

ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ЭНЕРГОЗАТРАТЫ В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА КУКУРУЗНЫХ ЭКСТРУДАТОВ

Фролов Д.И.

Целью работы являлось определение влияния скорости вращения шнека и уровня влажности сырья на эффективность и энергоемкость процесса экструзионной варки. Измерение эффективности процесса экструзии осуществлялось путем определения массы экструдатов, а энергопотребление определялось с использованием удельной механической энергии. На основании результатов исследований выяснилось, что фактором, который существенно влияет на измеренные значения, была скорость вращения шнека. Наряду с увеличением этого параметра повышается энергопотребление и эффективность экструзионно-варочного процесса при переработке кукурузной крупы. Эффективность процесса экструзии зависела также от уровня влажности сырья. При более низкой влажности сырья эффективность снижалась вместе с увеличением скорости шнека и увеличивалась при уровне влажности выше 18%.

Ключевые слова: *экструдат, эффективность, энергозатраты, кукуруза, каша, энергоемкость.*

Введение

Благодаря современному образу жизни, который характеризуется легким потреблением пищи, не требующим длительного приготовления, обычные и детские каши являются наиболее популярными продуктами, на которые все чаще обращают внимание современные родители.

Кратко, процесс экструзионной варки представляет собой обработку порошкового материала под высоким давлением и высокой температурой [1, 4]. Экструзия – приготовление пищи является одним из нескольких методов, используемых для производства детского питания. Этот особый способ обладает многими преимуществами, в том числе дезактивацией некоторых антипитательных факторов, таких как ингибиторы трипсина и протеазы, в результате чего продукты оказываются более усвояемыми [8].

Благодаря приложенному давлению и термообработке экструдированные изделия не нужно варить в дальнейшем. Полностью автоматизированная производственная линия позволяет обеспечить высокие гигиенические и санитарные нормы, что немаловажно при производстве данного вида продукции [2]. Детское питание представляет собой порошкообразные продукты, полученные из кукурузной, рисовой, пшеничной, овсяной или гречневой муки. Кукуруза является самым популярным сырьем, используемым в процессе экструзии-варки. Эти виды продуктов часто обогащаются сухофруктами, сухим молоком, витаминами и минеральными компонентами, чтобы обеспечить сбалансированное и питательное детское питание [3].

Целью работы являлась оценка влияния скорости вращения шнека и уровня влажности сырья на выбранные эксплуатационные параметры процес-

са экструзионной варки кукурузных каш быстрого приготовления.

В объем работы входило производство кукурузных экструдатов и определение влияния выбранных технологических параметров на энергозатраты и эффективность процесса быстрорастворимых кукурузных каш.

Объекты и методы исследований

Материал исследования был в виде товарной кукурузной крупки влажностью 11%. Сырье было увлажнено [7] до различного уровня влажности (W): 12, 14, 16, 18, 20, 22% и обработано с использованием одношнекового экструдера с отношением длины шнека к диаметру равным 12:1. Применен шнек со степенью сжатия 3:1 и формующая головка с диаметром отверстия 3 мм. Экструзионная варка осуществлялась при температурах 120/130/135°C в отдельных секциях корпуса экструдера, при переменных оборотах шнека (n), которые составляли 60, 80, 100, 120 (об/мин).

Влажность сырьевых смесей определяли методом сушки с использованием лабораторной сушилки. Измерения эффективности процесса (Q) проводились путем определения массы экструдатов в течение заданного времени для всех образцов. Измерения проводились в 5 повторностях, в качестве конечного результата было принято среднее значение от измерений. Эффективность выражалась в кг/ч по формуле:

$$Q = \frac{m}{t} \quad (1)$$

где Q – эффективность процесса, кг/ч
m – масса экструдата, полученного в ходе измерения, (кг)
t – время измерения, (ч)

Потребление энергии регистрировали с использованием стандартного ваттметра, подключенного к приводу экструдера. С учетом характеристики экструдера были определены нагрузка на двигатель и эффективность процесса, и полученные значения были рассчитаны с учетом удельного энергопотребления:

$$SME = \frac{nPO}{100n_m Q} \quad (2)$$

где SME – удельная механическая энергия, (кВт•ч)/кг

n – частота вращения шнека, (об/мин)

n_m – максимальное число оборотов шнека, (об/мин)

P – электрическая мощность, (кВт)

O – нагрузка на двигатель, (%)

Q – эффективность, (кг/ч)

Результаты и их обсуждение

Эффективность процесса экструзионной варки кукурузной каши варьировала от 11,4 до 32,16 (кг/ч) в зависимости от применяемых параметров. Наибольшая эффективность процесса наблюдалась при обработке смеси с влажностью 14% при оборотах шнека 120 (об/мин). Самые низкие значения эффективности были зарегистрированы при обработке при самом высоком уровне влажности сырья и скорости шнека 60 (об/мин).

Проведенные испытания показали, что скорость вращения винта оказывает существенное влияние на эффективность процесса. Значение исследуемого параметра увеличивается вместе с увеличением скорости вращения шнека экструдера. В ходе исследования было установлено, что эффективность экструзионно-варочного процесса первоначально повышалась с увеличением уровня влажности до 16%, а затем снижалась с использованием сырья с более высоким уровнем влажности (рис. 1).

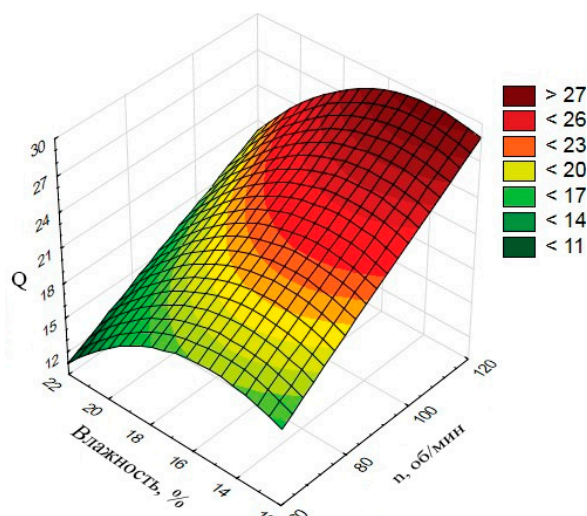


Рис. 1. Эффективность процесса экструзионной варки кукурузных каш быстрого приготовления по отношению к скорости вращения шнека и уровню влажности сырья

Аналогичное соотношение было доказано исследователями во время экструзии кукурузно-злаковых гороховых смесей, где повышение уровня увлажнения сырьевых смесей вызвало снижение производительности процесса экструзионной варки [5]. Другие ученые сообщили в своих исследованиях аналогичную зависимость, где наряду с увеличением скорости вращения шнека увеличивается эффективность процесса (кукурузная, пшеничная и рисовая мука обрабатываются экструзией – варкой) [6].

В ходе исследования было установлено, что величина удельной механической энергии, определяемая как потребляемая электрическая энергия для получения 1 кг продукта, находилась на уровне 0,072–0,246 кВт•ч/кг (259,2–885,6 кДж/кг) по отношению к применяемым параметрам процесса. Наименьший расход энергии определялся при экструзионной варке кукурузной крупы с уровнем влажности сырья 14 и 16%, обработанной при частоте вращения шнека 60 (об/мин). Наибольший расход энергии определялся при обработке сырья, увлажненного до 20 и 22% и на уровне 120 (об/мин) оборотов шнека экструдера.

Исследование показало значительное влияние скорости вращения шнека экструдера на удельную величину механической энергии. Увеличение оборотов вызвало получение более высоких значений удельной механической энергии в процессе экструзионной варки кукурузных каш.

Кроме того, происходит влияние влажности сырья на потребление энергии в процессе переработки. При более низкой начальной влажности сырьевой смеси, т.е. 12 и 16%, с увеличением скорости вращения шнека значения испытываемого параметра уменьшались. С другой стороны, при влажности 18% происходит незначительное увеличение удельной механической энергии (рис. 2).

Полученные результаты измерений были подвергнуты двустороннему дисперсионному анализу, выполненному с использованием программно-

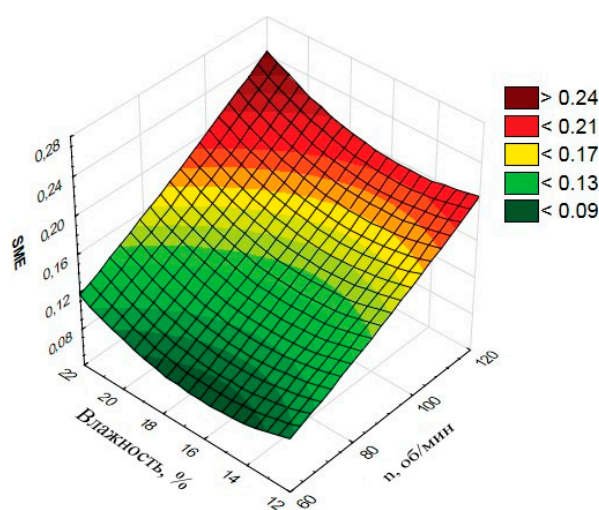


Рис. 2. Энергозатраты процесса экструзионной варки растворимых каш по отношению к скорости вращения шнека и уровню влажности сырья

Таблица 1 – Анализ дисперсии эффективности процесса экструзионной варки

Фактор	Степень свободы	Сумма квадратов	Дисперсия	Значение F	Уровень значимости
Влажность (W)	5	805,126	160,266	2585,11	<0,0001
Частота вращения шнека (n)	3	1145,682	380,945	5885,21	<0,0001
Влажность* Частота вращения шнека (Wn)	15	39,733	2,654	40,36	<0,0001
Ошибка	40	3,133	0,055		

Таблица 2 – Регрессионные уравнения, описывающие изменения эффективности процесса и энергопотребления в зависимости от влажности и скорости вращения шнека

	Влажность, %	Уравнения регрессии	Коэффициент детерминации, R ²
Эффективность	12	$Q=0,84n^2-0,07n+15$	0,100
	14	$Q=0,24n^2+2,35n+18,68$	0,100
	16	$Q=-0,12n^2+4,54n+13,92$	0,998
	18	$Q=-0,04n^2+3,91n+11,08$	0,992
	20	$Q=-0,24n^2+4,13n+9,24$	0,987
	22	$Q=-0,84n^2+7,32n+4,92$	0,994
Удельная механическая энергия	12	$SME=-0,005n^2+0,060n+0,041$	0,999
	14	$SME=0,001n^2+0,032n+0,039$	1
	16	$SME=0,0006n^2+0,034n+0,044$	0,999
	18	$SME=0,0008n^2+0,032n+0,059$	0,989
	20	$SME=0,004n^2+0,0245n+0,076$	0,996
	22	$SME=0,009n^2-0,0026n+0,110$	0,991

го обеспечения Statistica. Первым фактором была влажность сырьевой смеси (W), а вторым – скорость вращения шнека (n). Для каждого фактора отдельно и для их взаимодействий был проведен анализ дисперсии. Полученные результаты представлены в таблице 1. Кроме того, оценивались уравнения регрессии и коэффициенты корреляции (Таблица 2).

Результаты анализа дисперсии, приведенные в таблицах 1 и 2, свидетельствуют о значительном влиянии различных условий процесса экструзионной варки на результаты эффективности процесса и энергопотребления при производстве кукурузных каш быстрого приготовления при предполагаемом доверительном интервале 95%. Было отмечено, что как применяемый уровень влажности сырья, так и изменяемая скорость вращения шнека влияют на эффективность и энергоемкость процесса экструзионной варки.

Высокие значения коэффициентов детерминации (R²) свидетельствуют о значительном влиянии скорости вращения шнека и уровня влажности сырьевой смеси как на эффективность, так и на энергоемкость процесса экструзионной варки (табл.2).

Выводы

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

1. Увеличение скорости вращения шнека повлияло как на эффективность, так и на энергопотребление процесса экструзионной варки кукурузных каш. Увеличение скорости вращения шнека вызвало увеличение КПД и удельной механической энергии.
2. На значение исследуемых параметров повлиял уровень влажности сырья. Наряду с увеличением влажности сырья с 12 до 16% отмечалось снижение удельной механической энергии и повышение эффективности процесса. С другой стороны, было сообщено, что более 18% влаги увеличило значение потребления энергии и снизило эффективность процесса.
3. Более высокие значения параметра F при анализе дисперсии свидетельствовали о большем влиянии скорости вращения шнека на эффективность процесса экструзионной варки. Аналогичные наблюдения были сделаны в случае анализа результатов удельной механической энергии.

Список литературы

- [1] Combrzyński, M., Wójtowicz, A., Klimek, M., Mościcki, L., Oniszczyk, T., Juško, S. Specific mechanical energy consumption of extrusion-cooking of wheat foamed packaging materials. *Agricultural Engineering*, 1(153), 2015, pp.25–34.
- [2] Ekielski, A., Żelaziński, T., Floreczak, I. Wpływ rozdrobnienia ekstrudatu na wskaźniki wodo- chłonności i rozpuszczalności w wodzie. *Inżynieria Rolnicza*, 4(147), 2013, pp.79–89.
- [3] Jurga, R. Przetwory z kukurydzy uzyskane metodą ekstruzji. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2, 2011, pp.7–9.
- [4] Oniszczyk, T., Wójtowicz, A., Mitrus, M., Mościcki, L., Combrzyński, M., Rejak, A., Gładyszewska, B. Biodegradation of TPS mouldings enriched with natural fillers. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 1, 2012, pp.175–180.
- [5] Rzedzicki, Z., Kasprzak M. Wpływ wilgotności surowca na właściwości fizyczne ekstrudatów zbożowo- lędźwianowych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E Agricultura*, 59(1), 2004, pp.293–301.
- [6] Trela A., Mościcki L. Wpływ procesu ekstruzji na wybrane cechy jakościowe peletów zbożowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54), 2007, 43–54.
- [7] Коновалов В. В., Курочкин А. А., Фролов Д. И. Методология проектирования смесителей-увлажнителей сыпучих пищевых продуктов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 189–196.
- [8] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного суслу с использованием экструдированного ячменя / Г. В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Д. И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2014. № 6 (22). С. 103–109.

EFFICIENCY AND ENERGY CONSUMPTION IN THE PROCESS OF MANUFACTURE OF CORN EXTRUDES

Frolov D.I.

The aim of the work was to determine the effect of the screw rotation speed and the level of moisture of the raw material on the efficiency and energy intensity of the extrusion cooking process. The measurement of the efficiency of the extrusion process was carried out by determining the mass of the extrudates, and the energy consumption was determined using the specific mechanical energy. Based on the results of the research, it turned out that the factor that significantly influences the measured values was the screw rotation speed. Along with the increase of this parameter, energy consumption and efficiency of the extrusion-cooking process during the processing of corn grits increase. The efficiency of the extrusion process also depended on the moisture level of the raw materials. At lower raw material humidity, the efficiency decreased with increasing screw speed and increased at a humidity level above 18%.

Keywords: extrudate, efficiency, energy consumption, corn, porridge, energy intensity.

References

- [1] Combrzyński, M., Wójtowicz, A., Klimek, M., Mościcki, L., Oniszczyk, T., Juško, S. Specific mechanical energy consumption of extrusion-cooking of wheat foamed packaging materials. *Agricultural Engineering*, 1(153), 2015, pp.25–34.
- [2] Ekielski, A., Żelaziński, T., Floreczak, I. Wpływ rozdrobnienia ekstrudatu na wskaźniki wodo- chłonności i rozpuszczalności w wodzie. *Inżynieria Rolnicza*, 4(147), 2013, pp.79–89.
- [3] Jurga, R. Przetwory z kukurydzy uzyskane metodą ekstruzji. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 2, 2011, pp.7–9.
- [4] Oniszczyk, T., Wójtowicz, A., Mitrus, M., Mościcki, L., Combrzyński, M., Rejak, A., Gładyszewska, B. Biodegradation of TPS mouldings enriched with natural fillers. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 1, 2012, pp.175–180.
- [5] Rzedzicki, Z., Kasprzak M. Wpływ wilgotności surowca na właściwości fizyczne ekstrudatów zbożowo- lędźwianowych. *Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska, Sectio E Agricultura*, 59(1), 2004, pp.293–301.
- [6] Trela A., Mościcki L. Wpływ procesu ekstruzji na wybrane cechy jakościowe peletów zbożowych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 5(54), 2007, 43–54.

- [7] Konovalov V.V., Kurochkin A.A., Frolov D.I. Metodologija projektirovanija smesitelej-uvlazhnitelej sypuchih pishhevych produktov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. 2014. № 6 (22). S. 189–196.
- [8] Optimizacija sostava zernoproduktov pri poluchenii pivnogo susla s ispol'zovaniem jekstrudirovannogo jachmenja / G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, D.I. Frolov // XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. 2014. № 6 (22). S. 103–109.