

Энергоэффективный экструдер для переработки пищевого сырья

Куручкин А.А., Потапов М.А.

Аннотация. Актуальность совершенствования оборудования для термопластической экструзии пищевого сырья базируется, с одной стороны на высокой эффективности этого технологического процесса, а с другой – его весьма низкой энергоэффективности, которая препятствует широкому применению достаточно простых в устройстве и не затратных в эксплуатации одношнековых экструдеров. Гипотеза о возможности замены в автогенном экструдере шнекового рабочего органа на винтовой и применении для нагрева обрабатываемого сырья более энергосберегающего способа, чем в существующем оборудовании, может быть на первом этапе исследований конкретизирована путем теоретического обоснования конструктивно-технологической схемы энергоэффективного термовакуумного экструдера. В работе представлено обоснование модернизации экструдера на основе применения одного из наиболее энергоэффективных способов получения теплоты – диэлектрического сверхвысокочастотного (СВЧ) нагрева обрабатываемого пищевого сырья.

Ключевые слова: пищевое сырье, термовакуумная экструзия, энергоэффективный экструдер, винтовой насос, сверхвысокочастотный нагрев.

Для цитирования: Куручкин А.А., Потапов М.А. Энергоэффективный экструдер для переработки пищевого сырья // Инновационная техника и технология. 2023. Т. 10. № 1. С. 69–72.

Energy efficient extruder for food processing

Kurochkin A.A., Potapov M.A.

Abstract. The relevance of improving equipment for thermoplastic extrusion of food raw materials is based, on the one hand, on the high efficiency of this technological process, and on the other hand, its very low energy efficiency, which prevents the widespread use of single-screw extruders, which are quite simple in design and not expensive to operate. The hypothesis about the possibility of replacing a screw working body in an autogenous extruder with a screw one and using a more energy-saving method for heating the processed raw materials than in existing equipment can be specified at the first stage of research by theoretical justification of the design and technological scheme of an energy-efficient thermal vacuum extruder. The paper presents a rationale for the modernization of the extruder based on the use of one of the most energy-efficient methods of obtaining heat - dielectric microwave heating of processed food raw materials.

Keywords: food raw materials, thermal vacuum extrusion, energy-efficient extruder, screw pump, microwave heating.

For citation: Kurochkin A.A., Potapov M.A. Energy efficient extruder for food processing. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2023. Vol. 10. No. 1. pp. 69–72. (In Russ.).

Введение

В процессе решения проблемы, связанной с высокой энергоемкостью способа термопластического воздействия на пищевое сырье, на наш взгляд, целесообразно предварительно проанализировать особенности термовакуумной экструзионной тех-

нологии, позволяющей заметно снизить рабочую температуру обработки сырья до значений, приемлемых с точки зрения сохранности его полезных ингредиентов. При этом следует иметь в виду, что термовакуумная экструзия, основанная на применении оборудования с рабочим органом в виде шнека,

остается заложником крайне неэффективного преобразования электрической энергии в тепловую [3].

Имеются предположения, основанные на научных исследованиях в области экструзионных технологий и запатентованной конструкции энергосберегающего экструдера, что одним из возможных вариантов кардинального снижения энергопотребления одношнекового экструдера является замена его шнека винтовым механизмом. При этом нагрев сырья в процессе его термовакуумной обработки предлагается осуществлять более энергоэффективными способами нагрева – индуктивным или диэлектрическим [3].

Индуктивный способ нагрева обрабатываемого сырья реализован в энергосберегающем экструдере, в котором нагревающее устройство выполнено в виде стальной трубы, охваченной индуктором [3].

В энергосберегающем экструдере нагрев сырья осуществляется за счет его теплообмена с внутренней стенкой стальной трубы нагревающего устройства, т.е. ферромагнитной частью нагревателя. К недостаткам такого технического решения можно отнести неравномерный нагрев обрабатываемого сырья: перегрев его верхнего слоя и недостаточно высокую температуру нагрева более глубоких слоев. Как следствие этого возможно пригорание сырья к внутренней поверхности трубы нагревающего устройства, увеличение времени нахождения сырья в рабочем объеме нагревающего устройства с одновременным существенным повышением энергозатрат индукционным нагревателем. На наш взгляд, устранение перечисленных недостатков связано с заменой индукционного способа нагрева обрабатываемого сырья на диэлектрический сверхвысокочастотный (СВЧ) нагрев.

Известно, что СВЧ-нагрев имеет ряд преимуществ перед традиционными методами термической обработки:

– высокая скорость нагрева и его равномерность вследствие «объемной» подачи тепла;

– сохранение витаминов и других незаменимых нутриентов пищевого продукта;

– возможность мягкого режима термообработки, подачи тепла импульсами, т.е. ступенчатого нагрева;

– создание заданной температурной неравномерности при термообработке пищевых продуктов путем подбора формы рабочих органов СВЧ-генератора или применением заслонов (экранов), регулирующих пропускание микроволн к продукту;

– высокая экономичность процесса (отсутствие контакта с теплоносителем и генерация тепла в самом продукте сводят к минимуму потери тепла на нагрев оборудования и во внешнюю среду; потребление электроэнергии СВЧ-генераторами значительно меньше, чем электроплитами и другими нагревательными приборами) [5].

Целью работы является обоснование рабочего процесса энергоэффективного экструдера для переработки пищевого сырья.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлась конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера.

В работе применялся аналитический метод исследований, основанный на системном подходе к рассматриваемой проблеме.

Результаты и их обсуждение

Конструктивно-технологическая схема предлагаемого энергоэффективного экструдера состоит из мотор-редуктора 1 (рис. 1), загрузочной камеры 4 с расположенными в ней металлическим ситом 5, питающим шнеком 18 с дополнительной лопастью 6 и приводом 7, составного корпуса, фильтры матрицы 13, вакуумной камеры 14, шлюзового затвора 15, вакуумного насоса 3, вакуум-регулятора 10 и вакуумметра 11.

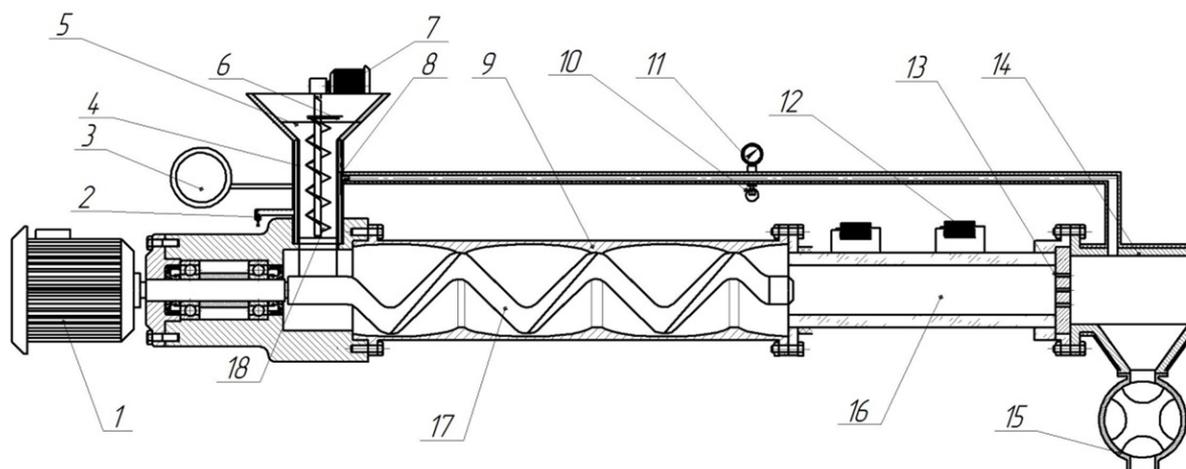


Рис.1. Конструктивно-технологическая схема энергоэффективного экструдера

В передней части составного корпуса расположен винтовой насос, состоящий из металлического ротора 17 и статора 9 с эластичной обкладкой. Между винтовыми поверхностями ротора и статора образованы рабочие камеры (капсулы-шлюзы), которые периодически открываются и закрываются, что приводит к всасыванию и нагнетанию насосом перекачиваемой среды. При этом количество таких камер (замкнутых полостей на единицу длины винтовой пары) определяет максимальное давление винтового насоса, а объем каждой полости – его производительность.

Особенностью большинства винтовых насосов является ограничение, связанное с максимальным размером перемещаемых частиц. Например, для насосов серии ВН и ВНП этот размер составляет 5 мм.

С целью недопущения попадания частиц обрабатываемого сырья с большим размером, в верхней части загрузочной камеры над ее питающим шнеком предлагается установить металлическое сито с ячейками диаметром не больше 5 мм. Такой размер ячеек, сита обеспечит штатную работу винтового насоса.

Просеивание частиц обрабатываемого сырья обеспечивается вращающейся лопастью, закрепленной над витками питающего шнека, при этом ячейки сита выполнены с диаметром, меньшим диаметра отверстий фильеры матрицы, что предотвращает их забивание частицами обрабатываемого сырья.

Во второй части корпуса расположено нагревающее устройство, выполненное в виде толстостенной трубы 16 и двух магнетронов 12, оснащенных автоматической системой управления.

В качестве магнетрона, применяемого для нагрева (получения радиоволн СВЧ диапазона) можно использовать СВЧ генератор с рабочей частотой 2375 МГц, выходной мощностью 1,0 кВт и КПД 62 %. Магнетрон имеет воздушное охлаждение; его магнитная система представляет постоянный магнит, а вывод энергии в камеру нагревания осуществляется с помощью коаксиального волновода.

Труба изготовлена из радиопрозрачного термостойкого материала. Она закреплена в корпусе экструдера и с помощью уплотнительного устройства соединена с винтовым насосом. Свободный торец трубы упирается в фильеру матрицы 13, представляющую собой пластину с одним или несколькими отверстиями определенного диаметра. Труба с внешним диаметром 0,1 м и толщиной стенок 0,01 м гарантированно выдерживает нагрев до температуры 200-2500С с давлением в рабочем объеме 2,5-3,0 МПа.

Фильера матрицы расположена на выходе сырья из нагревающего устройства в вакуумную камеру экструдера. Количество и диаметр отверстий фильеры зависят от потребной производительности экструдера.

Повышение температуры обрабатываемого сырья в тепловой камере экструдера происходит за счет диэлектрического нагрева, при котором тепло выделяется непосредственно в обрабатываемом сырье под действием электромагнитных колебаний индуцированных токов. Таким образом, перенос теплоты в системе «генератор-среда-объект нагрева» осуществ-

ляется электромагнитными колебаниями, при этом тепловая энергия генерируется непосредственно в объекте нагрева.

Конструкция загрузочной камеры 4 экструдера позволяет осуществлять предварительный подогрев обрабатываемого сырья. С этой целью она выполнена в виде цилиндрической двустенной конструкции, межстенное пространство 8 которой с помощью трубопроводов соединено с вакуумным насосом 3 и вакуумной камерой 14 экструдера.

Загрузочная камера 4 и вакуумная камера 14 экструдера с внешней стороны покрыты теплоизоляционным материалом (например, напыляемым утеплителем PENOPLEX). Соединяющий их трубопровод также теплоизолирован.

В связи с тем, что теплота горячего пара будет расходоваться на нагрев сырья, поступающего в загрузочную камеру, большая часть пара будет конденсироваться в этой части экструдера. Для удаления конденсата из межстенного пространства 7 загрузочной камеры 4 в ее нижней части предусмотрена специальная пробка 2.

Шлюзовой затвор 15 служит для выгрузки готового продукта без разгерметизации вакуумной камеры 14 энергосберегающего экструдера. Он представляет собой корпус цилиндрической формы и вращающуюся в нем многолопастную (4-12 шт.) крыльчатку (ротор) на шариковых подшипниках.

Вакуумный насос 3 служит для создания в вакуумной камере экструдера пониженного давления (давления ниже атмосферного), равного 0,05-0,07 МПа.

Вакуум-регулятор 10 необходим для поддержания пониженного давления в вакуумной камере 14 экструдера в заданных пределах при требуемых производительности экструдера, а также влажности обрабатываемого сырья и готового продукта. Для контроля давления в вакуумной камере энергосберегающего экструдера служит вакуумметр 11.

Рабочий процесс предлагаемого экструдера осуществляется следующим образом. Перерабатываемое сырье поступает в загрузочную камеру машины. Соприкасаясь с горячими стенками камеры, обрабатываемое сырье предварительно подогревается, а затем посредством винтового насоса под напором 1,0-1,2 МПа подается в нагревательную камеру. В камере сырье под действием нагревающего устройства повышает свою температуру до 100-110°C и выводится через фильеру матрицы в вакуумную камеру.

Попадая из области высокого давления (камера нагревания экструдера) в зону низкого давления (вакуумная камера), пищевое сырье подвергается декомпрессионному взрыву, который представляет собой процесс мгновенного перехода воды, находящейся в сырье, в пар. Этот процесс характеризуется выбросом большого количества энергии за короткий промежуток времени и приводит к деструкции клеточных структур обрабатываемого сырья.

Выводы

Сравнение конструктивно-технологической схемы предлагаемого энергоэффективного экструдера с известным к настоящему времени оборудованием позволяет сделать вывод о том, что существенное снижение энергоемкости процесса переработки пищевого сырья связано с синергетическим эффектом от взаимодействия его экструзи-

онной и вакуумной составляющих, а реализация предлагаемого технического решения может быть осуществлена за счет применения диэлектрического нагревателя в автогенном экструдере и замены его шнекового рабочего органа на винтовой.

Литература

- [1] Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование термовакuumного эффекта в рабочем процессе модернизированного экструдера /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 3. С. 14-20. EDN: UOHJWR
- [2] Курочкин, А.А. Технология производства органических удобрений на основе экструзионной термовакuumной обработки птичьего помета /А.А. Курочкин, М.А. Потапов //Инновационная техника и технология. 2018. № 2. С. 28-32. EDN: SIUZNF
- [3] Оборудование перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015. 363 с. EDN: VWIOIB
- [4] Пат. 2787167 Российская Федерация МПК А23Р 30/20. Энергосберегающий экструдер / заявители: В.М. Зимняков, Ю.В. Польшаный; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенский ГАУ. – №2021138060; заявл. 20.12.2021; опубл. 29.12.2022, Бюл. № 1. 8 с.
- [5] Ушакова, Н.Ф. Опыт применения СВЧ-энергии при производстве пищевых продуктов / Н.Ф. Ушакова, Т.С. Копылова, В.В. Касаткин, А.Г. Кудряшова // Пищевая промышленность. 2013. № 10. С. 30-32.

References

- [1] Kurochkin, A.A. Theoretical substantiation of the thermal vacuum effect in the working process of the modernized extruder /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2015. No. 3. pp. 14-20.
- [2] Kurochkin, A.A. Technology for the production of organic fertilizers based on extrusion thermal vacuum processing of bird droppings /A.A. Kurochkin, M.A. Potapov //Innovative technique and technology. 2018. No. 2. pp. 28-32.
- [3] Equipment for processing industries /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronin. –M.: INFRA-M, 2015.363 p.
- [4] Pat. 2787167 Russian Federation IPC A23R 30/20. Energy saving extruder / Applicants: V.M. Zimnyakov, Yu.V. polyvyany; Patent holder FGOU VPO Penza State Agrarian University. - No. 2021138060; dec. 12/20/2021; publ. 12/29/2022, Bull. No. 1. 8 p.
- [5] Ushakova, N.F. Experience in the use of microwave energy in food production / N.F. Ushakova, T.S. Kopylova, V.V. Kasatkin, A.G. Kudryashova // Food industry. 2013. No. 10. pp. 30-32.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Курочкин Анатолий Алексеевич доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p>Kurochkin Anatoly Alekseevich D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(927) 382-85-03 E-mail: anatolii_kuro@mail.ru</p>
<p>Потапов Максим Александрович аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440045, Пенза, ул. Ульяновская, д. 36, кв. 37 Тел.: +7(962) 473-86-96 E-mail: makspotapov@mail.ru</p>	<p>Potapov Maxim Alexandrovich postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(962) 473-86-96 E-mail: makspotapov@mail.ru</p>