

ТЕХНОЛОГИИ И СРЕДСТВА МЕХАНИЗАЦИИ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

TECHNOLOGIES AND MEANS OF MECHANIZATION OF AGRICULTURE

УДК 664.769

Влияние конструктивных параметров матрицы экструдера на энергопотребление и показатели качества кукурузно-гречневого экструдата

Аширов Р.Р., Фролов Д.И.

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния диаметра отверстия фильеры экструдера на энергозатраты и показатели качества экструдата: коэффициент объемного расширения, индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде. Смесь кукурузной и гречневой крупы экструдировали на одношнековом экструдере ЭК-40, оснащенный двумя сменными матрицами с различными выходными отверстиями: 12 и 14 мм. Содержание гречневой крупы в смеси регулировали: 15, 30, 45, 60 и 100%. Установлено, что уменьшение диаметра отверстия фильеры приводит к увеличению удельных энергозатрат процесса, а также к улучшению качественных показателей экструдата (степень расширения, индекс водопоглощения и индекс растворимости в воде), возможно, за счет увеличения времени пребывания сырья внутри экструдера и лучшего перемешивания внутри машины.

Ключевые слова: экструдер, отверстие, фильера, гречиха, кукуруза.

Для цитирования: Аширов Р.Р., Фролов Д.И. Влияние конструктивных параметров матрицы экструдера на энергопотребление и показатели качества кукурузно-гречневого экструдата // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 4. С. 31–35.

Influence of design parameters of the extruder matrix on energy consumption and quality indicators of corn-buckwheat extrudate

Ashirov R.R., Frolov D.I.

Abstract. The article presents the results of studies of the effect of the diameter of the extruder die hole on energy consumption and extrudate quality indicators: coefficient of volumetric expansion, water absorption index and water solubility index. A mixture of corn and buckwheat groats was extruded on a single-screw extruder EK-40, equipped with two replaceable dies with different outlet openings: 12 and 14 mm. The content of buckwheat groats in the mixture was regulated: 15, 30, 45, 60 and 100%. It was found that a decrease in the diameter of the die hole leads to an increase in the specific energy consumption of the process, as well as to an improvement in the quality indicators of the extrudate (expansion ratio, water absorption index and water solubility index), possibly due to an increase in the residence time of the raw materials inside the extruder and better mixing inside the machine.

Keywords: extruder, hole, die, buckwheat, corn.

For citation: Ashirov R.R., Frolov D.I. Influence of design parameters of the extruder matrix on energy consumption and quality indicators of corn-buckwheat extrudate. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 4. pp. 31–35. (In Russ.).

Введение

Термическая и механическая обработка с использованием экструдеров широко применяется для улучшения растительных продуктов, используемых в пищевой промышленности. Продукты, полученные таким образом, обладают хорошими питательными свойствами, достигаемыми путем сочетания термической обработки и механических напряжений для изменения внутренней структуры материала. Сильное механическое воздействие достигается за счет интенсивного перемешивания материала внутри экструдера и существенного расширения материала, выходящего из матрицы экструдера. Расширение является одним из основных параметров, определяющих качество экструдата, на которое влияют состав смеси, подвергаемой экструзии, и технологические параметры процесса: температура или геометрия рабочих органов экструдера. Диаметр отверстий матрицы является ключевым параметром, влияющим на расширение продукта. Из многочисленных ссылок известно, что уменьшение диаметра отверстий матрицы приводит к увеличению расширения материала [1, 2, 3, 4, 5]. Другие исследования доказали влияние геометрии отверстий на индексы расширения, однако было также обнаружено, что увеличение длины отверстий приводит к уменьшению индекса объемного расширения, уменьшению индекса продольного

расширения и увеличению индекса поперечного расширения [6, 7].

Большинство опубликованных исследований были проведены с однородными материалами, в основном кукурузной крупой или молотым зерном, пшеничной мукой или кукурузным крахмалом [8, 9]. Значительный интерес к функциональному питанию усиливает введение сырья с высокой пищевой ценностью в типичные кукурузные смеси. Одной из таких добавок является гречиха с ценными свойствами, которая становится популярным во всем мире. Гречиха легко поддается экструдированию, однако для получения продукта, приемлемого для потребителей, необходимо достичь надлежащей степени расширения экструдата и нескольких желаемых текстурных свойств.

Целью работы было исследование влияния диаметра отверстия фильеры на отдельные показатели качества экструдата: степень расширения, растворимость, водопоглощение и удельный расход энергии.

Объекты и методы исследования

Использовался одношнековый экструдер ЭК-40 со скоростью вращения шнека $n=200$ об/мин и отношением длины шнека к диаметру $L/D = 6$. Исследования проводились со сменными матрицами с различными выходными отверстиями: 12 и 14 мм. Экструдер был оснащен нагревательными элемен-

Таблица 1 - Результаты дисперсионного анализа влияния диаметра выходного отверстия фильеры на энергопотребление и показатели качества кукурузно-гречневого экструдата

Эффект	Однофакторный дисперсионный анализ				
	SS	Степень свободы	MS	F	p
Расширение					
Свободный член	1302,04	1	1302,04	4584,23	0
Содержание гречихи (%)	21,83	5	4,366	15,372	0
Отверстие фильеры	26,049	1	26,049	91,713	0
Индекс поглощения воды (WAI)					
Свободный член	472,741	1	472,741	3145,24	0
Содержание гречихи (%)	2,869	5	0,574	3,818	0,009
Отверстие фильеры	4,033	1	4,033	26,835	0,000
Индекс растворимости в воде (WSI)					
Свободный член	4826,24	1	4826,248	387,394	0
Содержание гречихи (%)	279,22	5	55,846	4,483	0,004
Отверстие фильеры	19,006	1	19,006	1,526	0,227
Механическая прочность					
Свободный член	0,225	1	0,225	383,122	0
Содержание гречихи (%)*	0,003	1	0,003	4,966	0,030
Отверстие фильеры	0,005	5	0,001	1,557	0,188
Потребление энергии					
Свободный член	0,444	1	0,444	3380,162	0
Содержание гречихи (%)	0,004	5	0,001	6,074	0,001
Отверстие фильеры	0,004	1	0,004	31,08	0,000

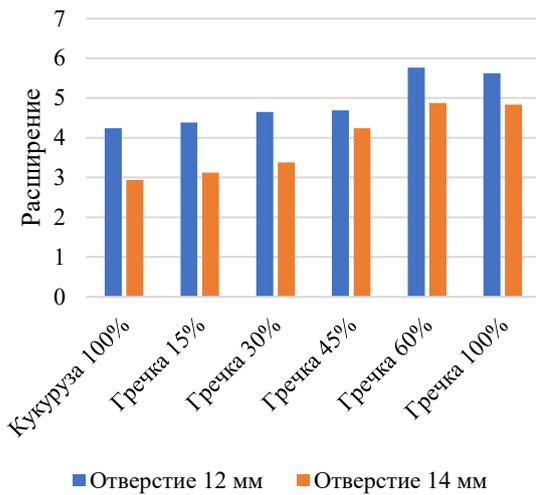


Рис. 1. Влияние диаметра выходного отверстия фильеры на степень расширения экструдата кукурузы и гречихи

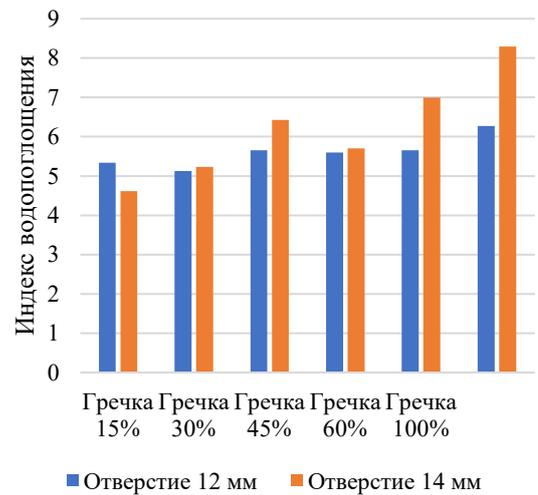


Рис. 4. Влияние диаметра выходного отверстия фильеры на индекс водопоглощения кукурузно-гречневого экструдата

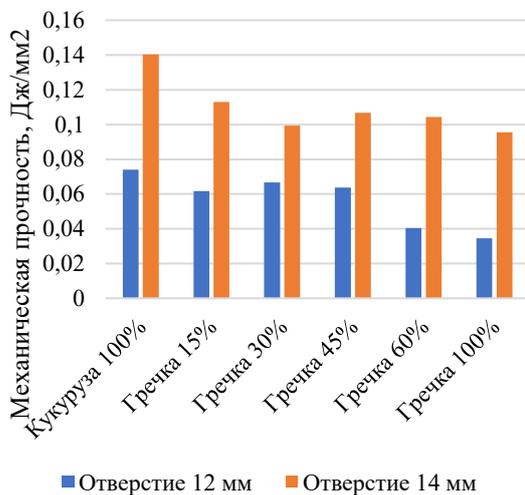


Рис. 2. Влияние диаметра выходного отверстия фильеры на показатель механической прочности экструдата кукурузы и гречихи

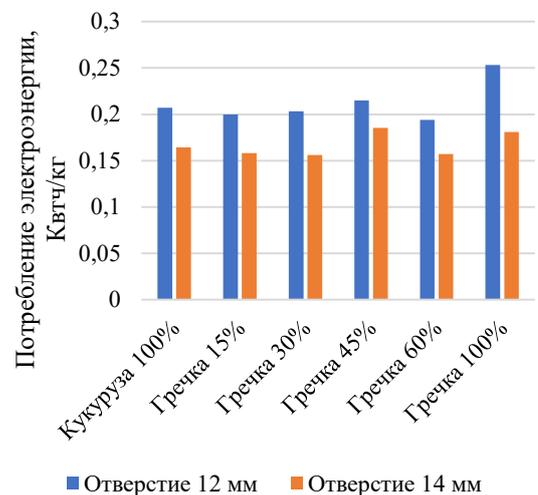


Рис. 5. Влияние диаметра выходного отверстия фильеры на потребление электроэнергии при экструзии кукурузно-гречневых смесей

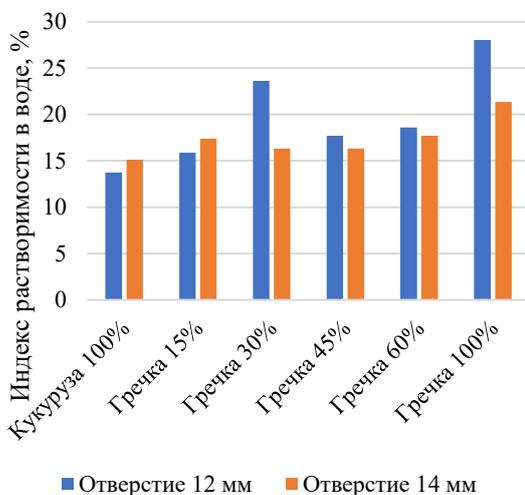


Рис. 3. Влияние диаметра выходного отверстия фильеры на индекс растворимости в воде экструдата кукурузы и гречихи

тами мощностью 3 кВт, что позволяло поддерживать постоянную температуру процесса экструзии, равную 120°C. Экструдировалась смесь кукурузной муки и гречневой крупы влажностью 15% и различным содержанием гречневой крупы: 15, 30, 45, 60 и 100%.

Метод по определению индекса растворимости в воде и индекса водопоглощения включал тщательное перемешивание измельченного экструдата (масса 2,5 г, размер частиц 180-250 мкм) с 25 мл дистиллированной воды. Избыток воды отделяли на центрифуге при 3000 об/мин в течение 10 мин, затем образец взвешивали и высушивали при 105°C.

Исследуемые индексы рассчитывались следующим образом:

Индекс водопоглощения: $WAI = \text{вес осадка} / \text{вес сухих веществ}$.

Индекс растворимости в воде: $WSI (\%) = \text{вес}$

растворенных твердых веществ/вес сухих твердых веществ.

Плотность экструдата определялась модифицированным методом вытеснения, а коэффициент объемного расширения рассчитывался.

Полученные результаты были подвергнуты статистическому анализу в программе Statistica 10. Определено влияние добавки гречихи на показатели качества экструдата при различных диаметрах отверстий матрицы. В качестве оценки были взяты средние значения показателей качества: расширение, индекс водопоглощения, индекс растворимости в воде и энергопотребление, при уровне значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

Коэффициент объемного расширения

При измерениях (рисунок 1) обнаружено увеличение коэффициента расширения для обоих диаметров фильеры матрицы: 12 и 14 мм при увеличении содержания гречихи. Наибольшее значение этого коэффициента (5,6 при содержании гречихи 80%) было получено для отверстия 12 мм.

Текстура - механическая прочность

Диаметр отверстия существенно влияет на исследуемый показатель. Наибольшее значение механической прочности экструдата (рисунок 2) было получено при содержании кукурузы 100% (0,15 Дж/мм² для диаметра отверстия 14 мм и 0,07 Дж/мм² для диаметра отверстия 12 мм). Статистически значимого влияния содержания гречихи в смеси на механическую прочность в исследовании не обнаружено (таблица 1).

Индекс растворимости в воде (WSI) и индекс поглощения воды (WAI)

Содержание гречихи существенно влияет на значения обоих индексов (WSI и WAI). Наибольшее значения WSI были обнаружены для отверстия матрицы 12 мм, тогда как для WAI самые высокие

значения были обнаружены для отверстия матрицы 14 мм (рисунки 3 и 4).

Энергопотребление

Обнаружено лишь небольшое увеличение энергозатрат при увеличении содержания гречихи, наибольшее значение потребления энергии произошло при 100% содержании гречихи для диаметра отверстий фильеры 12 мм (рисунок 5).

Выводы

Экструзия известна уже много лет, однако сам процесс до конца не изучен, а предпринимаемые попытки экструзии новых продуктов сталкиваются с рядом проблем, связанных с неправильным выбором диаметра отверстия матрицы, выбором шнека и т. д. Поэтому необходимо проведение более точных исследований по экструзии различных зерновых смесей при различном диаметре отверстия матрицы и его длине. На основании проведенных исследований можно установить, что изменение диаметра отверстий существенно влияет на все исследованные показатели качества кукурузно-гречневого экструдата, за исключением показателя растворимости в воде. Установлено, что содержание гречихи не оказывает существенного влияния на механическую прочность экструдата, полученного при использовании двух фильер, тогда как существенное влияние наблюдается в случае диаметра фильер. Механическая прочность увеличивается на 50% при использовании фильер диаметром 14 мм. Увеличение диаметра фильер приводит к снижению расхода электроэнергии (на 0,07 кВт·ч/кг при экструзии чистой гречихи). В то же время, при увеличении содержания гречихи в смеси обнаружено небольшое увеличение расхода электроэнергии. Наибольший расход энергии наблюдался при экструзии 100% гречневой крупы с диаметром отверстий фильеры 14 мм.

Литература

- [1] Карташов Л. П., Зубкова Т. М., Корякина М. А. Исследование влияния геометрических параметров шнека на производительность экструдера при экструдировании семян рапса // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2010. – №. 4. – С. 70-72.
- [2] Мишанин А. Л. и др. Теоретическое обоснование влияния конструктивных параметров фильеры экструдера на величину её смещения // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2020. – №. 4 (84). – С. 161-165.
- [3] Sokhey A. S., Ali Y., Hanna M. A. Effects of die dimensions on extruder performance // Journal of

References

- [1] Kartashov L. P., Zubkova T. M., Koryakina M. A. Study of the influence of screw geometric parameters on extruder performance when extruding rapeseed // Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences. - 2010. - No. 4. - P. 70-72.
- [2] Mishanin A. L. et al. Theoretical substantiation of the influence of extruder die design parameters on the magnitude of its displacement // Bulletin of the Orenburg State Agrarian University. - 2020. - No. 4 (84). - P. 161-165.
- [3] Sokhey A. S., Ali Y., Hanna M. A. Effects of die dimensions on extruder performance // Journal of Food Engineering. - 1997. - Vol. 31. - No. 2. - P. 251-261.
- [4] Chevanan N. et al. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS-based

- Food Engineering. – 1997. – Т. 31. – №. 2. – С. 251-261.
- [4] Chevanan N. et al. Effect of die dimensions on extrusion processing parameters and properties of DDGS-based aquaculture feeds //Cereal chemistry. – 2007. – Т. 84. – №. 4. – С. 389-398.
- [5] Onuh S. O., Ekoja M., Adeyemi M. B. Effects of die geometry and extrusion speed on the cold extrusion of aluminium and lead alloys //Journal of materials processing technology. – 2003. – Т. 132. – №. 1-3. – С. 274-285.
- [6] Ekielski A., Majewski Z., Zelazinski T. Effect of die hole diameter in the extruder on energy consumption and quality indices of maize-buckwheat extrudate //Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. – 2007. – Т. 57. – №. 2 [A]. – С. 53-56.
- [7] Adekola K. A. Influence of food extruder die dimensions on extruded products expansion // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2015. – Т. 17. – №. 1.
- [8] Каминский В. П., Сокол Е. Н., Чиркова Л. В. Вторичные зерновые ресурсы, их образование и вовлечение в хозяйственный оборот // Пищевая промышленность. – 2007. – №. 7. – С. 26-28.
- [9] Бурак Л. Ч., Сапач А. Н. Использование крахмалосодержащего сырья в производстве пива и его влияние на качество готового продукта. Обзор зарубежной литературы // Международный журнал прикладных наук и технологий «Integral». – 2021. – №. 3.
- aquaculture feeds //Cereal chemistry. – 2007. – Т. 84. – No. 4. – pp. 389-398.
- [5] Onuh S. O., Ekoja M., Adeyemi M. B. Effects of die geometry and extrusion speed on the cold extrusion of aluminum and lead alloys // Journal of materials processing technology. – 2003. – Т. 132. – No. 1-3. – pp. 274-285.
- [6] Ekielski A., Majewski Z., Zelazinski T. Effect of die hole diameter in the extruder on energy consumption and quality indicators of maize-buckwheat extrudate // Polish Journal of Food and Nutrition Sciences. – 2007. – Т. 57. – No. 2 [A]. – P. 53-56.
- [7] Adekola K. A. Influence of food extruder die dimensions on extruded products expansion // Agricultural Engineering International: CIGR Journal. – 2015. – Vol. 17. – No. 1.
- [8] Kaminsky V. P., Sokol E. N., Chirkova L. V. Secondary grain resources, their formation and involvement in economic circulation // Food industry. – 2007. – No. 7. – P. 26-28.
- [9] Burak L. Ch., Sapach A. N. Use of starch-containing raw materials in beer production and its influence on the quality of the finished product. Review of foreign literature // International Journal of Applied Sciences and Technologies «Integral». – 2021. – No. 3.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Аширов Равиль Ринатович аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Ashirov Ravil Rinatovich upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>
<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>