

Модернизация агрегата для термовакuumной экструзии сельскохозяйственного сырья

Куручкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В.

Аннотация. Актуальность модернизации агрегата для термовакuumной обработки сельскохозяйственного сырья обусловлена обременительными с точки зрения термодинамики условиями преобразования энергии в классическом процессе термопластической экструзии. Сравнение предлагаемого термовакuumного агрегата с известным к настоящему времени оборудованием позволяет сделать вывод о том, что его применение позволит существенно повысить рабочее давление экструзионного процесса, а также упростить вакуумирующую систему машины с одновременным повышением ее надежности.

Ключевые слова: модернизация, агрегат, поршневой насос, термовакuumная экструзия, вакуумная камера.

Для цитирования: Куручкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В. Модернизация агрегата для термовакuumной экструзии сельскохозяйственного сырья // Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12. № 2. С. 59–63.

Modernization of the unit for thermal vacuum extrusion of agricultural raw materials

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

Abstract. The urgency of upgrading the unit for thermal vacuum treatment of agricultural raw materials is due to the thermodynamically burdensome energy conversion conditions in the classical thermoplastic extrusion process. A comparison of the proposed thermal vacuum unit with the currently known equipment allows us to conclude that its use will significantly increase the operating pressure of the extrusion process, as well as simplify the vacuum system of the machine while increasing its reliability.

Keywords: modernization, assembly, piston pump, thermal vacuum extrusion, vacuum chamber.

For citation: Kurochkin A.A., Ashirov R.R., Polyakov A.V. Modernization of the unit for thermal vacuum extrusion of agricultural raw materials. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2025. Vol. 12. No. 2. pp. 59–63. (In Russ.).

Введение

Анализ научно-технической и патентной информации показал, что за последние 15-20 лет в России и за рубежом проходит апробация термопластической экструзионной технологии, в основе которой заложен принципиально новый способ воздействия на выходящий из фильеры матрицы машины экструдат.

В этой технологии, получившей название термовакuumной, поставлена задача более интенсивного воздействия на обрабатываемое сырье путем частичной замены в экструзионном процессе одной энергетической составляющей на другую [3, 6-12].

В термовакuumном экструдере, реализующем данную технологию, 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. Такой механизм обезвоживания экструдата напоминает механическое удаление влаги посредством прессования или центрифугирования.

С другой стороны, аккумулированная сырьем энергия в зоне высокого давления экструдера взрывообразно высвобождается в зоне пониженного давления, что приводит к вспучиванию и резкому увеличению объема обрабатываемого материала.

Под действием давления и температуры белковые цепи и крахмальные зерна разрываются, и экструдированный материал приобретает ограниченную или развитую пористую структуру, которая фиксируется за счет затвердевания крахмала, вызванного резким понижением температуры обрабатываемой среды.

В такой технологии регулируя величину барометрического давления, а значит и процесс парообразования, можно добиться как изменения влажности капиллярно-пористого экструдата в широких пределах, так и частичной или полной его реструктуризации [14].

В настоящее время эволюция термовакуумной экструзии осуществляется в направлении энергосбережения, которое реализуется в части всего экструдера или его основных систем (устройств) – загрузочной, прессующей, нагревающей и вакуумирующей (рис. 1).

Системный анализ конструктивно-технологических схем термовакуумных экструдеров и агрегатов, приведенных в научной литературе и патентах, позволяет предположить, что при перемещении сырья и его подаче к фильере под напором целесообразно использовать прессующее устройство более высокого давления. Функцию нагрева сырья можно обеспечить наиболее энергоэффективным способом – токами СВЧ, а вакуумирующую систему упростить с одновременным повышением ее надежности.

Цель работы – обоснование конструктивно-технологической схемы модернизированного энергосберегающего термовакуумного агрегата.

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

Рассмотрим конструктивно-технологическую схему энергосберегающего термовакуумного агрегата, с помощью которого можно существенно повысить рабочее давление на выходе сырья из фильеры, а также упростить вакуумирующую систему (рис. 2).

Такой агрегат представляет собой четыре относительно самостоятельных блока: загрузки сырья, его перемещения во внутреннем тракте машины (транспортирования), нагрева, а также обработки готового экструдата пониженным давлением (вакуумной обработки).

В состав блока загрузки входит камера 4, цилиндрическая часть которой выполнена в виде межстенного обогреваемого пространства 8, что позволяет осуществлять предварительный подогрев обрабатываемого сырья за счет поступающего из вакуумной камеры 15 экструдера горячего влажного пара. Подача сырья в рабочую зону транспортирующего органа осуществляется с помощью питающего шнека 9.

В верхней части загрузочной камеры расположено металлическое сито 5, а питающий шнек 9 снабжен дополнительной лопастью 6, которая при своем вращении скользит по ситу.

Блок транспортирования сырья включает поршневой насос, предназначенный для подпрессовывания обрабатываемого сырья в процессе его перемещения в зону нагревания. Поршневой насос имеет двусторонний (двойной) принцип действия, при котором поршневая полость служит для нагнетания обрабатываемого сырья под давлением в нагревательную камеру, а штоковая – для откачивания воздуха из вакуум-баллона (ресивера). Поршневая полость с загрузочной камерой соединяется посредством обратного клапана 19, а с нагревательной камерой – клапана 18.

Блок нагрева агрегата представлен в виде нагревательной камеры 17, на внешней стороне которой закреплен один или несколько магнетронов 13. В качестве нагревательной камеры применена толстостенная труба из радиопрозрачного термо-

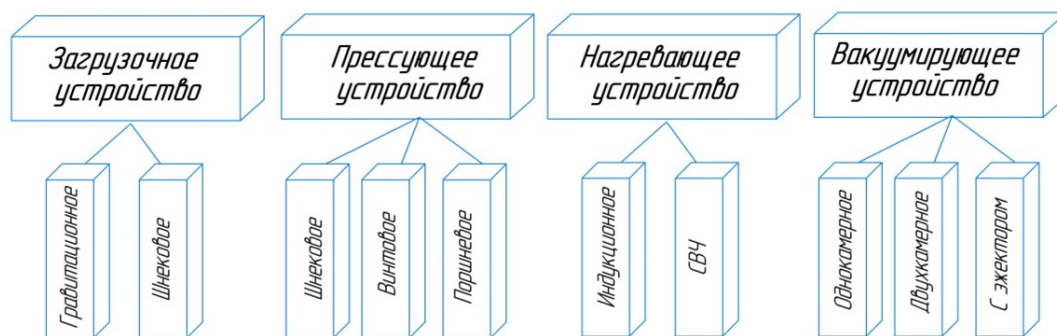


Рис. 1. Основные системы термовакуумных экструдеров

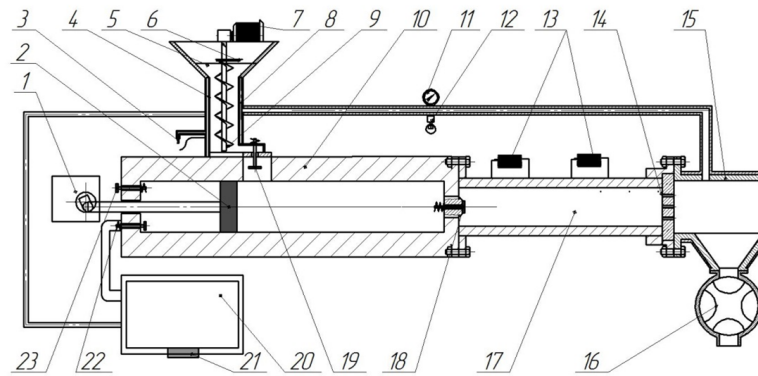


Рис. 2. Конструктивно-технологическая схема энергосберегающего термовакuumного агрегата: 1 – электропривод поршневого насоса; 2 – поршень насоса; 3 – пробка слива конденсата; 4 – загрузочная камера; 5 – металлическое сито; 6 – дополнительная лопасть; 7 – привод питающего шнека; 8 – межстенное обогреваемое пространство; 9 – питающий шнек; 10 – корпус поршневого насоса; 11 – вакуум-регулятор; 12 – вакуумметр; 13 – магнетроны; 14 – фильера матрицы; 15 – вакуумная камера; 16 – шлюзовой затвор; 17 – нагревательная камера; 18 – нагнетательный клапан; 19 – всасывающий клапан поршневого насоса; 20 – вакуум-баллон; 21 – крышка слива конденсата; 22 – всасывающий клапан вакуумного насоса; 23 – нагнетательный клапан вакуумного насоса

стойкого материала. Она закреплена в корпусе экструдера и с помощью уплотнительного устройства соединена с корпусом поршневого насоса 10.

Свободный торец трубы упирается в фильеру матрицы 14, представляющую собой пластину с одним или несколькими отверстиями определенного диаметра. Количество и диаметр отверстий фильеры зависят от потребной производительности экструдера.

Блок обработки готового экструдата пониженным давлением включает в свой состав вакуумную камеру 15, шлюзовой затвор 16, вакуум-метр 11, вакуум-регулятор 12 и вакуум-баллон 21, объединенные в единую систему с помощью трубопроводов.

Загрузочная и вакуумная камеры 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 загрузочной камеры в ее нижней части предусмотрена специальная пробка 2.

Шлюзовой затвор 16 служит для выгрузки готового продукта без разгерметизации вакуумной камеры 15 агрегата; он представляет собой корпус цилиндрической формы и вращающуюся в нем многолопастную (4-12 шт.) крыльчатку (ротор) на шариковых подшипниках.

Поршень 2 и штоковая полость насоса служат для создания в вакуумной камере экструдера пониженного давления (давления ниже атмосферного), равного 0,05-0,07 МПа. Полость соединена с вакуум-баллоном с помощью всасывающего клапана

22. Сброс воздуха в атмосферу осуществляется посредством нагнетательного клапана 23.

Вакуум-регулятор 12 необходим для поддержания пониженного давления в вакуумной камере 15 агрегата в заданных пределах при требуемых его производительности, а также влажности обрабатываемого сырья и готового продукта. Для контроля давления в вакуумной камере термовакuumного агрегата служит вакуумметр 11.

Рабочий процесс модернизированного агрегата осуществляется следующим образом. Перерабатываемое сырье с помощью транспортера или из бункера подается в загрузочную камеру агрегата. Соприкасаясь с горячими стенками камеры, обрабатываемое сырье предварительно подогревается и затем посредством поршня и нагнетательной полости насоса под напором 1,5-2,0 МПа подается в нагревательную камеру. В камере сырье под действием магнетронов 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 разрушению клеточных структур обрабатываемого сырья.

В качестве выводов по представленной работе можно отметить очевидные преимущества модернизированного термовакuumного агрегата перед запатентованными ранее энергоэффективными и энергосберегающими экструдерами [14].

Во-первых, замена шнекового или винтового насосов поршневым позволяет существенно повысить рабочее давление экструзионного процесса.

Во-вторых, использование поршневого насоса с двусторонним (двойным) принципом действия позволяет отказаться от вакуумных насосов ротационного или водокольцевого типов, работа которых при удалении горячих водяных паров из вакуумной камеры характеризуется не устойчивыми рабочими параметрами и низкой надежностью.

Литература

- [1] Инновации в экструзии /А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, А.А. Блинохватов [и др.]. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. – 247 с.
- [2] Курочкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакuumной обработки экструдата / А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 17-22.
- [3] Курочкин, А.А. Классификация энергосберегающих агрегатов для термовакuumной экструзии сельскохозяйственного сырья /А.А. Курочкин, Р.Р. Аширов, А.В. Поляков //Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12, № 1. С. 72-77.
- [4] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова [и др.]. // Инновационная техника и технология. 2015. № 1(2). С. 29-34.
- [5] 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.
- [6] 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 ГТУ.– № 2020110297; заявл., 10.03.2020; опубл. 09.07.2020, Бюл. № 19. 6с.
- [7] 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 ГТУ.– № 2021110152; заявл. , 13.04.2021; опубл. 13.10.2022, Бюл. № 29. 9с.
- [8] 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.
- [9] Пат. 2807219 Российская Федерация МПК А23Р 30/20. Энергоэффективный экструдер /заявители: А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, М.А. Потапов;

Выводы

Сравнение модернизированного термовакuumного агрегата с известным к настоящему времени оборудованием позволяет сделать вывод о том, что его применение позволит существенно повысить рабочее давление экструзионного процесса, а также упростить вакуумирующую систему машины с одновременным повышением ее надежности.

References

- [1] Innovations in extrusion /A.A. Kurochkin, P.K. Garkina, A.A.Blinokhvatov [et al.] Penza: RIO PHAU, 2018. – 247 p.
- [2] Kurochkin, A. A. System approach to the development of the extruder for thermal vacuum treatment of the extrudate /A.A. Kurochkin // Innovative machinery and technology. 2014. No 4 (01). Pp. 17-22.
- [3] Kurochkin, A. A. Classification of energy-saving units for thermal vacuum extrusion of agricultural raw materials /A.A. Kurochkin, R.R. Ashirov, A.V. Polyakov //Innovative machinery and technology. 2025. Vol. 12, No. 1. Pp. 72-77.
- [4] Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in an extruder with a vacuum chamber /D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova [et al.]. //Innovative machinery and technology. 2015. No. 1(2). Pp. 29-34.
- [5] Pat. 189317 Russian Federation IPC B29C 48/00. Vacuum chamber extruder /applicants: P.K. Garkina, V.M. Zimnyakov, A.A. Kurochkin, O.N. Kukharev; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Agrarian University. – No. 2019105424; application. 26.02.2019; publ. 22.05.2019, Bul. No. 19. 7p.
- [6] Pat. 198439 Russian Federation IPC A23P 30/20. Extruder with vacuum chamber /applicants: P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova [et al.]; the applicant and the patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Technical University. – No. 2020110297; application, 03/10/2020; published 07/09/2020, Byul. No. 19. 6p.
- [7] 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 Technical University. – No. 2021110152; application 04/13/2021; publ. 13.10.2022, Bul. No. 29. 9 p.
- [8] Pat. 223952 Russian Federation IPC B29C48, A23P 30/20. Energy-saving extruder /applicants: A.A. Kurochkin, M.A. Potapov, V.S. Garanin; applicant and patent holder of the Federal State Educational Institution of Higher Education Penza State Technical

заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ.– №2023114714; заявл. 05.06.2023; опубл. 13.11.2023, Бюл. № 32. 8 с.

University. – No. 2023114708; application 05.06.2023; publ. 11.03.2024, Bul. No. 8. 7 p.

[9] 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. – No. 2023114714; application 05.06.2023; publ. 13.11.2023, Bul. No. 32. 8 p.

Сведения об авторах

Information about the authors

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