

Влияние размеров сопла матрицы экструдера на расширение кукурузного крахмала

Фролов Д.И., Бугаева Е.А.

Аннотация. В статье изучено влияние конфигурации сопла матрицы экструдера на индекс расширения крахмала. Обычный кукурузный крахмал экструдировали через сопла с различным соотношением длины к диаметру L/D . В качестве экструдера использовался лабораторный экструдер ЭК-40. Коэффициент расширения экструдированного крахмала в процессе исследования увеличивался с 4,5 до 13, при отношении длины к диаметру сопла L/D экструдера с 2,5 до 3,4. В дальнейшем, при увеличении отношения длины к диаметру сопла L/D экструдера с 3,4 до 10,2 происходило постепенное снижение коэффициента расширения до 8,5. Противодавление в цилиндре экструдера было прямо пропорционально соотношению длины к диаметру сопла L/D , с оптимальным расширением примерно на уровне 7,1 МПа.

Ключевые слова: экструзия, матрица, свойства экструдата, крахмал, коэффициент расширения.

Для цитирования: Фролов Д.И., Бугаева Е.А. Влияние размеров сопла матрицы экструдера на расширение кукурузного крахмала // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 1. С. 41–44. EDN: OFRGBJ.

Effect of extruder die nozzle size on cornstarch expansion

Frolov D.I., Bugaeva E.A.

Abstract. The article studied the effect of extruder die nozzle configuration on starch expansion index. Conventional cornstarch was extruded through nozzles with different L/D ratios. An EK-40 laboratory extruder was used as an extruder. The coefficient of expansion of the extruded starch during the study increased from 4.5 to 13, with a ratio of length to diameter of the nozzle L/D of the extruder from 2.5 to 3.4. Further, with an increase in the ratio of length to diameter of the nozzle L/D of the extruder from 3.4 to 10.3, the expansion coefficient gradually decreased to 8.5. The backpressure in the extruder barrel was directly proportional to the length to diameter ratio of the nozzle L/D , with the optimum expansion at about 7,1 MPa.

Keywords: extrusion, matrix, extrudate properties, starch, expansion coefficient.

For citation: Frolov D.I., Bugaeva E.A. Effect of extruder die nozzle size on cornstarch expansion. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2022. Vol. 9. No. 1. pp. 41–44. EDN: OFRGBJ. (In Russ.).

Введение

Экструдированные продукты, такие как хлопья, закуски и сухие корма для домашних животных, производятся методом экструзионной варки с прямым расширением [1]. Их пористая структура получается путем создания структуры коллоидного геля при высокой температуре и давлении внутри экструдера. Когда продукт выходит из сопла, резкое падение давления позволяет перегретой воде испариться, и продукт застывает в расширенном состоянии [6]. Во время этой высокотемпературной кратковременной обработки гелевая масса раздувается

на выходе из сопла многочисленными крошечными ячейками, вызванными расширением водяного пара [3].

Объем расширения крахмала в основном зависит от степени его желатинизации в экструдере. Давление и сдвиг, развиваемые при экструзии, определяют степень желатинизации крахмала [5]. Переменные экструзии, такие как конфигурация цилиндра, температура, конструкция шнека, скорость и влажность крахмала, контролируют давление и сдвиг в экструдере, а затем расширение крахмала. Меньшие диаметры фильеры увеличивали степень клейстеризации крахмала и его расширение.

О влиянии размеров сопла (длины и/или диаметра) на расширение крахмала сообщали в исследовании [2]. Изменения размеров сопла влияют на давление и сдвиг в экструдере и, в конечном счете, на расширение крахмала. Цель этого исследования заключалась в том, чтобы конкретно охарактеризовать влияние длины и/или диаметра сопла на объем расширения кукурузного крахмала.

Объекты и методы исследований

В качестве крахмала был куплен обычный кукурузный крахмал в магазине. Мелкий порошок крахмала гранулировали перед экструзией. Влажность гранулированного крахмала доводили до 14% дистиллированной водой.

Образцы были экструдированы в лабораторном одношнековом экструдере ЭК-40 [4]. Лабораторный одношнековый экструдер ЭК-40 с диаметром шнека 40 мм, отношением длина к диаметру шнека 4:1 и температурным режимом 140/170 °С. Температуры секции сжатия и головки экструдера составляли 150°С, тогда как температура секции подачи поддерживалась на уровне 80°С. Образцы крахмала подавали со скоростью 60 г/мин, поддерживая скорость вращения шнека 160 об/мин. Длина сопла «L» и диаметр «D» (рис. 1) варьировались от 9 до 30 мм и от 2 до 6 мм соответственно. Фактическое отношение длины сопла к диаметру (L/D) варьировалось от 2,5 до 10,2. Датчик давления под-

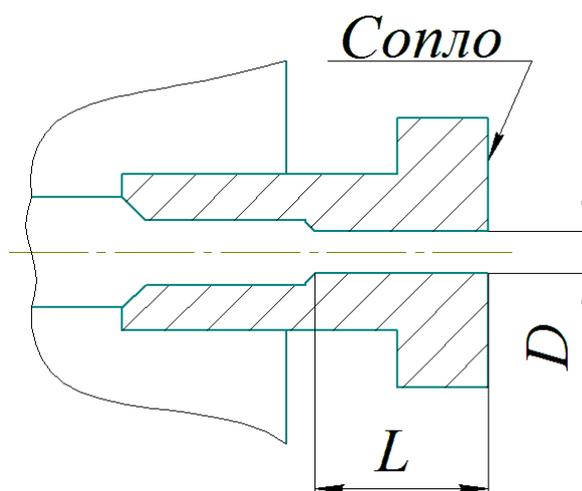


Рис. 1. Конфигурация и размеры головки экструдера и сопла

соединяли к зоне сжатия экструдера; давление показывали на цифровом считывающем измерителе во время экструзии.

Коэффициент расширения экструдата крахмала рассчитывали путем деления средней площади поперечного сечения экструдата на площадь поперечного сечения сопла. Каждое значение представляло собой среднее из десяти показаний.

Результаты и их обсуждение

Взаимосвязь между коэффициентом расширения, давлением экструзии крахмала и

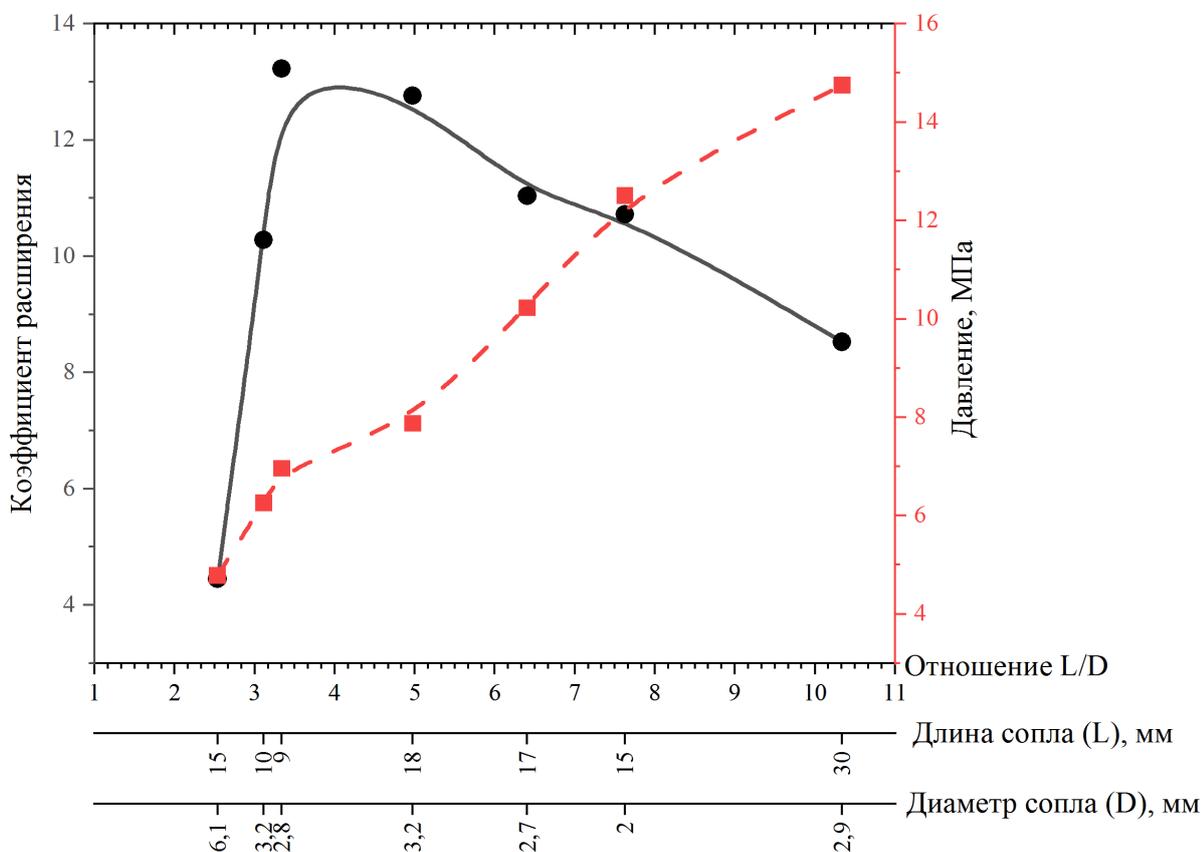


Рис. 2. Взаимосвязь между отношением L/D сопла экструдера и давлением экструзии и коэффициентом расширения кукурузного крахмала. Фактические значения L и D различных форсунок, соответствующих точкам на рисунке, показаны на отдельных горизонтальных осях

отношением L/D сопла представлена на рис. 2. Коэффициент расширения резко увеличился с 4,5 до 13, когда отношение L/D сопла увеличилось с 2,5 до 3,4, а затем постепенно снизилось до 8,5. Однако давление экструзии (измеренное в секции сжатия экструдера) пропорционально увеличивалось с 4,6 до 14,6 МПа при увеличении отношения L/D.

Известно, что степень расширения крахмала в основном зависит от степени его желатинизации. На рис. 2 начальное увеличение коэффициента расширения с отношением L/D и давлением экструзии может быть связано с таким увеличением степени желатинизации крахмала, поскольку высокое давление экструзии увеличивает время пребывания и, в конечном итоге, подвергает крахмал высоким скоростям сдвига в пределах экструдера, который в конечном итоге повысит степень желатинизации крахмала. Однако при более высоких давлениях экструзии (более 7 МПа) и более высоких отношениях L/D (более 3,4) степень расширения постепенно уменьшалась. При таких высоких давлениях экструзии время пребывания и скорость сдвига были достаточно высокими, чтобы расщепить молекулы крахмала и, таким образом, уменьшить степень расширения. Известно, что высокие скорости сдвига и время пребывания вызывают деградацию крахмала и снижают коэффициент расширения.

Чтобы увидеть индивидуальное влияние сопел L и D на степень расширения и давление экструзии, крахмал экструдировали с помощью сопел, имеющих разную длину, но почти одинаковые диаметры, и наоборот. Обзор нижних осей (рис. 2) показывает диаметры сопел: 2,8, 2,7 и 2,9 мм с соответствующими длинами: 9, 17 и 30 мм. Рабочие давления, достигаемые с помощью этих сопел, составляли 6,3, 10,2 и 14,6 МПа, а степени расширения составляли 10,2; 11,1 и 8,6 соответственно. Для диаметров сопел: 2,0, 3,2 и

6,1 мм с соответствующими длинами: 15, 18 и 15 мм – рабочее давление составляло 11,6; 7,7 и 4,6 МПа, а степень расширения – 10,7; 12,8 и 4,5 соответственно. Как и следовало ожидать, рабочее давление увеличивалось с увеличением длины сопла или уменьшением диаметра сопла. Независимое рассмотрение L и D в отношении степени расширения позволяет предположить, что существует оптимальное рабочее давление для максимального расширения. Результаты на рис. 2 показывают, что давление 7,1 МПа, создаваемое в результате любой комбинации длины и диаметра сопла, приводило к наибольшему расширению крахмала.

Кроме того, следует отметить, что увеличение отношения L/D будет отражать либо уменьшение диаметра сопла, либо увеличение длины, либо их комбинацию. Другими словами, отношение L/D и его взаимосвязь с расширением крахмала и давлением экструзии ограничены фактическими значениями, представленными на рис. 2 (нижняя горизонтальная ось), по тем причинам, что аналогичные отношения L/D могут быть получены с различными наборами значений сопла L и D. Однако давление экструзии будет варьироваться. Поэтому предполагается, что давление экструзии вместо отношения L/D сопла будет служить лучшим индикатором для прогнозирования коэффициента расширения крахмала.

Выводы

Диаметр сопла и/или длина играют решающую роль в экструзии при расширении крахмала. Оптимальное давление экструзии для наилучшего расширения крахмала с влажностью 14% составляет 7,1 МПа, что достигается с помощью сопла, имеющего отношение L/D равное 3,4.

Литература

- [1] Бахчевников О.Н., Брагинцев С.В. Экструдирование растительного сырья для продуктов питания (обзор) // Техника и технология пищевых производств. 2020. Т. 50. № 4. С. 690–706. EDN: CDJMBD.
- [2] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Влияние размерных характеристик матрицы экструдера на свойства получаемого экструдата // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2022. Т. 7. № 1. С. 28–37. EDN: IEKGJT.
- [3] Оптимизация состава зернопродуктов при получении пивного сула 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. EDN: TKJLIH.

References

- [1] Bakhchevnikov O.N., Braginets S.V. Extrusion of vegetable raw materials for food products (review) // Technique and technology of food production. 2020. V. 50. No. 4. S. 690–706. EDN: CDJMBD.
- [2] Kurochkin A.A., Frolov D.I. Influence of the dimensional characteristics of the extruder matrix on the properties of the resulting extrudate // Proceedings of the Samara State Agricultural Academy. 2022. V. 7. No. 1. S. 28–37. EDN: IEKGJT.
- [3] Optimization of the composition of grain products in the production of beer wort using extruded barley / G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, D.I. Frolov // XXI century: results of the past and problems of the present plus. 2014. No. 6 (22). pp. 103–109. EDN: TKJLIH.

- [4] Повышение эффективности обезвоживания экструдата в вакуумной камере модернизированного экструдера / Д.И. Фролов [и др.] // Нива Поволжья. 2019. № 2 (51). С. 134–143. EDN: BIRIFZ.
- [5] 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.
- [6] Способ производства хлебобулочных изделий : пат. 2579488 Российская Федерация : МПК А 21 D 8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова ; 2014146596/13 ; заявл. 19.11.2014 ; опубли. 10.4.2016, Бюл. №10. 8 с. EDN: UOANLF.
- [4] Improving the efficiency of extrudate dehydration in the vacuum chamber of a modernized extruder / D.I. Frolov [and others] // Niva of the Volga region. 2019. No. 2 (51). pp. 134–143. EDN: BIRIFZ.
- [5] 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 of the Volga region. 2017. No. 4 (45). pp. 157–163. EDN: ZTIERL.
- [6] Method for the production of bakery products: Pat. 2579488 Russian Federation: MPK A 21 D 8/02 / G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova; 2014146596/13 ; dec. 11/19/2014; publ. 10.4.2016, Bull. No. 10. 8 s. EDN: UOANLF.

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>Бугаева Елена Александровна студент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11</p>	<p>Bugaeva Elena Alexandrovna student of the department «Food productions» Penza State Technological University</p>