

## ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

## TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 631.363.285

### Анализ структурной модели энергосберегающего агрегата для термовакуумной обработки пищевого сырья

*Курочкин А.А., Потапов М.А.*

**Аннотация.** В статье представлены результаты анализа структурной модели энергосберегающего агрегата для экструзионной обработки сырья, в котором шнековый рабочий орган предлагается заменить на винтовой насос. В модернизированной конструкции агрегата винтовой насос выполняет функцию шнека только в части источника повышенного давления сырья, перемещаемого по внутреннему тракту экструдера. Нагрев обрабатываемого сырья в агрегате осуществляется с помощью индукционного или диэлектрического нагревателя, что в сравнении с серийными экструдерами позволяет существенно сократить удельные затраты электроэнергии на реализацию рабочего процесса подобного оборудования. Развернутые выводы по анализу модели позволяют систематизировать задачи по дальнейшей работе, связанной с модернизацией оборудования для термовакуумной обработки пищевого сырья.

**Ключевые слова:** анализ, модель, агрегат, энергосбережение, шнек, нагреватель, сырье, экструдат.

**Для цитирования:** Курочкин А.А., Потапов М.А. Анализ структурной модели энергосберегающего агрегата для термовакуумной обработки пищевого сырья // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 4. С. 36–39.

### Analysis of the structural model of an energy-saving unit for thermal vacuum processing of food raw materials

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

**Abstract.** The article presents the results of the analysis of the structural model of an energy-saving unit for the extrusion processing of raw materials, in which it is proposed to replace the screw working body with a screw pump. In the proposed design of the unit, the screw pump performs the function of a screw only in part of the source of increased pressure of raw materials moved along the inner path of the extruder. Heating of the processed raw materials in the unit is carried out using an induction or dielectric heater, which, in comparison with serial extruders, can significantly reduce the specific energy costs for the implementation of the workflow of such equipment. The detailed conclusions on the analysis of the model allow us to systematize the tasks for further work related to the modernization of equipment for thermal vacuum processing of food raw materials.

**Keywords:** analysis, model, unit, energy saving, auger, heater, raw materials, extrudate.

**For citation:** Kurochkin A.A., Potapov M.A. Analysis of the structural model of an energy-saving unit for thermal vacuum processing of food raw materials. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 4. pp. 36–39. (In Russ.).

**Введение**

Одним из широко распространенных способов обработки пищевого сырья растительного происхождения является его горячая термопластическая экструзия [4]. При этом широкое применение экструзионных технологий в реальных условиях хозяйствующих субъектов сдерживается достаточно низкой их энергоэффективностью.

Термовакuumная разновидность экструзии позволяет в определенной степени устранить этот системный недостаток базовой технологии за счет использования ее нижних температурных режимов, а также повторного вовлечения в энергетический баланс машины энергии горячего пара, выделяющегося из экструдата в процессе его охлаждения в вакуумной камере экструдера [5]. Первая отмеченная особенность термовакuumной технологии позволяет снизить риск нежелательной деградации наиболее ценных термолабильных ингредиентов сырья, а вторая – снизить примерно на 20-25% удельные затраты электроэнергии на обработку сырья данной группой оборудования [1, 3].

В ряде научных публикаций кардинальное сокращение удельных затрат электроэнергии на процесс термовакuumной экструзии различных видов сырья аффилируются с заменой шнекового рабочего органа экструдера на винтовой насос и применением индукционного или диэлектрического нагревателя. Предполагается, что реализация этой научной концепции в случае модернизации одношнекового автогенного экструдера позволит снизить затраты электроэнергии на обработку некоторых видов сырья примерно в 3,0-3,5 раза [2].

Цель исследования – на основе системного анализа структурной модели энергосберегающего агрегата для термовакuumной обработки пищевого сырья дать рекомендации по совершенствованию его конструктивно-технологической схемы и основным рабочим параметрам.

**Объекты и методы исследований**

Поставленную цель предлагается реализовать путем привлечения инструментариев структурного и функционального моделирования.

Известно, что структурное моделирование используется как средство исследования систем и может служить для их анализа наряду с другими методами формализованного представления – теоретико-множественными, лингвистическими, кибернетическими и т.п. [1].

В данном случае такой подход к совершенствованию рабочего процесса экструдера оправдан тем, что позволяет выявить в рассматриваемой системе составные элементы и связи между ними. В дополнение к этому в работе на основе функционального подхода предполагается обосновать и сформулировать предложения по совершенствованию конструктивно-технологической схемы объекта исследования.

В качестве объекта исследования рассматривается энергосберегающий агрегат для экструзионной обработки сырья, в котором шнековый рабочий орган предложено заменить на винтовой насос. При этом насос выполняет функцию шнека только в части источника избыточного давления сырья, а его нагрев осуществляется с помощью индукционного или диэлектрического нагревателя.

**Результаты**

Структурная модель агрегата, рабочий процесс которого основан на энергосберегающих принципах, представляет собой пять относительно самостоятельных блоков: загрузки (З), транспортирования (Тр), нагрева (Н), экструзии (Э) и вакуумной сушки (В) (рис. 1).

Рабочий процесс агрегата осуществляется следующим образом. Перерабатываемое сырье поступает в блок загрузки и с помощью подающего шнека подается к винтовому насосу блока транспортирования. Под действием напора (1,0-1,2 МПа), созда-

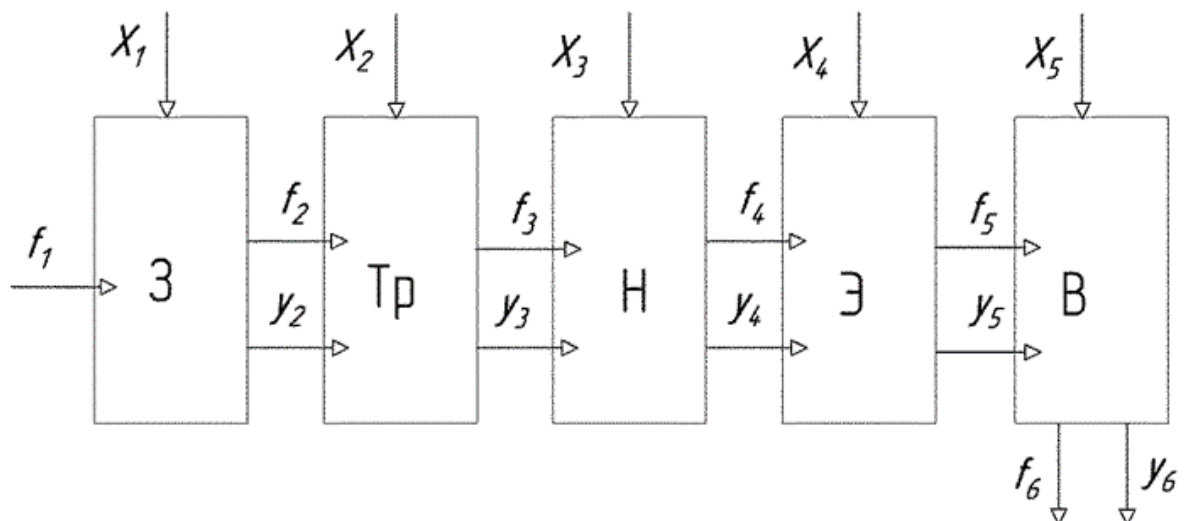


Рис. 1. Структурная модель агрегата для энергосберегающей обработки пищевого сырья

ваемого насосом, сырье перемещается в нагревательную камеру блока нагрева, где его температура повышается до 100-110°C а затем выводится через фильтр матрицы блока экструзии в камеру блока вакуумной сушки. Таким образом, в процессе обработки в предлагаемом агрегате растительное сырье подвергается термическому воздействию, экструдруется и обезвоживается.

В качестве основных оценочных критериев работы агрегата можно принять обобщенные значения результирующих факторов его блоков  $u_1 \dots u_6$ .

На значения этих критериев влияют факторы, обусловленные внутренней структурой и параметрами каждого из блоков –  $x_1 \dots x_5$ .

Внешними воздействиями (входными факторами), оказывающими влияние на работу агрегата, являются обобщенные статистические показатели, характеризующие свойства сырья и готового продукта –  $f_1 \dots f_5$ .

### Обсуждение

Анализ структурной модели агрегата позволяет сделать следующие предварительные выводы:

1. Внешний фактор  $f_1$ , характеризующий свойства сырья, поступающего на обработку в блок загрузки, должен соответствовать требованиям блоков транспортирования и экструзии в части гранулометрического состава, а также блока экструзии – по влажности. Не выполнение этих требований в первом случае приведет к нарушению рабочего процесса насоса и забиванию фильеры матрицы, а во втором – отсутствию или не эффективному декомпрессионному взрыву сырья в блоке вакуумной сушки.

2. С целью поддержания работоспособности винтового насоса, факторы  $f_1$  и  $f_2$  должны быть согласованы по величине подачи таким образом, чтобы этот показатель у блока загрузки был равен или

незначительно больше, чем у блока транспортирования. Во втором варианте необходимо предусмотреть отвод излишков сырья на повторную подачу.

3. Время нахождения обрабатываемого сырья в блоке нагрева должно обеспечивать повышение его температуры до штатных режимов, для чего производительность (подача) винтового насоса должна быть согласована с геометрическими размерами камеры нагрева.

4. Подача винтового насоса должна быть согласована с количеством отверстий и суммарной пропускной способностью фильеры матрицы.

5. Температура нагрева обрабатываемого сырья должна быть согласована с величиной давления в вакуумной камере блока сушки.

Конечной целью анализа представленной модели является определение оптимальных, либо рациональных значений факторов  $x_1 \dots x_5$  с целью доведения показателя  $u_6$  до оптимального, а при отсутствии такой возможности – до рационального.

С точки зрения конструктивно-технологических параметров агрегата модель позволяет вводить ограничения на их численные значения или ориентировочно принимать их соотношение. Например, если в качестве  $f_1$  принят диаметр отверстий фильеры, то очевидно, что работоспособность агрегата будет обеспечиваться при условии, что значение этого параметра будет больше, чем максимальный размер частиц обрабатываемого сырья и т.д.

### Выводы

Перспективы дальнейших исследований в рамках заявленной проблемы связаны с экспериментами по изучению роли каждого из перечисленных факторов, а также нахождению их рациональных численных значений, обеспечивающих повышение эффективности технологического процесса объекта исследования в целом.

### Литература

- [1] Алонцева, Е. Н. Структурное моделирование процессов и систем. /Е.Н. Алонцева, А.Н. Анохин, С.П. Саакян. Учебное пособие по курсу «CASE и CALS технология». Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 2015. 72 с.
- [2] Курочкин, А.А. Повышение энергоэффективности одношнекового экструдера за счет использования термовакuumного эффекта/А.А. Курочкин // Инновационная техника и технология. 2019. № 1.(18) С. 28-31. EDN: PIWHXG.
- [3] Курочкин, А.А. Обоснование конструктивно-технологической схемы энергосберегающего термовакuumного агрегата /А.А. Курочкин, М.А. Потапов //Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 1. С. 25-29. EDN: НТЕHVZ.

### References

- [1] Alontseva E.N. Structural modeling of processes and systems. / E.N. Alontseva, A.N. Anokhin, S.P. Sahakyan. Textbook for the course «CASE and CALS technology». Obninsk: IATE NRNU MEPhI. 2015. 72 p.
- [2] Kurochkin, A.A. improving the energy efficiency of a single-screw extruder by using the thermal vacuum effect/A.A. Kurochkin //Innovative equipment and technology. 2019. No. 1.(18) pp. 28-31. EDN: PIWHXG.
- [3] Kurochkin, A.A. Substantiation of the design and technological scheme of an energy-saving thermal vacuum unit / A.A. Kurochkin, M.A. Potapov // Innovative equipment and technology. 2022. Vol. 9. No. 1. pp. 25-29. EDN: НТЕHVZ.

- [4] Рациональные технологические параметры при производстве поликомпонентного композита на основе семян льна / В. М. Зимняков, О. Н. Кухарев, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Нива Поволжья. – 2017. – № 4(45). – С. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [5] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, П. К. Гарькина [и др.] // Нива Поволжья. – 2019. – № 2(51). – С. 134-143. – EDN BIRIFZ.
- [4] Rational technological parameters in the production of a polycomponent composite based on flax seeds / V. M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Niva Povolzhya. - 2017. - No. 4 (45). - S. 157-163. – EDN ZTIERL.
- [5] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D. I. Frolov, A. A. Kurochkin, P. K. Garkina [et al.] // Niva Povolzhya. - 2019. - No. 2 (51). - S. 134-143. – EDN BIRIFZ.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<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>
<p><b>Потанов Максим Александрович</b>                  аспирант кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440045, Пенза, ул. Ульяновская, д. 36, кв. 37  <b>Тел.:</b> +7(962) 473-86-96  <b>E-mail:</b> makspotapov@mail.ru</p>	<p><b>Potapov Maxim Alexandrovich</b>                  postgraduate student of the department «Food productions»                  Penza State Technological University  <b>Phone:</b> +7(962) 473-86-96  <b>E-mail:</b> makspotapov@mail.ru</p>