

Классификация энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии сельскохозяйственного сырья

Курочкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В.

Аннотация. Актуальность разработки энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии сельскохозяйственного сырья обусловлена чрезвычайной энергоемкостью классической экструзии, при которой преобразование электрической энергии в тепловую осуществляется на не выгодных с точки зрения термодинамики условиях. На основе анализа конструктивно-технологической схемы одного из разработанных авторами энергосберегающего экструдера систематизированы классификационные признаки, которые могут быть полезны для обоснования дальнейшего совершенствования технологии и средств механизации термовакуумной обработки пищевого сырья, а также побочной продукции сельскохозяйственного производства.

Ключевые слова: классификация, технология, энергосберегающий агрегат, термовакуумная экструзия, вакуумная камера.

Для цитирования: Курочкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В. Классификация энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии сельскохозяйственного сырья // Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12. № 1. С. 72–77.

Classification of energy-saving units for thermal vacuum extrusion of agricultural raw materials

Kurochkin A.A., Ashirov R.R., Polyakov A.V.

Abstract. The urgency of developing energy-saving units for thermovacuum extrusion of agricultural raw materials is due to the extreme energy intensity of classical extrusion, in which the conversion of electrical energy into thermal energy is carried out under conditions that are not advantageous from the point of view of thermodynamics. Based on the analysis of the design and technological scheme of one of the energy-saving extruders developed by the authors, classification features are systematized that may be useful to justify further improvement of the technology and means of mechanization of thermal vacuum processing of food raw materials, as well as by-products of agricultural production.

Keywords: classification, technology, energy-saving unit, thermal vacuum extrusion, vacuum chamber.

For citation: Kurochkin A.A., Ashirov R.R., Polyakov A.V.. Classification of energy-saving units for thermal vacuum extrusion of agricultural raw materials. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2025. Vol. 12. No. 1. pp. 72–77. (In Russ.).

Введение

В общем виде классификация экструдеров может быть осуществлена на основе всех признаков, присущих этой группе оборудования, независимо от вида обрабатываемого сырья и вырабатываемой продукции. Для обработки пищевого сырья более актуальны такие классификационные признаки как конструктивное исполнение и термодинамическая характеристика, а также тип рабочего органа и его основные рабочие параметры – частота вращения,

соотношение диаметра и длины, профиль шнека и фильеры [Воронеж].

Фокусируясь на оборудовании, предназначенном для обработки сельскохозяйственного сырья, можно отметить, что в этом сегменте экструзионных технологий наиболее широкое применение получили экструдеры с одним или двумя шнеками, а рабочий процесс этих машин осуществляется по автогенному, политропному или изотермическому принципу термодинамики.

В автогенных экструдерах тепло, необходи-

мое для термической обработки сырья, генерируется непосредственно в камере экструдера за счет диссипации механической энергии. С этой целью специальные конструкции узлов рабочих органов экструдера (шнеки, камера, фильеры) создают сопротивление движению перемещаемого материала, что способствует его нагреву температуры до 120...200°C. Данный принцип разогрева обрабатываемого сырья используется, как правило, в одношнековых экструдерах.

В политропных экструдерах процесс термической обработки материала осуществляется как за счет внутреннего разогрева обрабатываемой массы, так и с помощью внешних источников тепла. Большинство экструдеров для варочной экструзии относится именно к такому типу и внутренний разогрев у них осуществляется за счет конструкции исполнительного механизма. Для внешнего нагрева шнека (шнеков) политропного экструдера может применяться электрический, жидкостной или паровой способ.

Типаж изотермических экструдеров ограничивается спецификой их применения: они предназначены для формования макаронных изделий и хлебного теста. В таких машинах тепло контроли-

руется за счет охлаждения внешним теплообменником [Воронеж 13]

Горячая экструзия сельскохозяйственного сырья является весьма энергозатратной технологической операцией, высокое качество которой обеспечивается за счет применения дорогостоящего оборудования. В ряде случаев целесообразно применять более дешевые экструдеры с коротким шнеком и автогенным режимом, рабочий цикл которых (в упрощенном виде) представляет собой перемещение обрабатываемого сырья в рабочем тракте машины от места загрузки до фильеры матрицы с одновременным его нагревом до необходимой температуры [1, 5].

Анализ научно-технической и патентной информации показал, что за последние 15-20 лет в России и за рубежом появились экструзионные технологии, в основе которых заложен принципиально новый способ воздействия на выходящий из фильеры матрицы машины экструдат [3, 6-12]. Эта информация стала основанием включения в качестве классификационного признака экструдеров способа воздействия на экструдат при выходе его из фильеры матрицы машины (рис. 1).

Данный признак характеризует поведение экс-

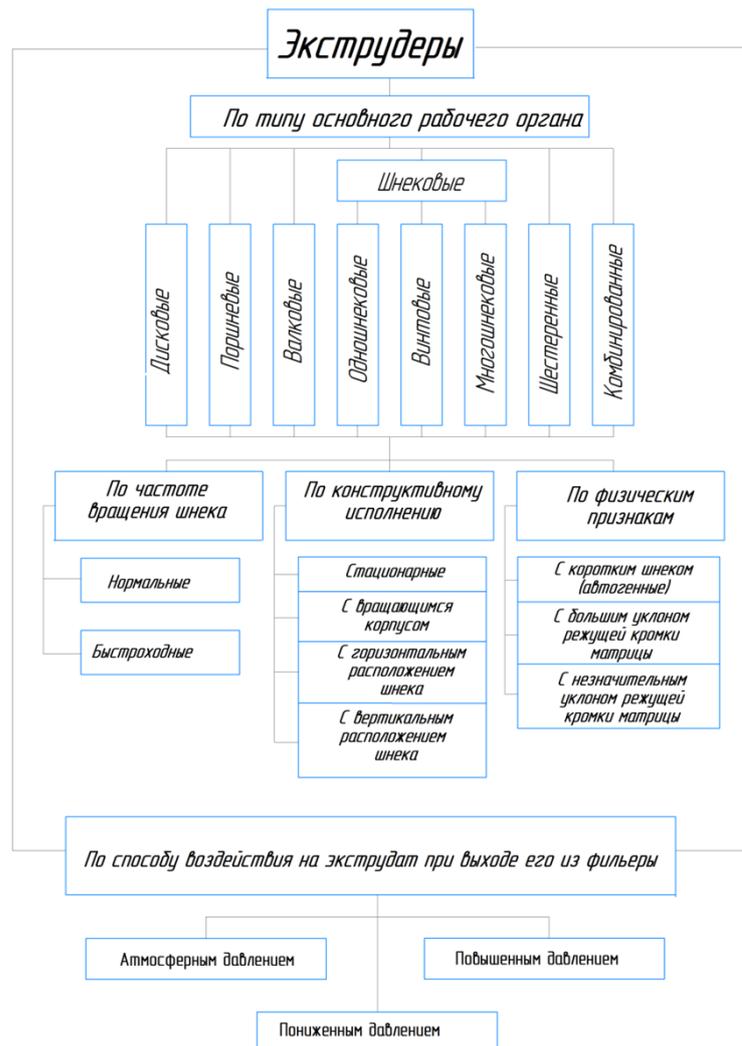


Рис.1. Актуальная классификация экструдеров

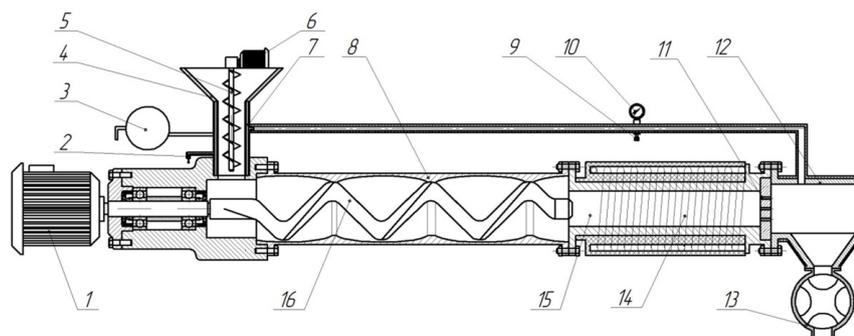


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема энергосберегающего термовакуумного агрегата: 1 – электропривод винтового насоса; 2 – пробка слива конденсата; 3 – вакуумный насос; 4 – бункер; 5 – загрузочный шнек; 6 – привод загрузочного шнека; 7 – межстенное обогреваемое пространство; 8 – статор винтового насоса; 9 – вакуум-регулятор; 10 – вакуум-метр; 11 – фильера; 12 – вакуумная камера; 13 – шлюзовой затвор; 14 – индуктор; 15 – металлическая труба; 16 – ротор винтового насоса

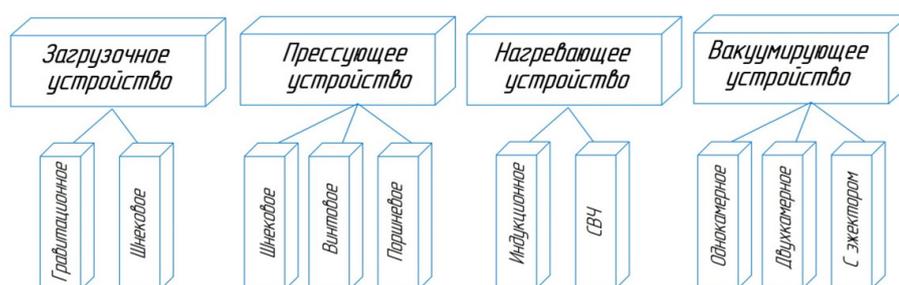


Рис. 3. Классификационные признаки энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии

трудата при выходе из фильеры экструдера в среду с атмосферным, повышенным (избыточным) или пониженным (вакуум) давлением.

Первый вариант характеризует «классическую» горячую экструзию; в процессе реализации второго обеспечивается определенное «укрошение» взрывного процесса на выходе массы из фильеры, что позволяет поддерживать требуемую форму продукта с учётом особенностей его критериев (влажности, пористости и т.д.) [18].

В машине, с помощью которой реализуется вакуумное воздействие на выходящее из фильеры сырье, поставлена задача интенсификации экструзионного процесса путем частичной замены в нем термической составляющей на механическую.

В таком экструдере резкое снижение давления при выходе экструдата из фильеры (зона повышенного давления) в вакуумную камеру (зона пониженного давления), приводит к возникновению дополнительной движущей силы – нерелаксируемому градиенту общего давления, в результате чего происходит бурное парообразование по всему объему экструдата, и формирующийся молярный поток выносит из продукта вместе с паром и часть влаги в жидкой фазе. Таким образом, механизм обезвоживания оказывается аналогичным механическому удалению влаги посредством прессования или центрифугирования.

При этом регулируя величину барометрического давления, а значит и процесс парообразования, можно добиться как изменения влажности капил-

лярно-пористого экструдата, так и частичной или полной его реструктуризации. Зная границы структурных изменений экструдата, параметры вакуумного воздействия на него рекомендуется выбирать именно из таких соображений [14]

Целью работы является обоснование нового классификационного признака энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии, отражающего актуальное направление в их совершенствовании.

Объекты и методы исследования

Объектом исследований являлась научно-техническая и патентная информация относительно устройства, принципа действия и конструктивных особенностей агрегатов для термовакуумной экструзии сельскохозяйственного сырья.

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

Результаты и их обсуждение

В процессе решения проблемы, связанной со снижением энергоёмкости оборудования для реализации технологии классической экструзии, целесообразно сфокусировать внимание на термовакуумной экструзии.

Технология термовакуумной экструзии позволяет снизить рабочую температуру обработки

сырья до значений, приемлемых с точки зрения сохранности полезных ингредиентов сырья. При этом ее слабой стороной остается крайне неэффективное преобразование электрической энергии привода экструдера в теплоту, потребную для нагрева сырья.

Рассмотрим конструктивно-технологическую схему агрегата, с помощью которого можно существенно снизить энергозатраты на термовакуумную экструзию (рис. 2).

Такой агрегат представляет собой четыре относительно самостоятельных блока: загрузки сырья, его перемещения во внутреннем тракте машины (транспортирования), нагрева и вакуумной сушки готового экструдата.

В состав блока загрузки входит бункер 4, цилиндрическая часть которого выполнена в виде двустенной камеры, что позволяет осуществлять предварительный подогрев обрабатываемого сырья за счет поступающего из вакуумной камеры 12 экструдера горячего влажного пара. Подача сырья в рабочую зону транспортирующего органа может осуществляться под действием его массы или с помощью шнека 5.

Блок транспортирования сырья включает шнековый, винтовой или поршневой насос, предназначенный для подпрессовывания обрабатываемого сырья в процессе его перемещения в зону нагревания.

Блок нагрева агрегата представлен в виде трубы 15, охваченной индуктором 14, выполненным в виде нескольких витков изолированного медного

провода. Как вариант при использовании в качестве источника теплоты электромагнитных волн сверхвысокочастотного (СВЧ) диапазона в блоке нагрева могут быть применены толстостенная труба из радиопрозрачного термостойкого материала и магнетрон.

Блок вакуумной сушки включает в свой состав вакуумную камеру 12, шлюзовой затвор 13, вакуум-насос 3, вакуум-регулятор 9 и вакуум-метр 10. Блок вакуумной сушки может состоять из одной или двух камер, что позволяет осуществлять ступенчатую сушку: в первой камере – при атмосферном давлении или незначительном вакууме, а во второй камере – при высокой степени разрежения воздуха.

Представленные в анализе технические решения нашли отражения в публикациях и патентах на изобретения и полезные модели. В обобщенном виде классификационные признаки энергосберегающих агрегатов для термовакуумной экструзии могут быть представлены в виде рис. 3.

Выводы

На основе анализа конструктивно-технологической схемы энергосберегающего термовакуумного агрегата систематизированы классификационные признаки, которые могут быть полезны для обоснования дальнейшего совершенствования технологии и средств механизации термовакуумной обработки сельскохозяйственного сырья.

Литература

- [1] Инновации в экструзии /А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, А.А. Блинохватов. [и др.]. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 247 с.
- [2] Денисов, А.О. К вопросу расширения классификационных признаков пищевых экструдеров /А.О. Денисов, Н.В. Живаева // Инновационная техника и технология. 2015. № 3. С. 73-78.
- [3] Курочкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата / А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 17-22.
- [4] Курочкин, А.А. Теоретическое обоснование термовакуумного 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. 15-20.
- [5] Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1: Учеб. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред.

References

- [1] Innovations in extrusion /A.A. Kurochkin, P.K. Garkina, A.A. Blinokhvatov [et al.] Penza: RIO PHAU, 2018. – 247 p.
- [2] Denisov, A.O. On the issue of expanding the classification features of food extruders /A.O. Denisov, N.V. Zhivaeva //Innovative machinery and technology. 2015. No. 3. Pp. 73-78.
- [3] Kurochkin, A. A. System approach to the development of the extruder for thermal vacuum treatment of the extrudate /A.A. Kurochkin // Innovative engineering and technology. 2014. No 4 (01). Pp. 17-22.
- [4] Kurochkin, A. A. Theoretical substantiation of thermal vacuum effect in the working process of modernized extruder /A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina //Izvestiya Samara state agricultural Academy. 2015. No. 3. Pp. 15-20.
- [5] Machines and apparatuses of food production. In 2 books of Book 1: Textbook for universities / S.T. Antipov, I.T. Kretov, A.N. Ostrikov et al.; Ed. akad. RASKHN V. A. Panfilova. M.: Higher. Sch., 2001. – 703 p
- [6] Equipment for processing industries /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronina. Moscow: INFRA-M, 2015. 363 p.

- акад. РАСХН В. А. Панфилова. М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
- [6] Оборудование перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015.– 363 с.
- [7] Пат. 189317 Российская Федерация МПК В29С 48/00. Экструдер с вакуумной камерой /заявители: П.К. Гарькина, В.М. Зимняков, А.А. Курочкин, О.Н. Кухарев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2019105424; заявл. 26.02.2019; опубл. 22.05.2019, Бюл. № 19. 7с.
- [8] Пат. 198439 Российская Федерация МПК А23Р 30/20. Экструдер с вакуумной камерой / заявители: П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова [и др.]; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2020110297; заявл. , 10.03.2020; опубл. 09.07.2020, Бюл. № 19. 6с.
- [9] Пат. 2783914 Российская Федерация МПК А23Р 10/25. Агрегат для термовакuumной экструзии растительного сырья /заявители: А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Гарькина, Т.В. Шептак; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГАУ.– № 2021110152; заявл. , 13.04.2021; опубл. 13.10.2022, Бюл. № 29. 9с.
- [10] Пат. 223952 Российская Федерация МПК В29С48, А23Р 30/20. Энергосберегающий экструдер /заявители: А.А. Курочкин, М.А. Потапов, В.С. Гаранин; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ.– №2023114708; заявл. 05.06.2023; опубл. 11.03.2024, Бюл. № 8. 7с.
- [11] Пат. 2807219 Российская Федерация МПК А23Р 30/20. Энергоэффективный экструдер /заявители: А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, М.А. Потапов; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ.– №2023114714; заявл. 05.06.2023; опубл. 13.11.2023, Бюл. № 32. 8с.
- [7] Pat. 189317 the Russian Federation is SPK B29C 48/00. Extruder with vacuum chamber / applicants: P.K. Garkina, V.M. Zimnyakov, A.A. Kurochkin, O.N. Kukharev; applicant and patentee of FGOU IN Penza GAU. No. 2019105424; declared. 26.02.2019; publ. 22.05.2019, Byul. No. 19. 7 p.
- [8] Pat. 198439 Russian Federation IPC A23P 30/20. Vacuum chamber extruder / applicants: P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova [et al.]; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Agrarian University. No. 2020110297; application, 03/10/2020; publ. 07/09/2020, Bul. No. 19. 6 p.
- [9] Pat. 2783914 Russian Federation IPC A23P 10/25. Unit for thermal vacuum extrusion of vegetable raw materials / applicants: A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Garkina, T.V. Sheptak; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Agrarian University. – No. 2021110152; application, 04/13/2021; publ. 13.10.2022, Bul. No. 29. 9 p.
- [10] Pat. 223952 Russian Federation IPC B29C48, A23P 30/20. Energy-saving extruder /applicants: A.A. Kurochkin, M.A. Potapov, V.S. Gararin; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Technical University. – №2023114708; application 05.06.2023; publ. 11.03.2024, Bul. No. 8. 7 p.
- [11] Pat. 2807219 Russian Federation IPC A23P 30/20. Energy-efficient extruder /applicants: A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, M.A. Potapov; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Technical University. – №2023114714; application 05.06.2023; publ. 13.11.2023, Bul. No. 32. 8 p.

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>Аширов Равиль Ринатович аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Ashirov Ravil Rinatovich upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>
<p>Поляков Александр Викторович аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Polyakov Alexander Viktorovich upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>