

## К вопросу расширения классификационных признаков технологии и оборудования для термовакуумной экструзии пищевого сырья

*Курочкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В.*

**Аннотация.** Актуальность совершенствования классической экструзии обусловлена ее высокой энергоемкостью и возможными негативными последствиями при переработке отдельных видов пищевого сырья. Термовакуумная экструзия представляет собой следующий шаг эволюции классической экструзии, позволяющий получать продукты премиального уровня из относительно дешевого растительного сырья, сохраняя их высокое качество. Классификация, представленная в работе, отражает актуальную информацию, как о технической, так и технологической особенностях термовакуумной экструзии пищевого сырья. На ее основе сформулированы основные положения в части достоинств и недостатков этого вида воздействия на сельскохозяйственное сырье, а также обосновано направление в совершенствовании технических средств для реализации этой технологии.

**Ключевые слова:** классификация, технология, экструдер, термовакуумная экструзия, вакуумная камера.

**Для цитирования:** Курочкин А.А., Аширов Р.Р., Поляков А.В. К вопросу расширения классификационных признаков технологии и оборудования для термовакуумной экструзии пищевого сырья // Инновационная техника и технология. 2026. Т. 13. № 2. С. 84–89.

## On the issue of expanding the classification features of technology and equipment for thermal vacuum extrusion of food raw materials

*Kurochkin A.A., Ashirov R.R., Polyakov A.V.*

**Abstract.** The relevance of improving classical extrusion is due to its high energy consumption and possible negative consequences during the processing of certain types of food raw materials. Thermovacuum extrusion is the next step in the evolution of classical extrusion, allowing for the production of premium-level products from relatively cheap plant-based raw materials while maintaining their high quality. The classification presented in this work reflects the current information on both the technical and technological aspects of thermovacuum extrusion of food raw materials. Based on this, the main advantages and disadvantages of this type of impact on agricultural raw materials have been formulated, and the direction for improving the technical means for implementing this technology has been justified.

**Keywords:** classification, technology, extruder, thermovacuum extrusion, vacuum chamber.

**For citation:** Kurochkin A.A., Ashirov R.R., Polyakov A.V. On the issue of expanding the classification features of technology and equipment for thermal vacuum extrusion of food raw materials. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2026. Vol. 13. No. 2. pp. 84–89. (In Russ.).

### Введение

Одной из наиболее наукоемких технологий, применяемых в пищевой индустрии, является экструзионная обработка сельскохозяйственного сы-

рья растительного и животного происхождения [1, 5, 6].

Логическим направлением развития этой технологии в последние годы стали работы по обоснованию диверсификации экструзионной обработки термо- и механически чувствительных компонен-

тов пищевого сырья. При таком способе экструзии обработку сырья предлагается осуществлять при высоком содержании влаги, умеренных температурах и относительно мягких условиях механических напряжений (сдвига). Перечисленные технологические параметры и их рациональные соотношения характерны для термовакуумной экструзии (ТВЭ) сельскохозяйственного сырья, применяемой для производства определенных видов пищевых продуктов и высококачественных кормов для домашних животных.

Традиционная экструзия осуществляется при высоком давлении внутри рабочего объема экструдера, а выход обрабатываемого сырья из фильеры матрицы машины сопровождается резким сбросом давления до атмосферного, что приводит к «взрывному» расширению сырья и формированию пористой структуры у готового продукта.

В термовакуумной экструзии зона формования или выхода продукта находится в условиях разрежения (вакуума). Это создает несколько критических эффектов:

1. Снижение температуры кипения воды: влага испаряется при более низких температурах, что позволяет проводить процесс при щадящих температурных режимах (часто ниже 100-120 °С) в зоне расширения, сохраняя термочувствительные нутриенты (витамины, антиоксиданты).

2. Удаление летучих веществ: вакуум эффективно удаляет нежелательные летучие соединения (например, специфические запахи бобовых или горечь некоторых растений) и кислород, что повышает окислительную стабильность готового продукта.

3. Контролируемая структура: возможность управлять размером и распределением пор, получая более плотную, слоистую или, наоборот, равномерно ячеистую структуру, имитирующую мышечные волокна (для аналогов мяса).

По существу, термовакуумная экструзия – это следующий шаг эволюции после классической экструзии, позволяющий получать продукты премиального уровня из относительно дешевого растительного сырья, сохраняя их высокое качество. Если классическая экструзия – это «масс-маркет» (снеки, корма), то ТВЭ – это технология для рынка здорового питания и премиальных аналогов мяса [1, 9].

В качестве применяемого сырья технология ТВЭ предлагает использовать бобовые (соя, горох, фасоль, нут, чечевица) и злаковые (пшеница, кукуруза, рис, овес) сельскохозяйственные культуры, масличные семена (подсолнечник, лен, рапсовое семя – после обезжиривания), овощные и фруктовые выжимки (источники пищевых волокон) и др.

Целевыми продуктами при этом являются текстурированные растительные белки (аналоги мяса), сухие завтраки и снеки с пониженным гликемическим индексом, полуфабрикаты быстрого приготовления и обогащенные пищевые добавки (носители витаминов). Сравнительный анализ ТВЭ и клас-

сической (традиционной) экструзии представлен в табл. 1.

В настоящее время уровень развития технологии ТВЭ позволяет использовать ее ключевое преимущество в основном при создании продуктов из животного сырья, обеспечивая получение продуктов с текстурой, максимально близкой к животным аналогам (мясу), без использования высоких температур, разрушающих белок. При этом ТВЭ во всем мире относят к нишевым и высокотехнологичным технологиям, а лидеры по ее применению позиционируются в качестве производителей оборудования и научно-исследовательских центров, разрабатывающих рецептуры пищевой продукции [1, 4].

За рубежом к ним относятся крупнейший американский производитель экструдеров для пищевой промышленности «Wenger Manufacturing», немецкая компания «Coperion» (Werner & Pfleiderer), швейцарская – «Bühler» и др. К ключевым разработчикам технологий и ингредиентов для ТВЭ, задающим стандарты отрасли, обычно относят корпорацию «Protein Technologies International» (США) [7, 8, 10-12].

Что касается российских производителей, то они достаточно активно развивают данное направление импортозамещения в области глубокой переработки пищевого сырья, проводя исследования на стыке машиностроения и пищевой науки.

Классификация экструдеров для ТВЭ может быть осуществлена на основе общих признаков, присущих этой группе оборудования, независимо от вида обрабатываемого сырья и вырабатываемой продукции. При этом для обработки пищевого сырья актуальны такие классификационные признаки как конструктивное исполнение и термодинамическая характеристика, а также тип рабочего органа и его основные рабочие параметры – частота вращения, соотношение диаметра и длины, профиль шнека и фильеры [1, 5, 6].

Целью работы является разработка классификации оборудования для термовакуумной экструзии, отражающей актуальное направление в данной технологии.

### **Объекты и методы исследования**

Объектом исследований являлась научно-техническая и патентная информация относительно устройства, принципа действия и конструктивных особенностей экструдеров для термовакуумной экструзии пищевого сырья. В работе применялся аналитический метод исследований, основанный на системном подходе к рассматриваемой проблеме.

### **Результаты и их обсуждение**

Анализ научно-технической и патентной информации показал, что за последние 15-20 лет в России и за рубежом появились экструзионные тех-

Таблица 1 – Сравнение ТВЭ с классической экструзией

Параметр	Классическая экструзия	Термовакuumная экструзия
Давление на выходе	Атмосферное (резкий сброс высокого давления).	Разрежение (вакуум, часто 0,05-0,08 МПа).
Температурный режим	Высокий (140-180 °С и выше). Существует риск термической деградации.	Более низкий (100-110 °С в зоне расширения сырья). Щадящий режим.
Структура продукта	Крупнопористая, хрупкая, сильно вспененная.	Контролируемая пористость, возможность получения слоистых/волоконистых структур, меньшая усадка.
Сохранность нутриентов	Низкая. Разрушение витаминов (особенно С, группы В), денатурация белков может быть избыточной.	Высокая. Сохранение термочувствительных компонентов; биодоступность белка выше.
Органолептика	Возможны привкусы «жженого» продукта, потеря аромата.	Улучшенный вкус, удаление летучих антипитательных веществ (горечи, запахи).
Цвет продукта	Часто темнеет из-за реакций Майяра и карамелизации.	Более светлый, естественный цвет сырья.
Сложность оборудования	Стандартная, широко распространено.	Высокая, требует герметичных зон и систем вакуумирования.
Затраты	Высокие энергетические – на нагрев и создание давления.	Энергозатраты на нагрев – ниже; капитальные затраты на оборудование – выше.

Таблица 2 – Классификация экструдеров для термовакuumной экструзии пищевого сырья

Классификационный признак	Основные группы	Примечание
Тип шнековой пары	Одношнековые; двухшнековые (сопутствующего/противовращающегося принципа действия); многошнековые.	Для зерновых, бобовых, масличных жмыхов и волокнистого сырья предпочтительны двухшнековые системы: лучшее перемешивание, самоочищение, контроль степени наполнения и сдвиговых напряжений.
Расположение вакуумной зоны	– внутри цилиндра (дегазационная секция); – непосредственно после фильеры матрицы; – многоступенчатая (каскадная).	Постматричное размещение ориентировано на мгновенное структурообразование и мягкую сушку. Внутрцилиндровая – на удаление летучих веществ до формирования экструдата.
Температурный режим	Низкотемпературные (<120 °С); среднетемпературные (120-160 °С); высокотемпературные (>160 °С); комбинированные с вакуумом.	Для растительного сырья с термолабильными компонентами (белки, витамины, полифенолы) оптимален комбинированный режим: нагрев+сдвиг в цилиндре → вакуумное расширение и испарение после выхода.
Назначение	Пищевые (текстураты, снеки, функциональные ингредиенты); кормовые; технические.	Требования к гигиене, материалам контакта, точности контроля параметров различаются.
Тип привода и управления	Механические; гидростатические; частотно-регулируемые с цифровым контролем.	Современные системы оснащаются программируемыми логическими контроллерами (ПЛК) с обратной связью по моменту, давлению, температуре и уровню вакуума.

нологии, в основе которых заложен принципиально новый способ воздействия на выходящий из фильеры матрицы машины экструдат [1, 2, 4].

Эта информация стала основанием включения в качестве классификационного признака экструдеров способа воздействия на экструдат при выходе его из фильеры матрицы машины [3].

Данный признак характеризует поведение экструдата при выходе из фильеры экструдера в среду с атмосферным, повышенным (избыточным) или пониженным (вакуум) давлением.

Первый случай характеризует «классическую» горячую экструзию; в процессе реализации второго

обеспечивается некоторое контролируемое «укрощение» взрывного процесса при выходе обрабатываемого сырья из фильеры матрицы экструдера, что позволяет поддерживать требуемую форму готового продукта с учётом особенностей его критериев (влажности, пористости и т.д.) [1, 5].

Вариант, когда обрабатываемое сырье подвергается воздействию пониженного давления, включает две разновидности, отличающиеся местом расположения вакуумной зоны – внутри рабочего тракта экструдера (внутри его цилиндра) или непосредственно после выхода сырья из фильеры матрицы машины.

Размещение вакуумной камеры сразу после фильеры матрицы ориентировано на мгновенное структурообразование и мягкую сушку обрабатываемого сырья, в то время как отсос воздуха, осуществляемый внутри рабочего объема экструдера, предназначен для удаления летучих веществ экструдата до его формования.

Предлагаемая в виде таблицы классификация позволяет оценить структурно-технологические схемы экструдеров, как в штатной комплектации, так и их экспериментальных образцов, представленных в информационной среде России и зарубежных источниках. Классификация проведена по нескольким ключевым признакам, определяющим конструктивные параметры экструдеров, их режим работы и область применения (табл. 2).

На основании представленной классификации можно сделать предварительный вывод о том, что в современных условиях развития техники и технологии экструзии наиболее перспективны термовакуумные экструдеры с вакуумной камерой, расположенной непосредственно после выхода экструдата из фильеры матрицы. К достоинствам этой группы машин можно отнести:

1. Мгновенное структурообразование: резкий перепад давления сразу после выхода вызывает мгновенное испарение влаги, что формирует равномерную пористую структуру без дополнительной механической деформации.

2. Сохранение термолабильных компонентов: понижение температуры кипения воды в вакууме (до 80-60 °С при 0,05-0,08 МПа) снижает термическую нагрузку на белки, ферменты, витамины и антиоксиданты растительного происхождения.

3. Эффективное удаление летучих ингредиентов сырья: антипитательные вещества (фитиновая кислота, ингибиторы трипсина, алкалоиды, остаточные растворители, запахи) отводятся до завершения сушки, что улучшает питательную и органолептическую ценность экструдата.

4. Снижение энергозатрат на сушку: конечная влажность экструдата после камеры может достигать 8-12 %, что исключает или сокращает этап конвекционной/барабанной сушки.

5. Гибкость рецептур: возможность работы с высоко гидратированными или липкими смесями

(например, соевые/гороховые концентраты, отруби, жом) без риска пригара в цилиндре.

Недостатки экструдеров рассматриваемого типа проявляются в основном в сфере инженерных решений:

1. Сложность герметизации узла «матрица → вакуумная камера»: динамический переход из зоны высокого давления (10-15 МПа) в глубокий вакуум требует прецизионных уплотнений и компенсирующих элементов.

2. Риск обратной тяги и пульсаций: при нестабильной подаче сырья или колебаниях вакуума возможен подсос воздуха, обратное движение расплава или его неравномерное расширение.

3. Адиабатическое охлаждение продукта: интенсивное испарение влаги резко снижает температуру экструдата, что может привести к недоэкструзии внутренних слоёв расплава или необходимости его последующего подогрева.

4. Ограничение производительности: объём вакуумной камеры и мощность насосов должны строго соответствовать массовому расходу обрабатываемого сырья.

5. Высокие требования к системам конденсации и утилизации паров: растительное сырьё выделяет большое количество влаги, органических кислот, ароматических соединений; в некоторых случаях требуется многоступенчатая конденсация, сепарация и очистка отработанных газов.

6. Ускоренный износ фильеры и уплотнений: циклические перепады давления и температуры вызывают термические напряжения, микротрещины и ускоренную эрозию контактных поверхностей экструдеров.

## Выводы

Классификация, представленная в работе, отражает актуальную информацию, как о технической, так и технологической особенностях термовакуумной экструзии пищевого сырья. На ее основе сформулированы основные положения в части достоинств и недостатков этого вида воздействия на сельскохозяйственное сырьё, а также обосновано направление в совершенствовании технических средств для реализации этой технологии.

## 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

## References

- [1] Innovations in extrusion /A.A. Kurochkin, P.K. Garkina, A.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

- 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. Классификация энергоэффективных систем для термопластической экструзии растительного сырья / А.А. Курочкин, Р.Р. Аширов, А.В. Поляков // Инновационная техника и технология. 2025. Т. 12, № 3. С. 45-49. EDN LAFIYP.
- [5] Машины и аппараты пищевых производств. В 2 кн. Кн. 1: Учеб. для вузов / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. М.: Высш. шк., 2001. – 703 с.
- [6] Оборудование перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015.– 363 с.
- [7] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. Foods. 2021 May 15; 10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [8] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. Vol. 19. e01532.
- [9] Kraus S. et al. Drying kinetics and expansion of non-predried extruded starch-based pellets during microwave vacuum processing //Journal of Food Process Engineering. 2013. Т. 36. №. 6. С. 763-773.
- [10] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. Food Res Int. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [11] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. Foods. 2021 Feb 9; 10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [12] Ramchiary M., Das A. B. Vacuum-assisted extrusion of red rice (bao-dhan) flour: Physical and phytochemical comparison with conventional extrusion //Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Т. 44. №. 8. С. e14570.
- 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] Kurochkin, A.A. Classification of Energy-Efficient Systems for Thermoplastic Extrusion of Vegetable Raw Materials / A.A. Kurochkin, R.R. Ashirov, and A.V. Polyakov // Innovative Engineering and Technology. 2025. Vol. 12, No. 3. Pp. 45-49. EDN LAFIYP.
- [5] Machines and apparatuses of food production. In 2 books of Book 1: Textbook for universities / S.T. Antipov, I.T. Kretov, A.N. Ostrikov et al.; Ed. akad. RASKHN V. A. Panfilova. M.: Higher. Sch., 2001. – 703 p
- [6] Equipment for processing industries /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronina. Moscow: INFRA-M, 2015. 363 p.
- [7] Cotacallapa-Sucapuca M., Vega E.N., Maieves H.A., Berrios J.J., Morales P., Fernández-Ruiz V., Cámara M. Extrusion Process as an Alternative to Improve Pulses Products Consumption. A Review. Foods. 2021 May 15;10(5):1096. doi: 10.3390/foods10051096. PMID: 34063375; PMCID: PMC8156340.
- [8] Kesselly S. R., Mugabi R., Byaruhanga Y. B. Effect of soaking and extrusion on functional and pasting properties of cowpeas flour //Scientific African. 2023. Vol. 19. e01532.
- [9] Kraus S. et al. Drying kinetics and expansion of non-predried extruded starch-based pellets during microwave vacuum processing //Journal of Food Process Engineering. 2013. Т. 36. No. 6. С. 763-773.
- [10] Orozco-Angelino X, Espinosa-Ramírez J, Serna-Saldívar SO. Extrusion as a tool to enhance the nutritional and bioactive potential of cereal and legume by-products. Food Res Int. 2023 Jul;169:112889. doi: 10.1016/j.foodres.2023.112889. Epub 2023 Apr 27. PMID: 37254337.
- [11] Pedrosa M.M., Guillamón E., Arribas C. Autoclaved and Extruded Legumes as a Source of Bioactive Phytochemicals: A Review. Foods. 2021 Feb 9; 10(2):379. doi: 10.3390/foods10020379. PMID: 33572460; PMCID: PMC7919342.
- [12] Ramchiary M., Das A. B. Vacuum-assisted extrusion of red rice (bao-dhan) flour: Physical and phytochemical comparison with conventional extrusion //Journal of Food Processing and Preservation. 2020. Т. 44. No. 8. С. e14570.

**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                  Тел.: +7(927) 382-85-03                  E-mail: 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>Аширов Равиль Ринатович</b>                  аспирант кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p><b>Ashirov Ravil Rinatovich</b>                  upostgraduate student of the department «Food productions»                  Penza State Technological University</p>
<p><b>Поляков Александр Викторович</b>                  аспирант кафедры «Пищевые производства»                  ФГБОУ ВО «Пензенский государственный                  технологический университет»                  440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p><b>Polyakov Alexander Viktorovich</b>                  upostgraduate student of the department «Food productions»                  Penza State Technological University</p>