

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 664.769

### Модернизированная схема экструдера для переработки птичьего помета с повышенной влажностью

*Потапов М.А., Курочкин А.А.*

**Аннотация.** Оснащение экструдера вакуумной камерой и реализация преимуществ термовакуумного эффекта при работе такой машины позволяет повысить энергоэффективность ее рабочего процесса путем замещения части энергии электрического привода энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе интенсивного обезвоживания продукта в условиях пониженного давления. Для расширения сферы применения такого экструдера путем обработки сырья с повышенной влажностью в работе предлагается его модернизированная конструктивно-технологическая схема с двухэтапным обезвоживанием экструдата после выхода его из рабочего тракта машины. Такая схема работы машины позволяет обрабатывать сырье влажностью 40-45% и получать экструдаты с содержанием влаги не больше 10-12,5%. При этом регулирование влажности обрабатываемого сырья осуществляется путем продувки через его слой горячего влажного водяного пара или горячего подсушенного водяного пара (при включенных ТЭНах), а регулирование влажности готового продукта выполняется за счет изменения давления в вакуумной камере экструдера с помощью вакуум-регулятора, а также путем изменения влажности обрабатываемого сырья.

**Ключевые слова:** одношнековый экструдер, конструктивно-технологическая схема, вакуумная камера, термовакуумный эффект.

**Для цитирования:** Потапов М.А., Курочкин А.А. Модернизированная схема экструдера для переработки птичьего помета с повышенной влажностью // Инновационная техника и технология. 2021. Т. 8. № 2. С. 24–28.

### Justification of the design and technological scheme of the extruder for processing raw materials with high humidity

*Potapov M.A., Kurochkin A.A.*

**Abstract.** Equipping the extruder with a vacuum chamber and realizing the advantages of the thermal vacuum effect in the operation of such a machine allows you 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 dewatering of the product under low pressure. To expand the scope of application of such an extruder by processing raw materials with high humidity, we propose its modernized design and technological scheme with two-stage dehydration of the extrudate after it leaves the working path of the machine. This scheme of operation of the machine allows processing raw materials with a humidity of 40-45% and obtaining extrudates with a moisture content of no more than 10-12.5%. In this case, the humidity control of the processed raw material is carried out by blowing hot wet water vapor or hot dried water vapor through its layer (when the heating elements are turned on), and the humidity control of the finished product is carried out by changing the pressure in the vacuum chamber of the extruder using a vacuum regulator, as well as by changing the humidity of the processed raw material.

**Keywords:** single-screw extruder, design and technological scheme, vacuum chamber, thermal vacuum effect.

**For citation:** Potapov M.A., Kurochkin A.A. Justification of the design and technological scheme of the extruder for processing raw materials with high humidity. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2021. Vol. 8. No. 2. pp. 24–28. (In Russ.).

## Введение

Известно, что одношнековые экструдеры, с позиции термодинамической характеристики их рабочего процесса, относятся к машинам с низкой энергоэффективностью, что существенно ограничивает их применение при переработке сырья, в том числе – с повышенной влажностью.

Оснащение таких машин вакуумными камерами и реализация преимуществ термовакуумного эффекта при работе однокамерных экструдеров позволяет повысить их энергосберегающую способность путем замещения части энергии электрического привода энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в условиях пониженного давления.

Основываясь на этой информации, С.П. Игнатьев запатентовал экструдер для переработки влажной массы в виде птичьего помета или навоза, который оснащен тремя рабочими зонами: сорбционной сушки, экструзионной обработки и вакуумного досушивания [4].

В зоне сорбционной сушки размещены дозирующее устройство, вертикально расположенный шнек и рабочая камера с мешалкой. Дозирующее устройство установлено перед шнеком и служит для подачи в рабочую камеру сорбента, в качестве которого используется солома, отходы деревообработки или сухой экструдированный помет, нереализованный в установленные сроки.

Зона экструзионной обработки представлена горизонтально расположенным шнеком и фильерой.

Зона вакуумного досушивания размещена после зоны экструзионной обработки и в ней установлены конденсатор, вакуумный насос и шлюзовой затвор.

Рабочий процесс этого экструдера осуществляется следующим образом. Поступающая для переработки влажная масса подается в рабочую камеру посредством шнека, где с помощью мешалки интенсивно перемешивается с сорбентом и снижает свою влажность. Объем поступающего в экструдер с помощью дозирующего устройства сорбента, регулируется исходя из влажности обрабатываемого сырья. Начавшийся в блоке сорбционной сушки процесс влагопереноса между сорбирующим материалом и пометом завершается в зоне экструзионной обработки, где реализуется термопластическое воздействие на сырье. При продавливании обраба-

тываемого сырья шнеком экструдера через его фильеру в зону вакуумного досушивания, происходит резкий сброс давления, что приводит к взрывному испарению воды и снижению влажности готового продукта. С целью интенсификации процесса экструзионного обезвоживания взрывное испарение осуществляется в вакуумной камере. Пониженное давление в вакуумной камере обеспечивается с помощью конденсатора и вакуумного насоса. К недостатки данного экструдера можно отнести следующее:

1. Теплота выделяющегося в процессе декомпрессионного взрыва водяного пара полезно не используется.

2. Сложность регулировки влажности готового продукта, обусловленная обязательным применением сорбента. Данный и, пожалуй, важнейший технологический параметр экструдированного помета зависит от количества добавляемого к обрабатываемому сырью сорбента и их влажности, а также давления воздуха в вакуумной камере, регулировка которого конструкцией не предусмотрена. При этом в случае недостаточно высокой влажности помета или навоза (например, в случае использования подстилки) применение экструдера без предварительного увлажнения обрабатываемого сырья затруднено.

Цель работы – обоснование модернизированной схемы экструдера для обработки сырья с повышенной влажностью, позволяющей устранить отмеченные в обзорной части статьи конструктивные недостатки экструдера.

## Объекты и методы исследования

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

## Результаты и их обсуждение

В модернизируемом экструдере часть энергии привода, необходимой для реализации рабочего процесса машины, предлагается заместить энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания. Для этого обрабатываемое сырье перед подачей в экструдер предварительно нагревается с помощью горячего пара, поступающего из воздушной камеры машины.

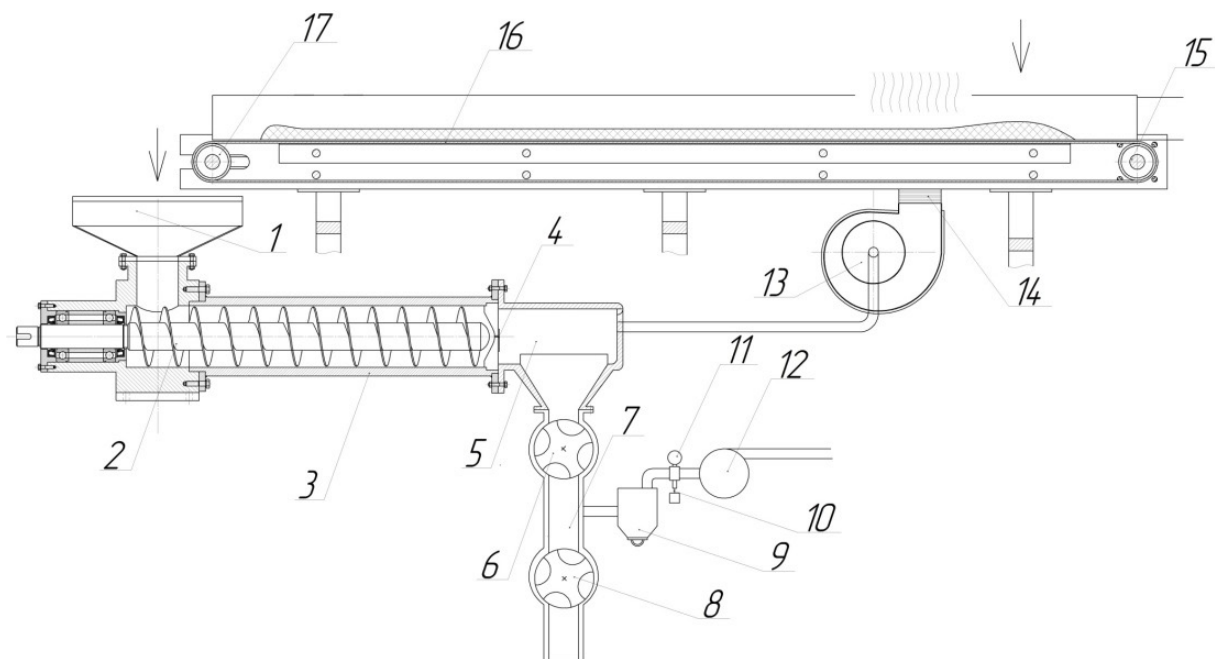


Рис. 1. Конструктивно-технологическая схема модернизированного экструдера:

1 – загрузочная камера; 2 – шнек; 3 – корпус; 4 – фильера матрицы; 5 – воздушная камера; 6, 8 – шлюзовые затворы; 7 – вакуумная камера; 9 – вакуум-баллон; 10 – вакуум-регулятор; 11 – вакуум-метр; 12 – вакуумный насос; 13 – вентилятор; 14 – воздушные ТЭНы; 15 – ведомый вал; 16 – сетчатая лента; 17 – приводной вал

Регулирование влажности обрабатываемого сырья предлагается осуществлять путем продувки через его слой горячего влажного водяного пара или горячего подсушенного водяного пара (при включенных ТЭНах).

Регулирование влажности готового продукта может быть выполнено за счет изменения давления в вакуумной камере экструдера с помощью вакуум-регулятора, а также путем изменения влажности обрабатываемого сырья.

Предлагаемое в работе техническое решение одношнекового экструдера позволит повысить эффективность обезвоживания экструдата и обрабатывать с помощью такой машины сырье с повышенной влажностью (40-45%).

Модernизированный экструдер состоит из загрузочной камеры 1 (рис. 1), шнека 2, корпуса 3, фильеры матрицы 4, воздушной камеры 5, двух шлюзовых затворов 6 и 8, вакуумной камеры 7, вакуум-баллона 9, вакуум-регулятора 10, вакуум-метра 11 и вакуумного насоса 12.

Воздушная камера 5 экструдера расположена соосно шнеку 2 и фильере матрицы 4.

Вакуумная камера 7 с обеих сторон ограничена шлюзовыми затворами 6 и 8 и с помощью трубопровода соединена с вакуум-баллоном 9.

Воздушная и вакуумная камера, а также трубопроводы, соединяющие их с вентилятором и вакуум-баллоном, с внешней стороны покрыты теплоизоляционным материалом (например, напыляемый утеплитель PENOPLEX).

В верхней части экструдера смонтирован конвейер, выполненный в виде сетчатой ленты 16, перемещаемой с помощью приводного вала 17 и ведомого вала 15. Между конвейером и экструдером

находятся воздушные ТЭНы 14 и вентилятор 13, соединенный с воздушной камерой 5 посредством воздуховода.

Шлюзовой затвор 6 обеспечивает необходимое рабочее давление в воздушной и вакуумной камерах экструдера при перемещении обработанного сырья по их объемам. Шлюзовой затвор 8 служит для выгрузки готового продукта без разгерметизации вакуумной камеры экструдера. Каждый из них представляет собой корпус цилиндрической формы и вращающуюся в нем многолопастную (4-12 шт.) крыльчатку (ротор) на шариковых подшипниках.

Вакуумный насос 12 служит для создания в вакуумной камере экструдера пониженного давления (давления ниже атмосферного).

Вакуум-регулятор 10 необходим для поддержания пониженного давления в вакуумной камере экструдера в заданных пределах при требуемой влажности готового продукта. Для контроля давления в вакуумной камере экструдера служит вакуум-метр 11. Вакуум-баллон 9 служит для выравнивания давления воздуха в системе и сбора конденсата.

Подача горячего водяного пара из воздушной камеры на сетчатый конвейер осуществляется с помощью вентилятора 13. При включенных ТЭНах температура воздушного потока, перемещаемого вентилятором, повышается, а его влажность – снижается.

Рабочий процесс заявляемого экструдера для переработки влажной массы в виде птичьего помета или навоза осуществляется следующим образом.

Обрабатываемое сырье с помощью конвейера поступает в загрузочную камеру экструдера, а затем – в его шнековую часть.

Захваченное шнеком сырье последовательно

проходит зоны прессования и дозирования машины, нагреваясь до температуры 130-1500С, а затем выводится через фильеру матрицы в воздушную камеру.

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

Образующийся горячий пар температурой 120-1400С с помощью вентилятора перемещается в зону сетчатого конвейера. При обработке сырья с повышенной влажностью (более 30 %), включаются один, два или три воздушных ТЭНа. При этом удаляемый из воздушной камеры горячий водяной пар не только дополнительно нагревается, но и существенно снижает свою влажность.

В том случае, если обработке подвергается помет или навоз с влажностью 20-25 %, он может дополнительно увлажняться за счет влажного горячего водяного пара, поступающего из воздушной камеры экструдера при выключенных ТЭНах.

Из воздушной камеры обрабатываемое сырье с температурой 100-1100С с помощью шлюзового затвора 6 перемещается в вакуумную камеру, где при пониженном давлении величиной 40-50 кПа повторно подвергается декомпрессионному взрыву. При этом вновь выделяется горячий водяной пар, а у готового продукта снижается влажность и температура. Образующийся пар с помощью вакуумного насоса перемещается в вакуум-баллон, где часть его конденсируется и в виде жидкости стекает в его нижнюю часть. Оставшаяся часть пара удаляется вакуумным насосом в атмосферу (ротационный насос) или поглощается рабочей жидкостью (водокольцевой насос).

Готовый продукт с помощью шлюзового затвора выводится за пределы машины и подается на фасование.

Таким образом, снижение энергозатрат на выполнение рабочего процесса предлагаемого экструдера (повышение его энергоэффективности) обеспечивается за счет замещения части энергии электрического привода машины энергией (теплотой) горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его интенсивного обезвоживания в воздушной камере экструдера. При этом регулирование влажности обрабатываемого сырья осуществляется включением или отключением ТЭНов, а влажность готового продукта обеспечивается с помощью вакуум-регулятора экструдера. Все это свидетельствует о том, что цель предлагаемой модернизации в полной мере решается посредством обоснованных в статье технических решений.

### Выводы

Предлагаемая модернизация конструктивно-технологической схемы экструдера с вакуумной камерой позволяет реализовать принцип двухэтапного обезвоживания экструдата после выхода его из рабочего тракта машины. Такая схема работы машины позволяет обрабатывать сырье влажностью 40-45% и получать экструдаты с содержанием влаги не больше 10-12,5%.

При этом регулирование влажности обрабатываемого сырья будет осуществляться путем продувки через его слой горячего влажного водяного пара или горячего подсушенного водяного пара (при включенных ТЭНах), а регулирование влажности готового продукта может быть выполнено за счет изменения давления в вакуумной камере экструдера с помощью вакуум-регулятора, а также путем изменения влажности обрабатываемого сырья.

### 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. 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] Пат. 193201 Российская Федерация МПК

### 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. 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.
- [4] Pat. 193201 Russian Federation IPC A23R 10/25. Extruder for processing wet mass in the form of bird droppings or manure / applicant: S. P. Ignatiev; applicant and patent holder of the Federal State

A23P 10/25. Экструдер для переработки влажной массы в виде птичьего помета или навоза /заявитель: С.П. Игнатьев; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО «Ижевская ГСХА».– № 2019113281; заявл. 29.04.2019; опубл. 16.10.2019, Бюл. № 29.

- [5] 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 (2). С. 29- 34.

Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy». – No. 2019113281; application No. 29.04.2019; publication No. 16.10.2019, Byul. No. 29.

- [5] Frolov, D. I. 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 equipment and technology. 2015. No. 1 (2). pp. 29-34.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Потапов Максим Александрович</b> аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440045, Пенза, ул. Ульяновская, д. 36, кв. 37 <b>E-mail:</b> torrentskachat@mail.ru</p>	<p><b>Potapov Maxim Alexandrovich</b> postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University <b>E-mail:</b> torrentskachat@mail.ru</p>
<p><b>Курочкин Анатолий Алексеевич</b> доктор технических наук профессор кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 <b>Тел.:</b> +7(927) 382-85-03 <b>E-mail:</b> anatolii_kuro@mail.ru</p>	<p><b>Kurochkin Anatoly Alekseevich</b> D.Sc. in Technical Sciences professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University <b>Phone:</b> +7(927) 382-85-03 <b>E-mail:</b> anatolii_kuro@mail.ru</p>