

## ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ОДНОШНЕКОВОГО ЭКСТРУДЕРА ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА

Курочкин А.А.

В основе рабочего процесса одношнековых экструдеров заложен принцип диссипация энергии, характеризующийся переходом части энергии упорядоченных процессов (энергии электрического тока) в энергию неупорядоченных процессов (энергию теплоты) путем рассеивания механической энергии. При этом очевидно, что часть тепловой энергии в виде теплоты водяного пара, выделяющегося из экструдата в момент декомпрессионного взрыва, теряется безвозвратно. В работе приводится обоснование конструктивно-технологической схемы модернизированного экструдера, позволяющего повысить энергоэффективность его рабочего процесса 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:** *экструдер, загрузочная камера, термовакуумный эффект, энергоэффективность, вакуумная камера.*

### 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].

В общем виде реализация технологического процесса таких экструдеров представляет собой неоднократную трансформацию одного вида энергии в другой (рис. 1).

Системный анализ преобразования энергии в одношнековом экструдере свидетельствует о том, что часть тепловой энергии в виде теплоты водяного пара, выделяющегося из экструдата в момент декомпрессионного взрыва, теряется безвозвратно,

так как ее рекуперация в существующих экструдерах не представляется возможной.

Исследования основных закономерностей образования капиллярно-пористой структуры экструдатов из растительного сырья позволили теоретически обосновать способ повышения энергоэффективности экструзионных технологий за счет термовакуумного воздействия на получаемый продукт в момент выхода его из фильеры матрицы машины. Было теоретически установлено и экспериментально подтверждено, что рабочий процесс экструдеров, основанный на термовакуумном эффекте, позволяет обеспечить требуемый коэффициент взрыва экструдата при меньшем давлении и, соответственно температуре, чем в серийных машинах, что существенно повышает их энергоэффективность [2-4, 7-9].

Следует особо подчеркнуть, что основным от-



Рис. 1. Трансформация энергии в рабочем процессе экструдера



Рис. 2. Основные пути использования теплоты водяного пара

lichem экструдера, рабочий процесс которого основан на применении термовакuumного эффекта, от серийного, является оснащение его вакуумной камерой и системой отвода и утилизации водяного пара [5, 6, 10]. При такой конструктивно-технологической схеме экструдера задача регенерации теплоты водяного пара вполне разрешима и может быть реализована согласно одному или нескольким вариантам, приведенным на рис. 2.

Цель работы – обоснование возможности повышения энергоэффективности одношнекового экструдера за счет использования термовакuumного эффекта.

### Объекты и методы исследований

Объект исследования – конструктивно-технологическая схема одношнекового экструдера, в рабочем процессе которого реализован термовакuumный эффект.

### Результаты и их обсуждение

Вариант, связанный с регенерацией теплоты водяного пара путем предварительного нагрева обрабатываемого сырья, может быть реализован с помощью экструдера, который состоит из загрузочной камеры 4 (рис. 3), корпуса 8, шнека 9, фильеры матрицы 11, вакуумной камеры 2, шлюзового затвора 1, вакуум-насоса 5, вакуум-регулятора 10 и вакуум-метра 3.

Загрузочная и вакуумная камеры экструдера с внешней стороны покрыты теплоизоляционным материалом (например, напыляемым утеплителем PENOPLEX). Соединяющий их трубопровод также теплоизолирован. В связи с тем, что теплота горя-

чего 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 7. Для обеспечения необходимой устойчивости конструкции при воздействии пониженного давления, в межстенном пространстве загрузочной камеры дополнительно устанавливаются ребра жесткости 6.

Шлюзовой затвор 1 служит для выгрузки готового продукта без разгерметизации вакуумной камеры машины. Он представляет собой корпус цилиндрической формы и вращающуюся в нем многолопастную (4-12 шт.) крыльчатку (ротор) на шариковых подшипниках.

Вакуум-насос 5 служит для создания в вакуумной камере экструдера пониженного давления (давления ниже атмосферного).

Вакуум-регулятор 10 необходим для регулирования давления воздуха в вакуумной камере экструдера в заданных пределах при требуемых производительности машины, а также влажности сырья и готового продукта.

Для контроля давления в вакуумной камере экструдера служит вакуум-метр 3.

Рабочий процесс модернизированного экструдера с вакуумной камерой осуществляется следующим образом. Обрабатываемое сырье поступает в загрузочную камеру экструдера и, соприкасаясь с ее внутренними горячими стенками, предварительно подогревается примерно на 20-25°C.

Захваченное шнеком сырье последовательно проходит зоны прессования и дозирования машины, а затем выводится через фильеру матрицы в вакуумную камеру.

Попадая из области высокого давления (во внутреннем тракте экструдера) в зону низкого давления (в вакуумную камеру) сырье подвергается декомпрессионному взрыву, который представляет собой процесс мгновенного перехода воды, находящейся в сырье, в пар.

Образующийся горячий пар температурой 120-130°C с помощью вакуумного насоса перемещается в межстенное пространство загрузочной камеры, где часть его конденсируется и в виде жидкости стекает в ее нижнюю часть. Оставшаяся часть пара удаляется вакуумным насосом в атмосферу (рота-

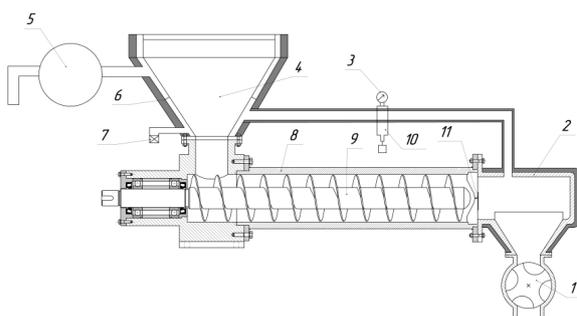


Рис. 3. Экструдер с вакуумной камерой (обозначение позиций – в тексте)

ционный насос) или поглощается рабочей жидкостью (водокольцевой насос). Готовый продукт с помощью шлюзового затвора выводится за пределы машины и подается на фасование.

### Выводы

Таким образом, снижение энергозатрат на выполнение рабочего процесса модернизируемого

экструдера (повышение энергоэффективности его рабочего процесса) обеспечивается за счет замещения части энергии электрического привода машины энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в условиях пониженного давления.

### 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., Фролов Д.И., Воронина П.К. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4 (32). С. 172–177.
- [5] 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.
- [6] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [7] Курочкин А.А., Шабурова Г.В., Фролов Д.И. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 109–114.
- [8] Регулирование структуры экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4. С. 94–99.
- [9] 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.
- [10] Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов и пищевых волокон / А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Техника и технология пищевых производств. 2016. № 3 (42). С. 104–111.

## ENERGY EFFICIENCY SINGLE SCREW EXTRUDER THROUGH THE USE OF THERMAL EFFECT

*Kurochkin A.A.*

The working process of single-screw extruders is based on the principle of energy dissipation, characterized by the transition of the energy of ordered processes (electric current energy) into the energy of disordered processes (heat energy) by scattering mechanical energy. It is obvious that part of the thermal energy in the form of heat of water vapor released from the extrudate at the time of decompression explosion is lost forever. The paper provides a justification for the design and technological scheme of the modernized extruder, which allows to increase the energy efficiency of its working process 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:** *extruder, loading chamber, thermal vacuum effect, energy efficiency, vacuum chamber.*

**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] 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. No25. – 7 p.
- [6] Kurochkin A. A., Frolov D. I. Multicomponent extrudate based on wheat grain and seeds of milk Thistle // proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2015. No. 4. P. 76-81.
- [7] Kurochkin A. A., Shaburova G. V., Frolov D. I. the preparation of the extrudates of the grain starch-containing raw materials with predetermined porosity // XXI century: the results of the past and challenges of the present plus. 2014. № 6 (22). P. 109-114.
- [8] Regulation of the structure of extrudates of starch-containing grain raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. 2013. No. 4. P. 94-99.
- [9] 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. 2015. № 1 (02). P. 29-34.
- [10] Extrudates from vegetable raw materials with high content of lipids and dietary fibers / A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // Equipment and technology of food production. 2016. № 3 (42). P. 104-111.