

Обоснование конструктивно-технологической схемы энергосберегающего термовакуумного агрегата

Курочкин А.А., Потапов М.А.

Аннотация. С позиции термодинамики преобразование энергии, осуществляемое в одношнековых автогенных экструдерах, не является рациональным, в связи с чем подобные машины не относятся к группе энергосберегающего технологического оборудования. Оснащение экструдера вакуумной камерой и реализация преимуществ термовакуумного эффекта позволяет повысить энергоэффективность его рабочего процесса путем замещения части энергии электрического привода энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе интенсивного обезвоживания продукта в условиях пониженного давления. Однако кардинальное сокращение удельных затрат электроэнергии на процесс термовакуумной обработки сырья связан с заменой шнекового рабочего органа на винтовой и применением индукционного нагревателя. Такая конструктивно-технологическая схема энергосберегающего термовакуумного агрегата позволит снизить удельные затраты электроэнергии по сравнению с серийным экструдером КМЗ-2У в 3,0-3,5 раза.

Ключевые слова: конструктивно-технологическая схема, термовакуумный агрегат, винтовой насос, индукционный нагрев.

Для цитирования: Курочкин А.А., Потапов М.А. Обоснование конструктивно-технологической схемы энергосберегающего термовакуумного агрегата // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 1. С. 25–29. EDN: HTEHVZ.

Substantiation of the design and technological scheme of an energy-saving thermal vacuum unit

Kurochkin A.A., Potapov M.A.

Abstract. From the standpoint of thermodynamics, the energy conversion carried out in single-screw autogenous extruders is not rational, and therefore such machines do not belong to the group of energy-saving technological equipment. Equipping the extruder with a vacuum chamber and realizing the advantages of the thermal vacuum effect makes it possible to increase the energy efficiency of its working process by replacing part of the energy of the electric drive with the energy (heat) of hot steam released from the extrudate during intensive dehydration of the product under reduced pressure. However, a drastic reduction in the specific cost of electricity for the process of thermal vacuum processing of raw materials is associated with the replacement of the screw working body with a screw one and the use of an induction heater. Such a design and technological scheme of an energy-saving thermal vacuum unit will reduce the specific energy costs in comparison with the serial extruder KMZ-2U by 3.0-3.5 times.

Keywords: design and technological scheme, thermal vacuum unit, screw pump, induction heating.

For citation: Kurochkin A.A., Potapov M.A. Substantiation of the design and technological scheme of an energy-saving thermal vacuum unit. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 1. pp. 25–29. EDN: HTEHVZ. (In Russ.).

Введение

Рабочий процесс одношнекового экструдера основан на безусловном выполнении его исполнительным механизмом двух основных функций – нагреве сырья и его перемещении с необходимым

напором от места загрузки к фильере матрицы машины [1, 5].

Реализация первой функции шнека основана на использовании теплоты, генерируемой непосредственно в тракте машины путем диссипации (рассеивания) энергии электрического тока приво-

да. Иными словами энергия упорядоченного процесса в виде электрического тока привода экструдера преобразуется в энергию неупорядоченных процессов путем приращения теплоты в обрабатываемом сырье. Промежуточным звеном этого преобразования является механическая энергия сил сдвига и трения обрабатываемого сырья. С позиции термодинамической теории такое преобразование энергии не является рациональным, в связи, с чем машины, использующие в своем рабочем процессе данный принцип, не относятся к группе энергосберегающего технологического оборудования [2-4].

Второй рабочей функцией шнека является перемещение сырья по рабочему тракту машины и обеспечение необходимого напора (давления) в момент его выхода из фильеры матрицы.

Оснащение автогенного экструдера вакуумной камерой и реализация преимуществ термовакуумного эффекта при работе машины позволяет повысить энергоэффективность ее рабочего процесса путем замещения части энергии электрического привода энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в условиях пониженного давления [6, 7]. Однако избавиться от недостатка, связанного с применением шнекового рабочего органа в процессе выполнения его первой функции – преобразования электрической энергии в тепловую, в термовакуумном экструдере также не удастся [1, 2].

Системный анализ конструктивно-технологических схем применяемых в различных областях техники устройств позволяет предположить, что при перемещении сырья и его подаче к фильере под напором целесообразно отказаться от шнека в пользу винтового механизма. При этом функцию нагрева сырья можно обеспечить более энергоэффективным способом – индукционным нагревом [2, 5].

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

Объекты и методы исследования

Объект исследования – конструктивно-технологическая схема термовакуумного агрегата с новым рабочим органом.

Результаты и их обсуждение

Предлагаемое в работе техническое решение термовакуумного агрегата позволит снизить энергетические затраты на его рабочий процесс. Для этого в энергосберегающем агрегате шнек предлагается заменить винтовой парой (насосом), которая обеспечит необходимый напор (рабочее давление), обрабатываемого сырья в процессе его перемещения от загрузочной части машины до фильеры. Первую из указанных функций шнека – нагрев сырья, в за-

являемом экструдере предлагается осуществлять с помощью индукционного нагревателя.

Предлагаемый агрегат включает мотор-редуктор 1, загрузочную камеру 4 с расположенным в ней питающим шнеком 5 с приводом 6, винтовой насос, индукционный нагреватель, фильеру матрицы 11, вакуумную камеру 12, шлюзовой затвор 13, вакуум-насос 3, вакуум-регулятор 9 и вакуум-метр 10.

Корпус агрегата выполнен составным. В его передней части расположен винтовой насос, состоящий из металлического ротора 16 и статора 8 с эластичной обкладкой. Между винтовыми поверхностями такой пары (героторной) образуются рабочие камеры (капсулы-шлюзы).

Рабочие камеры в процессе вращения ротора в неподвижном статоре 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 винтовой пары, а объем каждой полости – ее производительность.

Во второй части корпуса расположено нагревающее устройство. Оно представляет собой стальную трубу 15, охваченную индуктором 14, выполненным в виде нескольких витков изолированного медного провода. Между стальной трубой и корпусом экструдера расположен слой теплоизоляционного материала. Торец трубы упирается в фильеру матрицы агрегата, представляющую собой пластину с одним или несколькими отверстиями определенного диаметра. Количество и диаметр отверстий зависят от потребной производительности экструдера.

Нагрев обрабатываемого сырья происходит за счёт джоулева тепла, выделяющегося в стенках трубы под действием индуцированных токов.

Конструкция загрузочной камеры агрегата позволяет осуществлять предварительный подогрев обрабатываемого сырья. С этой целью верхняя часть сборной загрузочной камеры выполнена одностенной, с боковыми стенками, расположенными под углом, меньшим угла трения обрабатываемого сырья о материал стенки камеры, а ее нижняя часть представляет собой цилиндрическую двустенную конструкцию, межстенное пространство 7 которой с помощью трубопроводов соединено с вакуумным насосом 3 и вакуумной камерой агрегата 12.

Цилиндрическая часть загрузочной камеры и вакуумная камера агрегата с внешней стороны покрыты теплоизоляционным материалом (напыляемый утеплитель 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 именно в этой части агрегата. Удаление конденсата из межстенного пространства 7 загрузочной камеры осуществляется посредством специальной пробки 2. Для обеспечения необходи-

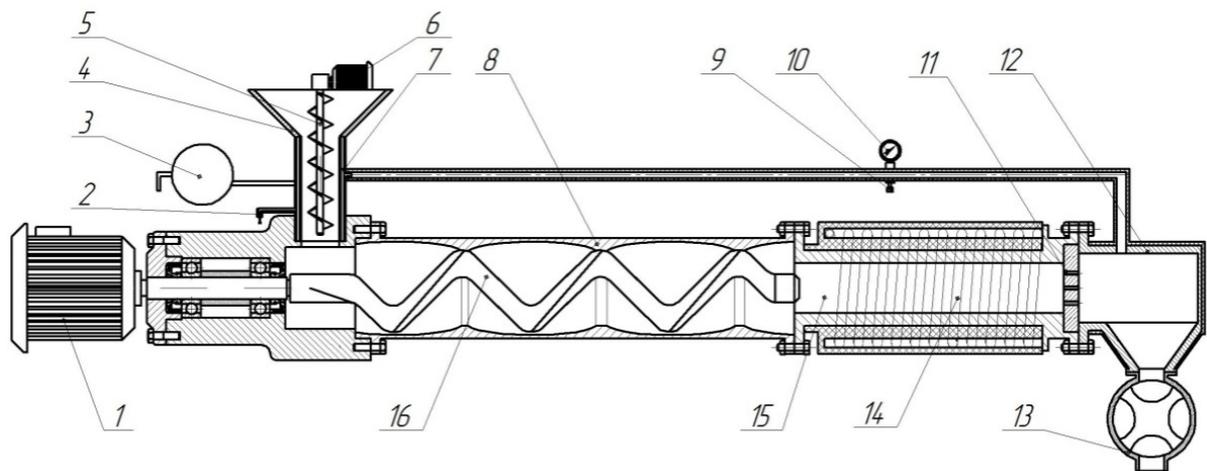


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема энергосберегающего термовакуумного агрегата

мой устойчивости конструкции при воздействии пониженного давления, в межстенном пространстве цилиндрической части загрузочной камеры дополнительно устанавливаются ребра жесткости (на рис. 1 не показаны).

Шлюзовой затвор 13 служит для выгрузки готового продукта без разгерметизации вакуумной камеры агрегата. Он представляет собой корпус цилиндрической формы и вращающуюся в нем многолопастную (4-12 шт.) крыльчатку (ротор) на шариковых подшипниках. В качестве привода шлюзового затвора служит электродвигатель (на рис. 1 не показан).

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

Вакуум-регулятор 9 необходим для поддержания пониженного давления в вакуумной камере агрегата в заданных пределах при требуемых производительности машины, а также влажности обрабатываемого сырья и готового продукта. Для контроля давления в вакуумной камере служит вакуум-метр 10.

Рабочий процесс энергосберегающего термовакуумного агрегата осуществляется следующим образом. Обрабатываемое сырье с помощью подающего шнека 5 загрузочной камеры 4 подается в рабочую зону винтового насоса агрегата. Соприкасаясь с внутренними горячими стенками цилиндрической части камеры, оно повышает свою температуру и в винтовой насос агрегата поступает при температуре примерно 40-45°C.

В зоне индукционного нагрева температура сырья повышается до 100-110°C и при давлении нагнетания винтового насоса 1,0-1,2 МПа оно выводится через отверстия фильеры матрицы 11 в вакуумную камеру 12.

Попадая из области высокого давления (в трубе 15) в зону низкого давления (в вакуумную камеру 12), нагретое сырье подвергается декомпрессионному взрыву, который представляет собой процесс мгновенного перехода жидкости, находящейся в сырье, в пар.

Образующийся горячий пар температурой 100-110 °С с помощью вакуумного насоса перемещается в межстенное пространство 7 цилиндрической части загрузочной камеры 4, где часть его конденсируется и в виде жидкости стекает в нижнюю часть камеры. Оставшаяся часть пара удаляется вакуумным насосом 3 в атмосферу (ротационный насос) или поглощается рабочей жидкостью (водокольцевой насос). Готовый продукт с помощью шлюзового затвора 13 выводится за пределы машины и подается на фасование.

Таким образом, снижение энергозатрат на выполнение рабочего процесса агрегата (повышение энергоэффективности его рабочего процесса) обеспечивается за счет замены шнекового рабочего органа на винтовой насос и индукционный нагреватель, а также путем замещения части энергии электрического привода машины энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в условиях пониженного давления.

Уровень энергосбережения заявляемого агрегата можно предварительно оценить исходя из следующей информации.

Одной из наиболее широко применяемых в производстве и серийно выпускаемых машин для получения экструдированных кормов является одношнековый экструдер КМЗ-2У. Его производительность составляет 0,32-0,36 т/ч при потребляемой из сети активной мощности 47-54 кВт. В процессе работы обрабатываемое сырье нагревается до температуры 110-120°C и поступает к фильере матрицы при рабочем давлении равном 1,0-2,0 МПа.

Потребляемая мощность заявляемого энергосберегающего агрегата с такой же часовой производительностью составит примерно 15,5 кВт. При этом распределение мощности ориентировочно таково: привод питающего шнека – 0,75 кВт, привод винтового насоса – 2,5 кВт, индуктивный нагрев сырья – 10 кВт, привод вакуумного насоса – 1,5 кВт, привод шлюзового затвора – 0,75 кВт. В приведенных данных не учитывается экономия энергоресурсов.

сурсов за счет рекуперации теплоты горячего пара, выделяющегося из обрабатываемого в вакуумной камере экструдата.

Выводы

Кардинальное сокращение удельных затрат электроэнергии на процесс термовакуумной обра-

ботки сырья связан с заменой шнекового рабочего органа на винтовой и применением индукционного нагревателя. Такая конструктивно-технологическая схема энергосберегающего термовакуумного агрегата позволит снизить удельные затраты электроэнергии по сравнению с серийным экструдером КМЗ-2У в 3,0-3,5 раза.

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 термовакуумной обработки экструдата / А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 17-22.
- [3] Курочкин, А.А. Технология производства кормов на основе термовакуумной обработки отходов с/х производства /А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // Инновационная техника и технология. 2014. № 4. С. 36– 40.
- [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] Оборудование перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015.– 363 с.
- [6] Пат. 2561934 Российская Федерация МПК7 В29С47/12. Экструдер с вакуумной камерой / заявители: Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, Р.В. Шабнов, А.А. Курочкин, В.А. Авроров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ.– № 2014125348; заявл. 23.06.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. – 7с.
- [7] Пат. 189317 Российская Федерация СПК 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.

References

- [1] Innovations in extrusion /A. A. Kurochkin, P. K. Garkina, 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 engineering and technology. 2014. No 4 (01). Pp. 17-22.
- [3] Kurochkin, A. A. The technology of fodder production on the basis of thermal waste treatment/agricultural production /A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Innovative engineering and technology. 2014. No. 4. Pp. 36-40.
- [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] Hardware processing industries /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015.– 363 p.
- [6] Pat. 2561934 Russian Federation IPC7 V29S47 / 12. Extruder with vacuum chamber / applicants: G. V. shaburova, P. K. Voronina, R. V. Shabanov, A. A. Kurochkin, V. A. Avrоров; applicant and patentee of the Penza state technical University.- No. 2014125348; declared. 23.06.2014; publ. 10.09.2015, Byul. No. 25. – 7 p.
- [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.

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» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 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>