режиме, а инфракрасная – бережные температурные режимы и, по

этой причине, повышенные качественные параметры высушенного продукта. К тому же рекомендована распылительная сушилка (рис. 5), которая позволяет полностью исключить контакт распылительных частиц продукта с галогенными излучателями, который приводит в выходу установки из строя, за счет расположения галогенных излучателей выше зоны распыления продукта, при этом смесь продукта и сушильного агента движется по нисходящей траектории.

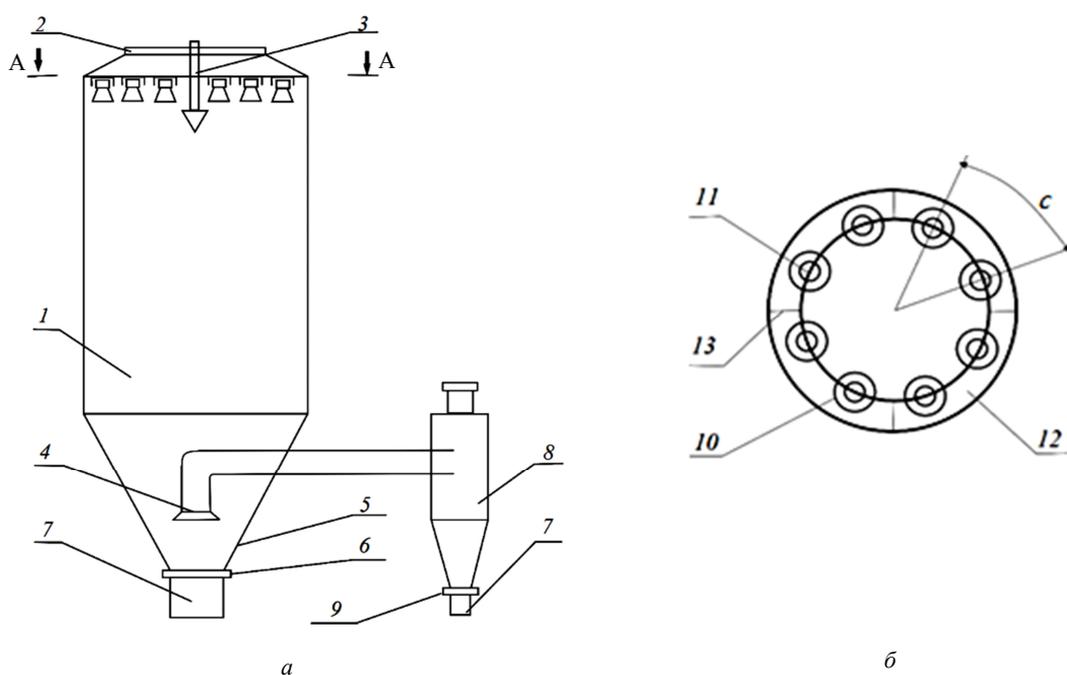


Рис. 5. Конструкция предлагаемой конвективно-радиационной распылительной сушилки:
а – общий вид: 1 – камера; 2 – штуцер; 3 – распылительное устройство; 4 – система откачки;
5 – выгрузочный отсек; 6, 9 – патрубки; 7 – приемный резервуар; 8 – циклон;

б – сушильная камера в поперечном разрезе: 10 – галогенные излучатели;
11 – патроны; 12 – кольцевая панель; 13 – стержневые крепежные элементы; c – угол между патронами

Fig. 5. The design of the proposed convective radiation spray dryer:
а – general view: 1 – chamber; 2 – fitting; 3 – spray device; 4 – pumping system;
5 – unloading compartment; 6, 9 – nozzles; 7 – receiving tank; 8 – cyclone;

б – drying chamber in cross section: 10 – halogen radiators; 11 – cartridges; 12 – ring panel; 13 – rod fasteners;
 c – the angle between the cartridges

Последовательность функционирования аппарата: изначально высушиваемый материал поступает сквозь распылительное устройство 3 в зону обезвоживания камеры 1. Теплоноситель поступает по штуцеру 2. Дисперсные частицы под влиянием теплоносителя и радиационного подвода энергии обезвоживаются и далее отводятся посредством системы откачки 4 и отделяются от отработанного теплоносителя в циклоне 8; высушенный материал снизу циклона поступает в приемный резервуар 7 сквозь патрубок 9, подача высушенного материала снизу

выгрузочного отсека 5 в резервуар 7 осуществляется сквозь патрубок 6. В полости сушильной камеры 1 имеются галогенные излучатели 10, установленные в патроны 11, которые размещены и жестко зафиксированы с равным шагом круговым массивом на кольцевой панели 12, соединенной с внутренней поверхностью сушильной камеры в верхней ее части стержневыми крепежными элементами 13. Угол c между патронами равен $360 / n$, где n – количество патронов, которое зависит от диаметра сушильной камеры и расходных характеристик сушилки. Па-

троны 11 для галогенных излучателей размещены на кольцевой панели 12, закрепленной на внутренней стенке цилиндрического корпуса сушильной камеры 1 (см. рис. 5, а). Галогенные излучатели 10 выполняют функцию подвода лучистой энергии к объекту сушки, при возможности объемного энергоподвода к нему, ввиду пропускательной способности излучения и возможности обеспечить большую плотность теплового потока при его регулировании вследствие малой инерционности излучателей при смене режима подвода тепла.

Конструкторская специфика аппаратов для обезвоживания в распыленном состоянии обусловлена способами подвода тепловой энергии, технологическими условиями и ограничениями, параметрами высушиваемого продукта и конечной порошковой субстанции, а также ее удельным выходом, особенностями операции распыливания и др.

Заключение

Проведена оценка перспективных конструкторских решений для осуществления сушки жидких

пищевых систем. Следует отметить, что обоснование способа распылительной сушки жидкого пищевого материала и конструктивного исполнения аппарата должно опираться на изучение комплекса параметров и характеристик объекта обезвоживания, а также на построение и решение математической модели процессов тепломассообмена и обмена на границе фазового раздела и их механизм при разработке рационального способа влагоудаления для обеспечения качественных показателей готовой продукции и энерго- и ресурсосбережения. Предложенные конструкции установок рекомендуются для организации процесса сушки жидких продуктов, в частности для сушки бульонов и гидролизатов в технологиях рыбной продукции. Целью дальнейших исследований будет являться определение рациональных режимных параметров эксплуатации разработанных установок для их последующего практического использования на предприятиях отрасли.

Список источников

1. Пат. на полезную модель 154840 РФ, F26B17/10 (2006.01). Распылительная сушилка / Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А., Васина Н. П., Феклунова Ю. С., Губа О. Е.; 2014148752/06; заявл. 03.12.2014; опубл.: 10.09.2015, Бюл. № 25.
2. Пат. на полезную модель 160793 РФ, МПК F26B 17/10 (2006.01), F26B 3/12 (2006.01). Распылительная сушилка / Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А., Феклунова Ю. С., Теличкина Э. Р., Губа О. Е.; 2015120308/06; заявл. 28.05.2015; опубл.: 10.04.2016, Бюл. № 10.
3. Сагдуллаев Б. Т., Шахидоятов Р. Х., Сафонова Э. В., Ходжаева М. А., Турахожаев М. Т. Технология получения сухого экстракта из корней *Althaea armeniaca* // Хим.-фармацевт. журн. 2003. Т. 37. № 7. С. 18–19.
4. Петровичев О. А. Исследование тепломассообменных и гидромеханических процессов при распылительной сушке пектинового экстракта: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Астрахань, 2007. 58 с.
5. Максименко Ю. А. Исследование кинетики процесса распылительной сушки овариальной жидкости

- рыб осетровых пород в технологии икорного золья // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2011. № 2. С. 162–166.
6. Харенко Е. Н., Максименко Ю. А., Терешонков С. А., Дмитриева Е. А. Исследование статки процесса сушки овариальной жидкости рыб осетровых пород для совершенствования технологии икорного золья // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2012. № 2. С. 178–181.
7. Акулич П. В., Темрук А. В., Акулич А. В. Моделирование и экспериментальное исследование тепло- и влагопереноса при СВЧ-конвективной сушке растительных материалов // Инженер.-физич. журн. 2012. Т. 85. № 5. С. 951–958.
8. Алексанян И. Ю., Максименко Ю. А., Губа О. Е., Феклунова Ю. С. Распылительная сушилка // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2015. № 1 (5). С. 61–66.

References

1. Aleksanian I. Yu., Maksimenko Yu. A., Vasina N. P., Feklunova Yu. S., Guba O. E. *Raspylitel'naia sushilka* [Spray Dryer]. Patent na poleznuiu model' 154840 RF; 10.09.2015.
2. Aleksanian I. Yu., Maksimenko Yu. A., Feklunova Yu. S., Telichkina E. R., Guba O. E. *Raspylitel'naia sushilka* [Spray Dryer]. Patent na poleznuiu model' 160793 RF; 10.04.2016.
3. Sagdullaev B. T., Shakhidoyatov R. Kh., Safonova E. V., Khodzhaeva M. A., Turakhozaev M. T. *Tekhnologiya polucheniia sukhogo ekstrakta iz kornei Althaea armeniaca* [Technology for obtaining dry extract from the roots of *Althaea armeniaca*]. *Khimiko-farmatsevticheskii zhurnal*, 2003, vol. 37, no. 7, pp. 18-19.
4. Petrovichev O. A. *Issledovanie teplomassoobmennyykh i gidromekhanicheskikh protsessov pri raspylitel'noi sushke pektinovogo ekstrakta. Avtoreferat dissertatsii ... kand.*

- tekh. nauk* [Investigation of heat and mass transfer and hydromechanical processes during spray drying of pectin extract. Abstract of the dissertation ... Candidate of Technical Sciences]. Astrakhan', 2007. 58 p.
5. Maksimenko Yu. A. *Issledovanie kinetiki protsessa raspylitel'noi sushki ovarial'noi zhidkosti ryb osetrovyykh porod v tekhnologii ikornogo zolia* [Investigation of the kinetics of the spray drying process of ovarian liquid of sturgeon fish in the technology of caviar sol]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2011, no. 2, pp. 162-166.
6. Kharenko E. N., Maksimenko Yu. A., Tereshonkov S. A., Dmitrieva E. A. *Issledovanie statiki protsessa sushki ovarial'noi zhidkosti ryb osetrovyykh porod dlia sovershenstvovaniia tekhnologii ikornogo zolia* [Investigation of the statics

of the drying process of ovarian liquid of sturgeon fish to improve the technology of caviar sol]. *Vestnik Astrakhanского государственного технического университета. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2012, no. 2, pp. 178-181.

7. Akulich P. V., Temruk A. V., Akulich A. V. Modelirovanie i eksperimental'noe issledovanie teplo- i vlagoprenosa pri SVCh-konvektivnoi sushke rastitel'nykh materialov [Modeling and experimental study of heat and moisture

transfer during microwave convective drying of plant materials]. *Inzhenerno-fizicheskii zhurnal*, 2012, vol. 85, no. 5, pp. 951-958.

8. Aleksanian I. Iu., Maksimenko Iu. A., Guba O. E., Feklunova Iu. S. Raspylitel'naia sushilka [Spray Dryer]. *Tekhnologii pishchevoi i pererabatyvaiushchei promyshlennosti APK – produkty zdorovogo pitaniia*, 2015, no. 1 (5), pp. 61-66.

Статья поступила в редакцию 25.12.2023; одобрена после рецензирования 01.02.2024; принята к публикации 05.03.2024
The article was submitted 25.12.2023; approved after reviewing 01.02.2024; accepted for publication 05.03.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Юрий Александрович Максименко – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; ott@astu.org

Yuriy A. Maksimenko – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; ott@astu.org

Ольга Ивановна Коннова – ассистент кафедры технологии товаров и товароведения; Астраханский государственный технический университет; Okonnova88@gmail.com

Olga I. Konnova – Lecturer of the Department of Product Technology and Commodity Science; Astrakhan State Technical University; Okonnova88@gmail.com

Игорь Юрьевич Алексанян – доктор технических наук, профессор; профессор кафедры технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; 16081960igor@gmail.com

Igor Yu. Aleksanyan – Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; 16081960igor@gmail.com

Наталья Павловна Мемедейкина – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой технологических машин и оборудования; Астраханский государственный технический университет; zolinatashka@mail.ru

Nataliia P. Memedeykina – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Technological Machines and Equipment; Astrakhan State Technical University; zolinatashka@mail.ru

