

Исследование факторов, влияющих на энергоэффективность процесса экструзии влажного сырья

Фролов Д.И., Шептак Т.В.

Аннотация. В статье приводится исследование факторов (скорость шнека и массовый расход) влияющих на условия работы экструдера, крутящий момент двигателя и удельную механическую энергию для высоковлажного сырья. Для измерения крутящего момента матрицы использовали лабораторный экструдер и щелевую матрицу с реометром. Крутящий момент матрицы уменьшался с увеличением скорости вращения шнека и увеличивался с увеличением массового расхода. Однако увеличение массового расхода привело к снижению удельной механической энергии. Увеличение скорости шнека увеличивало удельную механическую энергию. Это объяснялось более высокими скоростями сдвига при более высоких скоростях вращения шнека.

Ключевые слова: экструзия, крахмал, влагосодержание, массовый расход, скорость шнека.

Для цитирования: Фролов Д.И., Шептак Т.В. Исследование факторов, влияющих на энергоэффективность процесса экструзии влажного сырья // Инновационная техника и технология. 2020. № 3 (24). С. 42–46.

Study of the factors affecting the energy efficiency of the extrusion process of wet raw materials

Frolov D.I., Sheptak T.V.

Abstract. The article provides a study of factors (screw speed and mass flow rate) affecting the operating conditions of the extruder, engine torque and specific mechanical energy for high-moisture raw materials. A laboratory extruder and a slotted die with a rheometer were used to measure the die torque. The die torque decreased with increasing screw rotation speed and increased with increasing mass flow. However, the increase in mass flow has led to a decrease in the specific mechanical energy. Increasing the screw speed increased the specific mechanical energy. This was due to the higher shear rates at higher screw speeds.

Keywords: extrusion, starch, moisture content, mass flow rate, screw speed.

For citation: Frolov D.I., Sheptak T.V. Study of the factors affecting the energy efficiency of the extrusion process of wet raw materials. Innovative Machinery and Technology. 2020. No.3 (24). pp. 42–46. (In Russ.).

Введение

Удельная механическая энергия является хорошей характеристикой оценки экструдера и широко используется для анализа технологических параметров в математических моделях [1]. Влияние параметров экструзии на удельную механическую энергию и структурно-функциональные свойства пшеничного крахмала было изучено различными учеными [2, 3]. Данные исследования подтверждают, что удельная тепловая и механическая энергия, воздействующая на сырье, вызывает его пластификацию [4].

Исследования, связывающие условия эксплу-

атации с различными реакциями экструдера при более высоком содержании влаги (>45%), в литературе немногочисленны. Поскольку влажная экструзия становится все более популярной для производства нетрадиционных пищевых продуктов, существует необходимость изучения параметров пищевого экструдера при высоком содержании влаги [5-9]. Проведены исследования термовакуумной экструзии, позволяющей улучшить обезвоживание экструдатов [10-13]. На протяжении исследования смесь рисового крахмала использовалась в качестве модельной системы для мониторинга крутящего момента двигателя лабораторного экструдера на изменения условий эксплуатации (массовый расход и

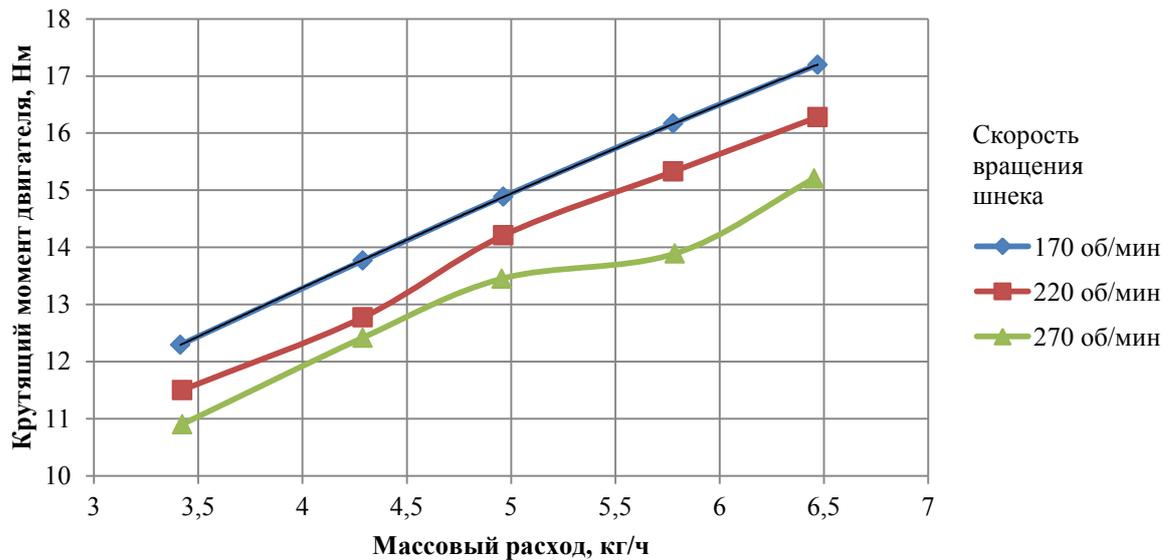


Рис. 1. Влияние массового расхода и скорости вращения шнека на крутящий момент двигателя (содержание влаги 60% и температура матрицы 80 °С)

скорость шнека). Проведен статистический анализ реакции экструдера на изменение условий эксплуатации. Были также обсуждены требования к удельной механической энергии экструдера и крутящего момента двигателя, в зависимости от условий эксплуатации.

Целью работы являлось исследование влияния массового расхода и скорости шнека экструдера на крутящий момент и удельную механическую энергию.

Объекты и методы исследований

В качестве модельной системы использовали рисовый крахмал влажностью 6 %. Крахмал смешивали с водой в смесителе для достижения влажности 55 %, 60 % и 65 % (г воды/г раствора). Опыты проводились с использованием реометра и одношнекового экструдера ЭК-40. Исследовались температуры 80 °С, 85 °С, 90 °С, 100 °С. Экструдер запускали до установившегося состояния: определенной скорости шнека и массового расхода. Параметры отклика экструдера и крутящий момент двигателя фиксировались. Были использованы три различных скорости вращения шнека (170, 220 и 270 об/мин). Массовый расход варьировался от 3 до 7 кг/ч.

Результаты и их обсуждение

Поскольку увеличение массового расхода увеличивало пропускную способность и степень заполнения цилиндра экструдера, крутящий момент также увеличивался, чтобы компенсировать требуемый повышенный сдвиг (рисунок 1). Однако показатель удельной механической энергии показал снижение по мере увеличения массового расхода (рисунок 2) при постоянном содержании влаги (60%), темпера-

туре фильеры (80 °С) и скорости вращения шнека. Поскольку удельная механическая энергия является мерой механической энергии, подводимой к материалу, который был экструдирован на единицу массы, увеличение массового расхода уменьшило бы удельную механическую энергию. Тепловыделение и поток сырья из-за трения и конвекции не изменятся, поскольку они зависят только от температуры цилиндра и скорости шнека, поэтому каждая частица крахмала получает меньше механической энергии при более высоких скоростях потока.

Увеличение скорости вращения шнека привело к более низкой степени заполнения, что вследствие вызвало уменьшение длины заполненных камер шнека. Следовательно, крутящий момент двигателя уменьшился, как показано на рисунке 1, потому что сопротивление вращению шнека было пропорционально длине заполненных камер шнека.

Увеличение скорости вращения шнека привело к снижению вязкости расплава, поскольку при более высоких скоростях вращения шнека скорость сдвига была выше. Снижение вязкости также способствовало снижению крутящего момента, поскольку при более низкой вязкости сопротивление вращению вала шнека уменьшалось. Однако удельная механическая энергия увеличивается пропорционально скорости шнека из-за увеличения скорости сдвига. Другие исследователи также отмечали, что удельная механическая энергия существенно не изменилась с изменением скорости вращения шнека. Незначительное изменение удельной механической энергии при более высоких скоростях вращения шнека объясняется повышением температуры, что приводит к снижению вязкости. Однако в этом исследовании была обнаружена определенная тенденция удельной механической энергии, связанная с изменением скорости вращения шнека.

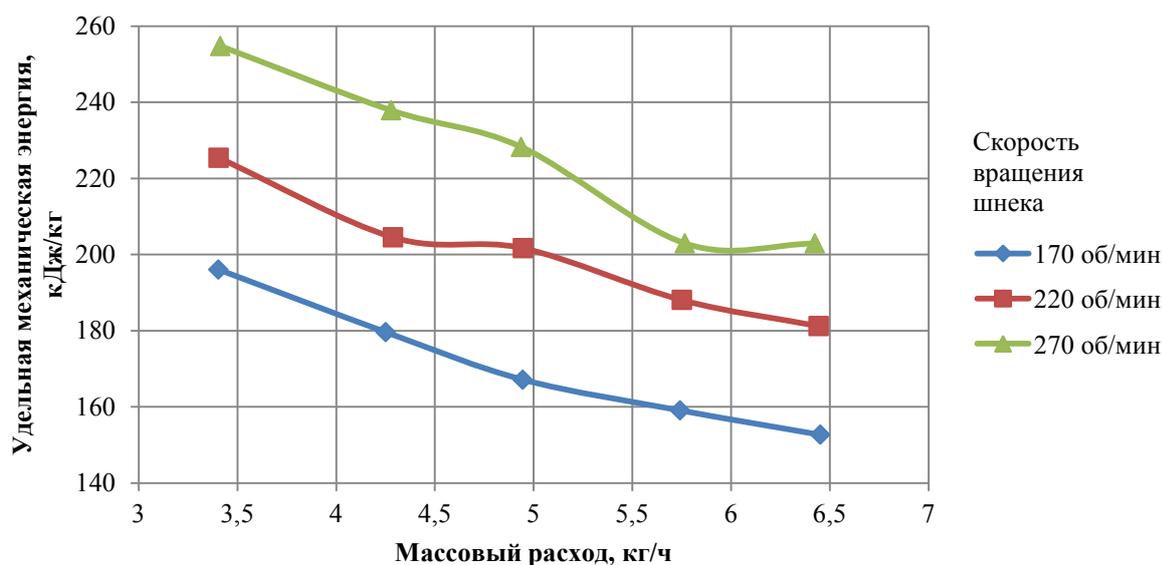


Рис. 2. Влияние массового расхода и скорости вращения шнека на удельную механическую энергию (содержание влаги 60% и температура матрицы 80 °С)

Выводы

В исследовании выявлено, что крутящий момент двигателя и удельная механическая энергия существенно влияют условия работы экструдера. Массовый расход и скорость вращения шнека влияют на крутящий момент и характеристики удельной механической энергии.

Крутящий момент двигателя уменьшался с увеличением скорости вращения шнека и увели-

чивался с увеличением массового расхода. Однако увеличение массового расхода привело к уменьшению удельной механической энергии. Увеличение скорости вращения шнека вызвало рост удельной механической энергии в результате увеличения скорости сдвига. Изменения крутящего момента и удельной механической энергии при различных конфигурациях шнеков также могут быть связаны с различными характеристиками сырьевых смесей используемых при экструзии.

Список литературы

- [1] Shihani, N., Kumbhar, B. K. & Kulshreshtha, M. (2006). Modeling of extrusion process using response surface methodology and artificial neural networks. *Journal of Engineering Science and Technology*, 1(1), 31-40.
- [2] Michelangelli, O. P., Gaspar-Cunha, A. & Covas, J. A. (2014). The influence of pellet-barrel friction on the granular transport in a single screw extruder. *Powder Technology*, 264, 401-408.
- [3] Roye, C., Henrion, M., Chanvrier, H., De Roeck, K., De Bondt, Y., Liberloo, I., King, R., & Courtin, C. M. (2020). Extrusion-Cooking Modifies Physicochemical and Nutrition-Related Properties of Wheat Bran. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9(6), 738. PubMed. <https://doi.org/10.3390/foods9060738>
- [4] Zhang, K., Jia, X., Zhu, Z., & Xue, W. (2020). Physicochemical properties of rice analogs based on multi-level: Influence of the interaction of extrusion parameters. *International Journal of Food Properties*, 23(1), 2033–2049. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1840389>
- [5] 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.
- [6] Моделирование процесса получения экструдатов на основе нового технологического решения / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Нива Поволжья. 2014. № 30. С. 70–76.
- [7] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д.И. Фролов [и др.] // Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 134–143.
- [8] Теоретическое обоснование 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.
- [9] Improving the efficiency of extrudate dehydration in a vacuum chamber of a modernized extruder / D.I. Frolov [et al.] // *Volga Region Farmland*. 2019. № 2 (2). P. 87–94.

- [10] Потапов М.А., Фролов Д.И., Курочкин А.А. Оптимизация количества отверстий в матрице одношнекового экструдера для переработки птичьего помета // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. Т. 5. № 4. С. 42–48.
- [11] 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.
- [12] Технологические аспекты регулирования выхода экстракта при получении пивного суслу / П.К. Гарькина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Пищевые и биотехнологии. 2020. Т. 8. № 2. С. 13–20.
- [13] 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.

References

- [1] Shihani, N., Kumbhar, B. K. & Kulshreshtha, M. (2006). Modeling of extrusion process using response surface methodology and artificial neural networks. *Journal of Engineering Science and Technology*, 1 (1), 31-40.
- [2] Michelangelli, O. P., Gaspar-Cunha, A. & Covas, J. A. (2014). The influence of pellet-barrel friction on the granular transport in a single screw extruder. *Powder Technology*, 264, 401-408.
- [3] Roye, C., Henrion, M., Chanvrier, H., De Roeck, K., De Bondt, Y., Liberloo, I., King, R., & Courtin, C. M. (2020). Extrusion-Cooking Modifies Physicochemical and Nutrition-Related Properties of Wheat Bran. *Foods (Basel, Switzerland)*, 9 (6), 738. PubMed. <https://doi.org/10.3390/foods9060738>
- [4] Zhang, K., Jia, X., Zhu, Z., & Xue, W. (2020). Physicochemical properties of rice analogs based on multi-level: Influence of the interaction of extrusion parameters. *International Journal of Food Properties*, 23 (1), 2033–2049. <https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1840389>
- [5] Kurochkin A.A., Frolov D.I., Voronina P.K. Determination of the main parameters of the vacuum chamber of the modernized extruder // *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2015. No. 4 (32). pp. 172-177.
- [6] Modeling the process of extrudates production based on a new technological solution / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronin // *Niva of the Volga region*. 2014. No. 30, pp. 70–76.
- [7] Increasing the efficiency of extrudate dewatering in the vacuum chamber of the modernized extruder / D.I. Frolov [and others] // *Niva of the Volga region*. 2019. No. 2 (51). pp. 134-143.
- [8] Theoretical substantiation of the thermal vacuum effect in the working process of the modernized extruder / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronin // *News of the Samara State Agricultural Academy*. 2015. No. 3. pp. 15–20.
- [9] Improving the efficiency of extrudate dehydration in a vacuum chamber of a modernized extruder / D.I. Frolov [et al.] // *Volga Region Farmland*. 2019. No. 2 (2). pp. 87–94.
- [10] Potapov M.A., Frolov D.I., Kurochkin A.A. Optimization of the number of holes in the die of a single-screw extruder for processing poultry manure // *Bulletin of the Samara State Agricultural Academy*. 2020. Т. 5. No. 4. pp. 42–48.
- [11] Rational technological parameters in the production of a multicomponent composite based on flax seeds / V.M. Zimnyakov, O. N. Kukharev, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov // *Niva Volga region*. 2017. No. 4 (45). pp. 157-163.
- [12] Technological aspects of regulating the yield of the extract when obtaining beer wort / P.K. Garkina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2020. Vol. 8. No. 2. pp. 13–20.
- [13] Extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids and food fibers / A.A. Kurochkin, P.K. Voronin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov // *Technics and technology of food production*. 2016. No. 3 (42). pp. 104-111.

Сведения об авторах

Information about the authors

| | |
|---|---|
| <p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p> | <p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p> |
| <p>Шептак Тимур Валерьевич аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p> | <p>Sheptak Timur Valerievich postgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p> |