

Оценка некоторых параметров энергосберегающего экструдера

Курочкин А.А., Шептак Т.В.

Аннотация. В работе представлен один из вариантов конструктивно-технологической схемы экструдера, обеспечивающего энергосберегающую термовакуумную обработку растительного сырья. Предложены теоретические зависимости, позволяющие анализировать влияние термовакуумного эффекта на параметры водяного пара, удаляемого из межстенного пространства загрузочной камеры модернизированного экструдера. Показана связь коэффициента, учитывающего влияние термовакуумного эффекта в автогенном одношнековом экструдере на другие значимые технические и технологические показатели машины.

Ключевые слова: энергосберегающий экструдер, загрузочная камера, водяной пар, идеальный газ, вакуумный насос, термовакуумный эффект.

Для цитирования: Курочкин А.А., Шептак Т.В. Оценка некоторых параметров энергосберегающего экструдера // Инновационная техника и технология. 2020. № 4 (25). С. 36–39.

Evaluation of some parameters of an energy-saving extruder

Kurochkin A.A., Sheptak T.V.

Abstract. The paper presents one of the variants of the design and technological scheme of the extruder, which allows energy-saving thermal vacuum processing of vegetable raw materials. Theoretical dependences are proposed that allow analyzing the effect of the thermal vacuum effect on the parameters of water vapor removed from the inter-wall space of the loading chamber of the upgraded extruder. The relation of the coefficient that takes into account the effect of the thermal vacuum effect in an autogenic single-screw extruder on other significant technical and technological indicators of the machine is shown.

Keywords: energy-saving extruder, loading chamber, water vapor, ideal gas, vacuum pump, thermal vacuum effect.

For citation: Kurochkin A.A., Sheptak T.V. Evaluation of some parameters of an energy-saving extruder. Innovative Machinery and Technology. 2020. No.4 (25). pp. 36–39. (In Russ.).

Введение

Известно, что обработка сырья с помощью автогенных одношнековых экструдеров относится к чрезвычайно энергоемким процессам. Связано это, в первую очередь, с базовыми принципами термопластической экструзии. В этом процессе энергия расходуется на нагрев обрабатываемого сырья, его измельчение и перемещение в пределах рабочего объема экструдера. При этом теплота, необходимая для нагрева сырья, генерируется непосредственно в тракте машины за счет диссипации энергии электрического тока привода. Промежуточным звеном в процессе преобразования электрической энергии в тепловую является механическая энергия сил сдвига и трения обрабатываемого сырья. Такой способ преобразования энергии имеет крайне низкий КПД,

что и является основным препятствием для более широкого применения экструзионных технологий [1-4, 9].

В экструдерах, реализующих в своем рабочем процессе термовакуумный эффект, часть энергии привода, необходимой для осуществления рабочего процесса машины, позволяет заместить энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания. На основе такого подхода разработано и запатентовано несколько конструкций экструдеров с одной или двумя вакуумными камерами, позволяющими с той или иной степенью эффективности обеспечить энергосберегающий рабочий процесс одношнекового экструдера [6-8].

На рисунке представлена конструктивно-технологическая схема одного из таких экструдеров.

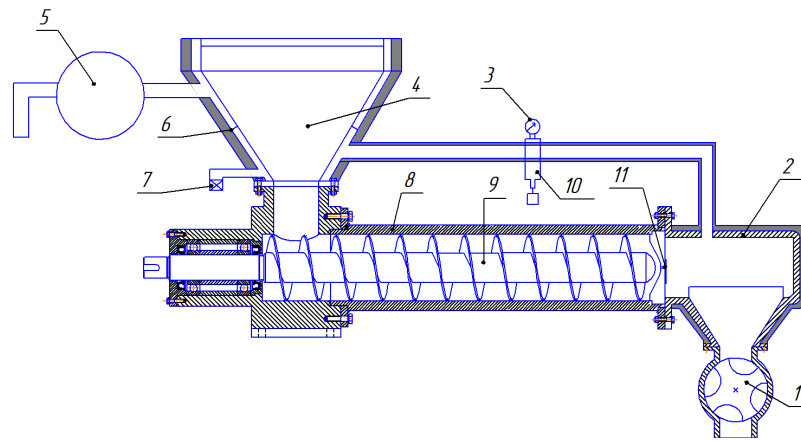


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема энергосберегающего экструдера (обозначение позиций – в тексте)

Энергосберегающий экструдер состоит из загрузочной камеры 4, корпуса 8, шнека 9, фильеры матрицы 11, вакуумной камеры 2, шлюзового затвора 1, вакуум-насоса 5, вакуум-регулятора 10 и вакуум-метра 3 [7].

Вакуумная камера 2 экструдера расположена соосно шнеку 9 и фильере матрицы 11. Принцип работы вакуумной камеры основан на постоянном удалении водяных паров, выделяющихся из экструдата при соответствующих давлении и температуре. Объем этих паров зависит от содержания влаги в сырье и готовом экструдате, а также давления воздуха (водяных паров) в вакуумной камере.

Конструкция загрузочной камеры экструдера, в межстенное пространство которой поступает горячий пар из вакуумной камеры, позволяет осуществлять предварительный подогрев обрабатываемого сырья. С этой целью верхняя часть загрузочной камеры соединена посредством трубопровода с вакуумным насосом, а нижняя – с вакуумной камерой экструдера. Для удаления конденсата из межстенного пространства загрузочной камеры в ее нижней части предусмотрена специальная пробка 7.

Необходимая устойчивость конструкции при воздействии пониженного давления, в межстенном пространстве загрузочной камеры установлены ребра жесткости 6.

С целью теоретического обоснования предложенной конструктивно-технологической схемы энергосберегающего экструдера необходимо оценить зависимость объема горячих водяных паров, выделяющихся из экструдата в процессе его охлаждения, с основными параметрами технологического процесса машины.

Цель работы – теоретическое обоснование повышения энергоэффективности модернизированного экструдера с термовакuumным рабочим процессом.

Объекты и методы исследований

Аналитические зависимости, характеризующие связь термодинамических характеристик водя-

ного пара с массой обрабатываемого сырья, находящегося в тракте экспериментального экструдера.

Результаты и их обсуждение

Количество водяного пара, которое необходимо переместить из вакуумной камеры экструдера в межстенное пространство загрузочной камеры можно определить из уравнения баланса массы экструдата, находящегося в тракте машины (до выхода из фильеры) и массы экструдата после выхода из фильеры [5]:

$$G_w = G_t - G_f = V_t \cdot \rho_t - V_f \cdot \rho_f, \quad (1)$$

где G_t и G_f – масса экструдата соответственно до выхода и после выхода из фильеры экструдера, кг;

V_t и V_f – объем экструдата соответственно до выхода и после выхода из фильеры экструдера, м³;

ρ_t и ρ_f – плотность экструдата до выхода и после выхода из фильеры экструдера, кг/м³.

С учетом того, что $G_f = \varepsilon \cdot \Delta V_t$ [5], можно записать

$$\varepsilon = \frac{V_t \cdot \rho_t - V_w \cdot \rho_w}{\Delta V_t}, \quad (2)$$

где ε – коэффициент, учитывающий влияние термовакuumного эффекта на приращение объема экструдата после выхода его из фильеры экструдера;

ΔV_t – приращение объема экструдата после выхода его из фильеры экструдера, м³.

Тогда количество водяных паров, которое необходимо переместить из вакуумной камеры экструдера в межстенное пространство загрузочной камеры, определяется следующей формулой

$$G_w = G_t - \varepsilon \cdot \Delta V_t \quad (3)$$

Количество водяных паров, определяемое по

формуле (3), можно определить, исходя и из других соображений.

Если принять водяной пар в вакуумной камере экструдера за идеальный газ, то из уравнения Менделеева-Клапейрона нетрудно получить значение объёма водяных паров, которые необходимо отвести из межстенной камеры вакуумным насосом

$$P \cdot V = R \cdot T \cdot \frac{G_w}{M}, \quad (4)$$

где P – давление газа, Па;

V – объём газа, м³;

R – универсальная газовая постоянная, $R = 8,31$ Дж/(моль·К);

T – температура, К;

G_w – масса газа, кг;

M – количество молей газа (для водяного пара можно принять равной 16).

Количество водяного пара из формулы (4) можно представить в виде

$$G_w = \frac{16 \cdot P \cdot V}{R \cdot T} \quad (5)$$

Тогда объём водяных паров, которые необходимо переместить из вакуумной камеры в межстенное пространство загрузочной камеры, можно определить из следующей зависимости

$$V_w = \frac{16 \cdot P \cdot V}{R \cdot T \cdot \rho_w}, \quad (6)$$

где ρ_w – плотность водяного пара, кг/м³.

Необходимо учитывать, что в данном случае водяной пар не является идеальным газом. Поэтому приемлемые (с точки зрения точности) результаты можно получить с учетом таблиц термодинамических свойств воды и насыщенных

водяных паров, а также давления и рабочей температуры в вакуумной камере экструдера.

При установившемся режиме работы экструдера в вакуумную камеру поступает постоянный по времени поток газа (водяных паров), который перемещается в межстенное пространство загрузочной камеры и далее с помощью вакуумного насоса выводится в атмосферу.

Влияние термовакuumного эффекта экструзионного процесса на рабочие параметры вакуумного насоса можно оценить, приравнявая формулы (3) и (5)

$$\frac{16 \cdot P \cdot V}{R \cdot T} = G_t - \varepsilon \cdot \Delta V_t \quad (7)$$

и определяя из полученного выражения коэффициент, учитывающий влияние термовакuumного эффекта на приращение объёма экструдата после выхода его из фильеры экструдера. Данный коэффициент определяется из выражения

$$\varepsilon = \frac{V_t \cdot \rho_t - \frac{16 \cdot P \cdot V}{R \cdot T}}{\Delta V_t} = \frac{G_t \cdot R \cdot T - 16 \cdot P \cdot V}{\Delta V_t \cdot R \cdot T} \quad (8)$$

Аналитическое выражение, представленное формулой (8), позволяет выяснить роль каждого из технических и технологических параметров, влияющих на рабочий процесс энергосберегающего экструдера.

Выводы

Полученные теоретические зависимости учитывают влияние термовакuumного эффекта на количество водяного пара, которое необходимо удалить из межстенного пространства загрузочной камеры модернизированного экструдера и позволяют определить аналитическими методами основные параметры вакуумной системы машины, модернизированной согласно предложенной конструктивно-технологической схеме.

Список литературы

- [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. 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. 15-20.
- [4] Курочкин, А.А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера / А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4 (32). – С. 172-177.
- [5] Курочкин, А.А. Совершенствование рабочего процесса экструдера с термовакuumным эффектом / А.А. Курочкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 84-89.

- [6] Пат. 189317 Российская Федерация, СПК В29С 48/00. Экструдер с вакуумной камерой /П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, В.М. Зимняков, О.Н. Кухарев; 2019105424; заявл. 26.02.2019; опубл. 22.05.2019, Бюл. №15. – 7 с.
- [7] Пат. 192684 Российская Федерация, МПК В29С. Экструдер с вакуумной камерой /А.А. Курочкин, П.К. Гарькина, Д.И. Фролов, А.А. Блинохватов, М.А. Потапов; 2019118768; заявл. 17.06.2019; опубл. 26.09.2019, Бюл. №27. – 7 с.
- [8] Пат. 198439 Российская Федерация, СПК А23Р 30/20. Экструдер с вакуумной камерой /П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, М.А. Потапов, Н.Н. Шматкова, Е.А. Лукьянова; 2020110297; заявл. 10.03.2020; опубл. 08.07.2020, Бюл. №19. – 7 с.
- [9] Фролов, Д. И. Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой /Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина //Иновационная техника и технология. –2015. – № 1 (02). С. 29-34.

References

- [1] Innovation in extrusion /A.A. Kurochkin, P.K. Garkina, A.A. Blinkers [and etc.]. Penza: RIO PSAU, 2018. – 247 p.
- [2] Kurochkin, A.A. A system approach to the development of an extruder for thermal vacuum processing of an extrudate /A.A. Kurochkin //Innovative machinery and technology. – 2014. – No. 4 (01). – Pp. 17-22.
- [3] Kurochkin, A.A. Theoretical substantiation of the thermal vacuum effect in the working process of a modernized extruder / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. – 2015. – No. 3. – P. 15-20.
- [4] Kurochkin, A.A. Determination of the main parameters of the vacuum chamber of a modernized extruder /A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina // Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy. – 2015. – No. 4 (32). – Pp. 172-177.
- [5] Kurochkin, A. A. Improving the working process of an extruder with a thermal vacuum effect /A. A. Kurochkin // Proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2019. – No. 2. – Pp. 84-89.
- [6] Pat. 189317 Russian Federation, SEC B29C 48/00. Extruder with vacuum chamber / P. K. Garkina, A. A. Kurochkin, V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev; 2019105424; claimed 26.02.2019; published 22.05.2019, Byul. No. 15. – 7 p.
- [7] Pat. 192684 Russian Federation, IPC B29C. Extruder with a vacuum chamber / A. A. Kurochkin, P. K. Garkina, D. I. Frolov, A. A. Blinokhvatov, M. A. Potapov; 2019118768; claimed 17.06.2019; published 26.09.2019, Byul. no. 27. – 7 p.
- [8] Pat. 198439 Russian Federation, SEC A23R 30/20. Extruder with a vacuum chamber / P. K. Garkina, A. A. Kurochkin, G. V. shaburova, M. A. Potapov, N. N. Shmatkova, E. A. Lukyanova; 2020110297; application 10.03.2020; publ. 08.07.2020, Byul. no. 19. – 7 p.
- [9] Frolov, D. I. Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum camera/ D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. C. Voronina //Innovative mashinery and technology. –2015. – No. 1 (02). Pp. 29-34.

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>Шептак Тимур Валерьевич аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Sheptak Timur Valerievich postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>