

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА

Курочкин А.А., Потапов М.А.

Принцип работы одношнекового экструдера основан на многократном преобразовании одного вида энергии в другой с достаточно низким КПД. При этом очевидно, что на заключительном этапе рабочего процесса машины часть энергии в виде теплоты водяного пара, выделяющегося из экструдата в момент декомпрессионного взрыва, теряется безвозвратно. В работе представлены теоретические положения, позволяющие повысить энергоэффективность рабочего процесса одношнекового термовакuumного экструдера путем замещения части энергии электрического привода машины энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в условиях пониженного давления.

Ключевые слова: энергия, загрузочный бункер, экструдер, вакуумная камера, термовакuumный эффект, энергоэффективность.

Введение

Известно, что рабочий процесс одношнековых экструдеров с точки зрения их термодинамической характеристики, основан на использовании теплоты, генерируемой непосредственно в камере машины за счет диссипации части механической энергии рабочего органа машины [1].

С позиции системного подхода реализация технологического процесса таких экструдеров представляет собой многократную трансформацию одного вида энергии в другой.

Например, изначально электрическая энергия посредством электродвигателя привода экструдера трансформируется в механическую энергию его шнека. Затем энергия вращающегося шнека экструдера расходуется на измельчение и перемещение сырья по внутреннему тракту экструдера, а также трансформируется в тепловую энергию сил сдвига и трения обрабатываемого сырья в процессе его взаимодействия с рабочим органом экструдера. При выходе из фильеры, когда обрабатываемое сырье попадает из зоны высокого давления в зону атмосферного, тепловая энергия делится на два потока: первый из них способствует изменению макро- и микроструктуры получаемого экструдата, а второй в виде горячего водяного пара выбрасывается в атмосферу. Таким образом, тепловая энергия водяного пара в последующих технологических операциях по производству экструдатов полезно не используется и ее регенерация в существующих экструдерах не предусмотрена [2-4].

Цель работы – теоретическая оценка количества теплоты горячего пара, выделяющегося из экструдата, которое можно использовать для предварительного подогрева сырья, обрабатываемого в модернизированном экструдере.

Объекты и методы исследований

Объект исследования – конструктивно-технологическая схема термовакuumного одношнекового экструдера, в котором предусмотрена частичная регенерация тепловой энергии.

Результаты и их обсуждение

Один из вариантов конструктивно-технологической схемы экструдера, принцип работы которого основан на применении термовакuumного эффекта [6], и позволяющего обеспечить частичную регенерацию тепловой энергии, представлен на рис. 1.

Рабочий процесс экструдера осуществляется следующим образом. Обрабатываемое сырье поступает в загрузочный бункер 4 экструдера и, соприкасаясь с его внутренними горячими стенками, предварительного подогревается примерно на 20-25°C.

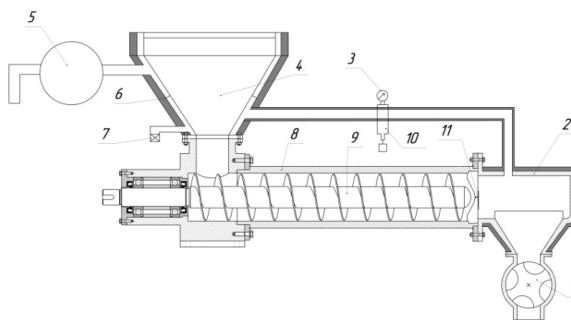


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера: 1 – шлюзовой затвор; 2 – вакуумная камера; 3 – вакуум-метр; 4 – загрузочный бункер; 5 – вакуум-насоса; 6 – межстенная камера; 7 – кран для слива конденсата; 8 – корпус; 9 – шнек; 10 – вакуум-регулятора; 11 – фильера матрицы

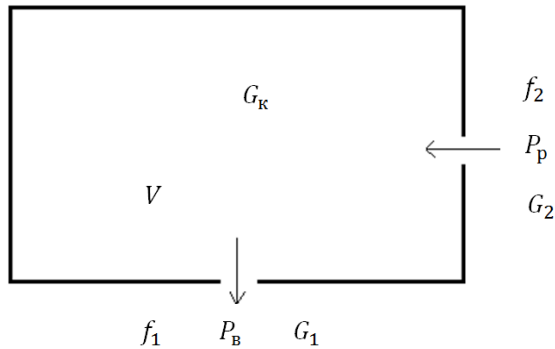


Рис. 2. Расчётная схема межстенной камеры загрузочного бункера экструдера

Захваченное шнеком сырье последовательно перемещается в зоны прессования и дозирования, а затем выводится через фильеру 11 матрицы экструдера в его вакуумную камеру 2.

Попадая из области высокого давления (внутренний тракт машины) в зону пониженного давления (вакуумная камера), сырье подвергается декомпрессионному взрыву, представляющему собой процесс мгновенного перехода воды, находящейся в сырье, в пар.

Образующийся горячий пар температурой 120-130°C с помощью вакуумного насоса 5 откачивается в межстенную камеру 6 загрузочного бункера 4, где часть его конденсируется и в виде жидкости стекает в нижнюю часть камеры. Оставшаяся часть пара выбрасывается вакуумным насосом в атмосферу (при использовании ротационного насоса) или поглощается рабочей жидкостью в случае комплектования экструдера водокольцевым вакуумным насосом. Готовый продукт с помощью шлюзового затвора 1 выводится за пределы экструдера и подается на фасование.

Расчётная схема функционирования межстенной камеры загрузочного бункера экструдера в период установившегося рабочего процесса представлена на рис. 2. Будем считать, что объем камеры остается постоянным.

При откачивании воздуха из камеры объемом V через отверстие с поперечным сечением f_1 количество воздуха будет уменьшаться на величину G_1 . И, напротив, при поступлении в камеру горячего пара через отверстие с площадью поперечного сечения f_2 , его количество будет увеличиваться. В процессе взаимодействия горячего пара с внутренней стенкой загрузочного бункера, часть пара будет превращаться в конденсат и в виде капель скатываться в нижнюю часть камеры. Количество конденсата обозначим через G_k .

Примем условие, что количество жидкости, содержащейся в обрабатываемом сырье, определяется его исходной влажностью. При выходе из фильеры матрицы экструдера часть этой жидкости превращается в водяной пар, который необходимо удалить из вакуумной камеры, а часть остается в полученном экструдате.

Содержание жидкости, переходящей в пар, зависит от многих параметров экструзионного процесса и регулируется различными способами в зависимости от влажности получаемого экструдата. В принятой нами модели водяной пар в количестве

G_2 при рабочем давлении P_p поступает в межстенную камеру загрузочного бункера. Вакуумный насос обеспечивает в системе давление, равное P_v .

На основании уравнения баланса массы в камере (равенства потоков массы) можно записать

$$G_k = G_2 - G_1 \quad (1)$$

где G_k – масса конденсата, образующегося в межстенной камере загрузочного бункера, кг;

G_1 – масса пара, отсасываемая из межстенной камеры вакуумным насосом, кг;

G_2 – масса пара, поступающего в межстенную камеру, кг.

Массу водяного пара, которую необходимо удалить из вакуумной камеры экструдера и переместить в межстенную камеру приемного бункера, можно определить из уравнения баланса массы экструдата, находящегося в тракте машины (до выхода из фильеры) и массы экструдата после выхода из фильеры по формуле [5, 6]

$$G_2 = G_t - G_f = V_t \rho_t - V_f \rho_f \quad (2)$$

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, что масса пара, поступающего в межстенную камеру загрузочного бункера экструдера, определяется следующей формулой

$$G_2 = G_t - \varepsilon \cdot \Delta V_t, \quad (3)$$

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

Данный коэффициент может быть вычислен по формуле

$$\varepsilon = \frac{V_t \rho_t - V_2 \rho_2}{\Delta V_t}, \quad (4)$$

где V_2 – объем водяного пара, м³;

ρ_2 – плотность водяного пара, кг/м³.

ΔV_1 – приращение объема экструдата после выхода его из фильеры экструдера, м³.

В процессе конденсации пара в межстенной камере загрузочного бункера экструдера выделяется теплота, количество которой (Дж) определяется уравнением

$$Q_1 = G_{\text{к}} \gamma, \quad (5)$$

где γ – удельная теплота парообразования, Дж/кг.

Количество теплоты, которое получит сырье в процессе теплообмена через внешнюю стенку межстенной камеры загрузочного бункера экструдера, можно определить из уравнения

$$Q_2 = c_c G_c (t_{\text{к}} - t_{\text{н}}), \quad (6)$$

где c_c – теплоемкость сырья, Дж/(кг·К);

G_c – масса сырья, кг;

$t_{\text{к}}$ – начальная температура сырья, К;

$t_{\text{к}}$ – конечная температура сырья, К.

Приведенные уравнения позволяют ориентировочно определить конечную температуру экструдруемого сырья при том или ином его массовом расходе.

Выводы

Полученные результаты теоретических исследований модернизированного экструдера позволяют оценить количество теплоты горячего пара, выделяющегося из экструдата, которое можно использовать для предварительного подогрева обрабатываемого в экструдере сырья.

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 термовакуумной обработки экструдата / А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология. 2014. № 4 (01). С. 17–22.
- [3] 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.
- [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. Определение объемного расхода сырья в экструдере с термовакуумным эффектом /А.А. Курочкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 1. С. 3–7.
- [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] Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Инновационная техника и технология. 2015. № 1 (02). С. 29–34.

THEORETICAL ASPECTS OF ENERGY EFFICIENCY SINGLE SCREW EXTRUDER THROUGH THE USE OF THERMAL EFFECT

Kurochkin A.A., Potapov M.A.

The principle of operation of a single-screw extruder is based on multiple conversion of one type of energy into another with a sufficiently low efficiency. It is obvious that at the final stage of the working process of the machine part of the energy in the form of heat of water vapor released from the extrudate at the time of decompression explosion is lost forever. The paper presents theoretical provisions to improve the energy efficiency of the working process of a single-screw thermal vacuum extruder by replacing part of the energy of the electric drive of the machine with the energy (heat) of hot steam released from the extrudate during its intensive dehydration under low pressure.

Keywords: *energy, loading hopper, extruder, vacuum chamber, thermal vacuum effect, energy efficiency.*

References

- [1] Innovations in extrusion /A. A. Kurochkin, P.K. Garkina, A.A. Blinokhvatov [et al.] Penza: RIO PGU, 2018.– 247 p.
- [2] Kurochkin, A. A. A systematic approach to the development of thermal vacuum extruder for processing of the extrudate /A. A. Kurochkin //Innovative machinery and technology.– 2014.– No 4 (01).– P. 17–22.
- [3] Kurochkin, A.A. Theoretical justification for the thermal vacuum effect in the workflow of the upgraded extruder /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //Bulletin of the Samara State Agricultural Academy. 2015. No 3. pp. 15–20.
- [4] Kurochkin, A.A. Determination of main parameters of the upgraded vacuum chamber of the extruder / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina//Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy.– 2015.– No4 (32). pp. 172–177.
- [5] Kurochkin, A.A. Determination of volumetric consumption of raw materials in an extruder with a thermal vacuum effect /A.A. Kurochkin // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy.– 2018.– № 1.– p. 3–7.
- [6] Pat. 2561934 The Russian Federation, IPC B29C47/12. Extruder with vacuum chamber /applicants: G.V. Shaburova, P.K. Voronina, R. W. Shanov, A.A. Kurochkin, V.A. Avrorov; applicant and patentee Federal state educational institution IN Penza state technological University. No 2014125348; Appl. 23.06.2014; publ. 10.09.2015, bull. No 25. 7 p.
- [7] 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, P.K. Voronina // Innovative technology and technology. 2015. № 1 (02). pp. 29–34.