

# ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ

УДК 664.769

## К ВОПРОСУ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭКСТРУЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Д. И. Фролов, А. А. Курочкин

В работе представлены данные, свидетельствующие о существенном влиянии длины частиц экструдата, выходящего из фильеры матрицы машины, на интенсивность их охлаждения.

*Ключевые слова:* растительное сырье, экструдат, температура, охлаждение, фильера матрицы.

### Введение

Известно, что основные компоненты различных видов растительного сырья, подвергаемого экструзионной обработке (углеводы, белки, липиды, пищевые волокна, витамины), имеют различную оптимальную температуру, необходимую для протекания полных и качественных физико-химических изменений. Поэтому эффективность получения таких экструдатов в определенной степени зависит от характера изменения температуры, при котором основные компоненты сырья подвергались бы, с одной стороны, наиболее полной гидротермической обработке, а с другой – обеспечивалось бы щадящее температурное воздействие, предотвращающее их нежелательные изменения [1, 2, 3, 4].

В общем случае степень трансформации (в том числе и нежелательной) наиболее важных составляющих растительного сырья в процессе экструзии зависит от подводимой к нему в процессе переработки термической и механической энергии. При этом количество, а также соотношение этих видов энергии влияет практически на все значимые показатели получаемого продукта. Например, повышенная доза термического воздействия на экструдированное сырье может привести к денатурации белков, деструкции витаминов, а также к повышенному окислению липидов.

С другой стороны, нежелательные изменения витаминов и липидов зависят не только от длительности термического воздействия на сырье, но и времени охлаждения его до рациональной с точки зрения сохранности данного компонента температуры [5, 6, 7, 8, 9, 11, 12].

**Целью** работы являлось выявление значимости отдельных факторов, влияющих на интенсивность охлаждения экструдата при его выходе из фильеры матрицы экструдера.

### Объекты и методы исследований

Точное время охлаждения экструдата при выходе его из фильеры матрицы экструдера вычислить достаточно сложно. Однако для предварительной оценки влияния данного фактора на процесс экструзии можно воспользоваться упрощенной формой записи закона Ньютона, согласно которому скорость охлаждения тела в воздушной среде прямо пропорциональна превышению температуры тела над температурой окружающей среды [13]. Эта зависимость может быть представлена выражением

$$\frac{dQ}{dt} = \alpha \cdot S \cdot (T_S - T), \quad (1)$$

где  $Q$  – количество теплоты;

$\alpha$  – коэффициент теплопередачи, зависящий от геометрии охлаждаемого экструдата, состояния его поверхности, режима теплопередачи и других факторов;

$S$  – площадь поверхности охлаждаемого экструдата;

$T$  – температура охлаждаемого экструдата;

$T_S$  – температура окружающей среды.

Учитывая, что

$$Q = c \cdot T \quad (2)$$

где  $c$  – теплоемкость охлаждаемого экструдата.

Уравнение (1) можно записать как

$$\frac{dT}{dt} = \frac{\alpha \cdot S}{c} \cdot (T_S - T) = k \cdot (T_S - T), \quad (3)$$

где  $k = \frac{\alpha \cdot S}{c}$  – коэффициент теплопроводности охлаждаемого экструдата.

Решение уравнения (3) имеет вид

$$T(t) = T_S + (T_0 - T_S) \cdot e^{-kt}, \quad (4)$$

где  $T_0$  – начальная температура охлаждаемого экструдата.

Уравнение (4) показывает, что температура охлаждаемого экструдата в условиях атмосферного давления уменьшается экспоненциально, приближаясь к температуре окружающей среды. При этом скорость охлаждения экструдата будет зависеть от его коэффициента теплопроводности и по мере возрастания данного показателя (например, вследствие увеличения площади поверхности охлаждаемого продукта), экструдат будет охлаждаться быстрее. В связи с тем, что коэффициент теплопередачи, от которого зависит коэффициент теплопроводности охлаждаемого экструдата, практически невозможно измерить экспериментально, в теоретических исследованиях, посвященных данному вопросу, предлагается определять его косвенно на основании измерения температуры экструдата в зависимости от времени охлаждения. С этой точки зрения, в практическом плане весьма удобно анализировать изменение коэффициента теплопроводности охлаждаемого экструдата в зависимости от площади его поверхности или более конкретно – от длины частиц экструдата на выходе из фильеры матрицы экструдера.

## Результаты и их обсуждение

Приведенные выше аргументы позволяют утверждать, что наиболее простым технологическим приемом, связанным с решением задачи повышения интенсивности охлаждения экструдата при его выходе из фильеры матрицы экструдера, является разрезание получаемого жгута (стренга) на частицы размером 0,001–0,005 м.

Этот, достаточно очевидный вывод, подтверждается целым рядом работ [7, 8, 9, 10, 12, 14, 15, 16], а также может быть проиллюстрирован графиками, приведенными на рис. 1–4.

Аппроксимация полученных данных и подгонка функции обратной пропорциональности выполнена в программе Statistica 10.

Для нахождения зависимости, наиболее близкой к экспериментальным данным, было реализовано нелинейное оценивание, а в качестве методологической основы – метод наименьших квадратов, позволяющий минимизировать суммы квадратов отклонений наблюдаемых значений зависимой переменной от значений, предсказанных моделью.

Для подгонки использовали пользовательскую функцию обратной пропорциональности:

$$Y = b1 + \frac{b2}{x} \quad (5)$$

где  $b1$ ,  $b2$  – константы.

На рис. 1 приведены графические зависимости площади поверхности экструдата от размеров его

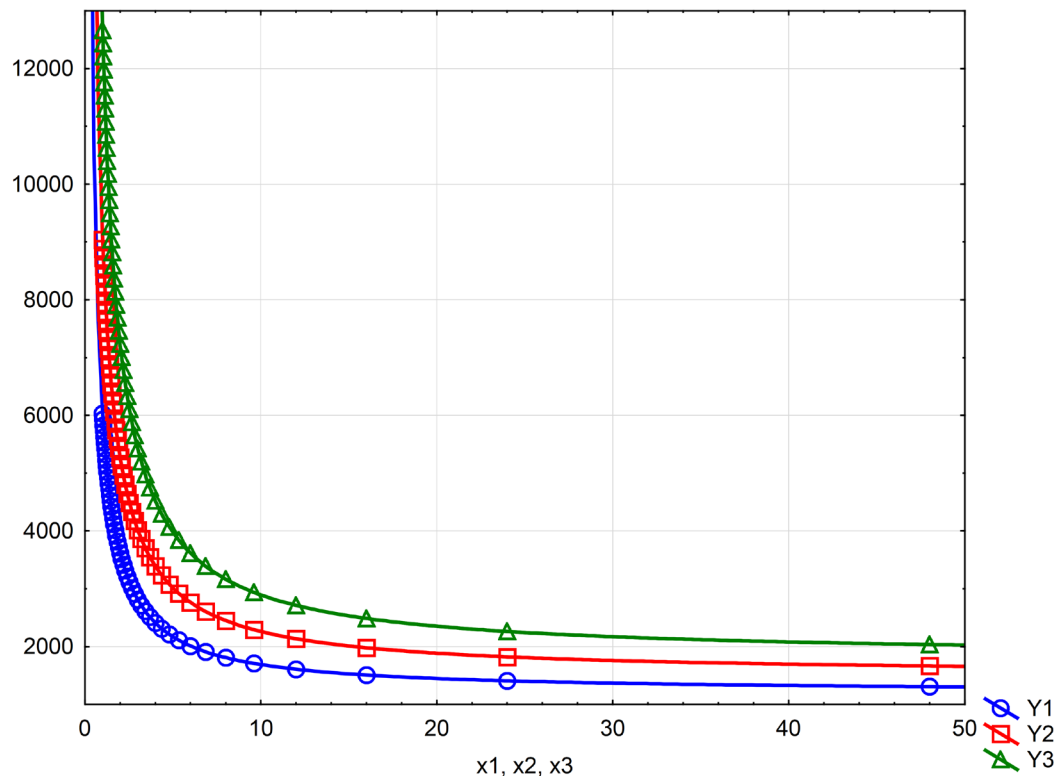


Рис. 1. Зависимость площади поверхности экструдата (Y1, Y2, Y3) от размеров его частиц (x1, x2, x3) для диаметров отверстия фильеры матрицы равных 8, 10 и 12 мм

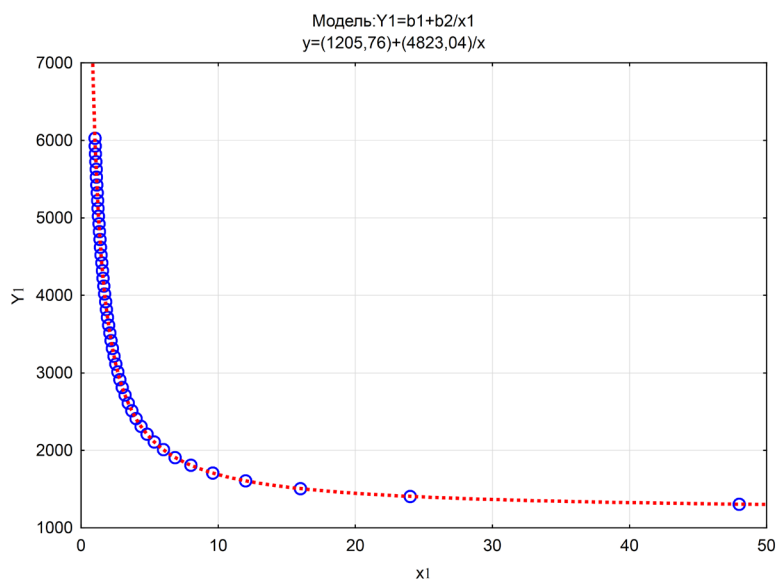


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных данных и подгонка функции обратной пропорциональности для диаметра отверстия фильеры 8 мм

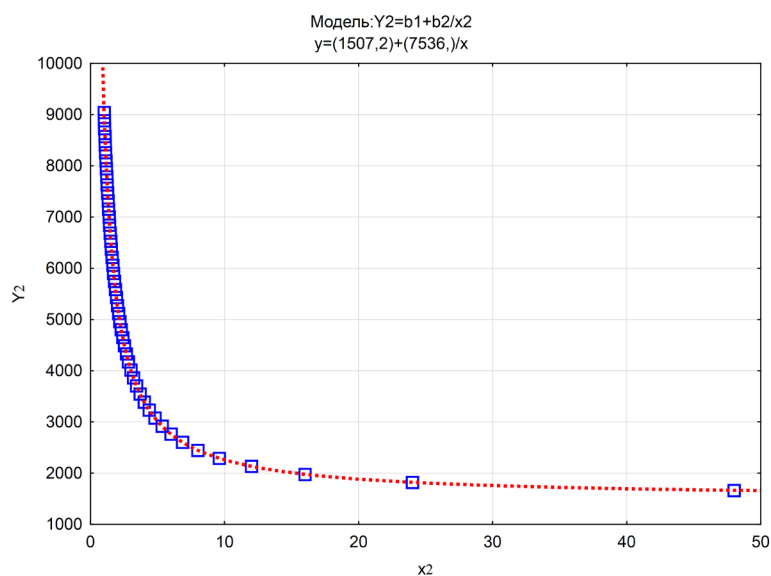


Рис. 3. Аппроксимация экспериментальных данных и подгонка функции обратной пропорциональности для диаметра отверстия фильеры 10 мм

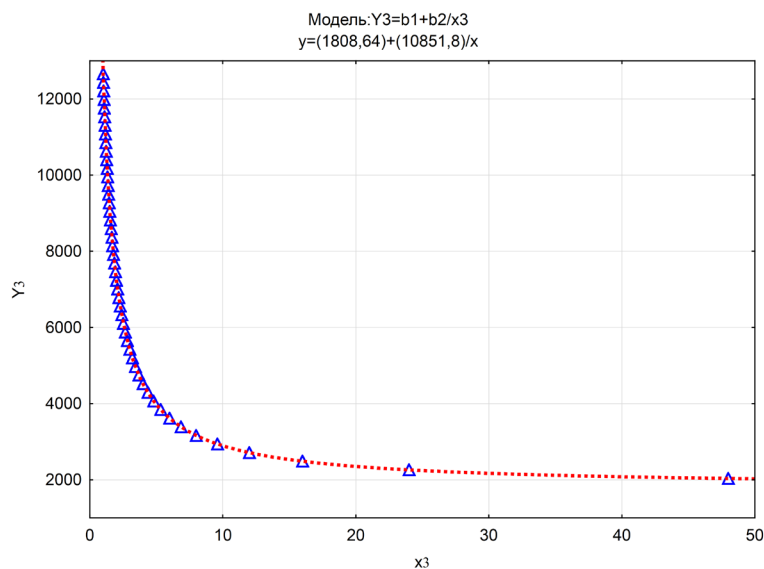


Рис. 4. Аппроксимация экспериментальных данных и подгонка функции обратной пропорциональности для диаметра отверстия фильеры 12 мм

частиц, полученных для различных диаметров отверстия фильеры матрицы экструдера (коэффициент взрыва условно принят равным 1).

Степень близости аппроксимации экспериментальных данных выбранной функции оценивалась коэффициентом корреляции. Для всех уравнений данный коэффициент получился равным 1, что свидетельствует о тесной связи между переменными (по шкале Чеддока), а корреляционная связь перерастает в функциональную.

Для диаметра отверстия фильеры матрицы экструдера, равной 8 мм, графическая зависимость между размерами частиц экструдата и площадью его поверхности приведена на рис. 2, а уравнение имеет вид:

$$Y1=1205,76+\frac{4823,04}{x1} \quad (6)$$

Для диаметра отверстия фильеры, равной 10 мм данная зависимость представлена на рис. 3 и характеризуется уравнением:

$$Y2=1507,2+\frac{7536}{x2} \quad (7)$$

Соответственно для диаметра отверстия фильеры 12 мм зависимость между размерами частиц экструдата и площадью его поверхности приведена на рис. 4, и в аналитическом виде может быть представлена в виде следующего уравнения:

$$Y3=1808,64+\frac{10851,8}{x3} \quad (8)$$

### Выводы

Анализ полученных результатов показывает, что уменьшение длины экструдата, например, диаметром 8 мм с 48 до 2 мм, приводит к увеличению его площади поверхности с 1306 до 2617 мм<sup>2</sup> или примерно в 2,8 раза. Для экструдатов, полученных с помощью фильер диаметром 10 и 12 мм, площади поверхности возрастают соответственно в 3,2 и 3,6 раза.

Таким образом, на интенсивность снижения температуры получаемого экструдата существенное влияние оказывает длина его частиц. При этом с увеличением диаметра отверстия фильеры матрицы экструдера роль этого фактора возрастает.

### Список литературы

1. Шабурова, Г.В. Белковый комплекс экструдированного ячменя / Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, В.В. Новиков, В.П. Чистяков // Пиво и напитки. – 2007. – № 3. – С. 12–13.
2. Курочкин, А.А. Аминокислотный состав экструдированного ячменя / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // Пиво и напитки. – 2008. – № 4. – С. 12.
3. Шабурова, Г.В. Экструдированный ячмень как компонент функциональных пищевых продуктов / Г.В. Шабурова, Е.В. Петросова, Т.В. Шленская, А.А. Курочкин // Пищевая промышленность. – 2012. – № 10. – С. 44–45.
4. Курочкин, А.А. Теоретические и практические аспекты экструзионной технологии в пивоварении / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.В. Новиков // Нива Поволжья. – 2007. – № 1. – С. 20–24.
5. Курочкин, А.А. Регулирование функционально-технологических свойств экструдатов растительного сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 86–91.
6. Курочкин, А.А. Регулирование структуры экструдатов крахмалсо-держашего зернового сырья / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 94–99.
7. Курочкин, А.А. 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.
8. Курочкин, А.А. Экструдаты из растительного сырья с повышенным содержанием липидов / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов, П.К. Воронина // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 70–74.
9. Курочкин, А.А. Получение экструдатов крахмалсодержащего зернового сырья с заданной пористостью / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Д.И. Фролов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2014. – № 06 (22). – С. 109–114.
10. Шабурова, Г.В. Перспективы использования экструдированной гречихи в пивоварении и хлебопечении / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2014. – № 4. – С. 79–83.
11. Курочкин, А.А. Обоснование рациональных параметров шнека пресс-экструдера в зоне загрузки / А.А. Курочкин, В.В. Новиков // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10). – С. 123–127.
12. Курочкин, А.А. Методологические аспекты теоретических исследований пресс-экструдеров для

- обработки растительного крахмалсодержащего сырья / А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, В. В. Новиков, С. В. Денисов // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2013. – № 06 (10). – С. 46–55.
13. Павлушин, А. А. Механико-технологическое обоснование и разработка энергосберегающих средств механизации тепловой обработки зерна: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01 / Павлушин Андрей Александрович. Ульяновск, 2015. – 42 с.
  14. Патент 2317891 Российская Федерация МПК В29С47/12, В29В9/06, А23Р1/02. Формующая головка экструдера / А.Н. Остриков, В.В. Василенко, № 2006122133; заявл. 20.06.2006; опубл. 27.02.2008, Бюл. № 6. – 8 с.
  15. Курочкин, А. А. Технология производства кормов на основе термо-вакуумной обработки отходов с/х производства / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4 (01). С. 36–40.
  16. Фролов, Д. И. Теоретическое описание процесса взрывного испарения воды в экструдере с вакуумной камерой / Д. И. Фролов, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова, П. К. Воронина // Инновационная техника и технология. – 2015. – № 1 (02). С. 29–34.

## TO THE QUESTION OF IMPROVEMENT OF EXTRUSION TECHNOLOGIES

*D. I. Frolov, A. A. Kurochkin*

---

The paper presents data suggesting a significant influence of the length of the particles of the extrudate emerging from the die matrix machine, the intensity of cooling.

*Keywords: plant material, extrudate, the temperature of the cooling plate of the matrix.*

---

### References

1. Shaburova, G. V. Protein complex extruded barley / G. V. Sha-burova, A. A. Kurochkin, V. V. Novikov, V. P. Chistyakov // Beer and drinks. – 2007. – No. 3. – Pp. 12–13.
2. Kurochkin, A. A. Amino acid composition of extruded barley / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova // Beer and drinks. – 2008. – No. 4. – S. 12.
3. Shaburova, G. V. Extruded barley as a component of functional foods / G. V. Shaburova, O. V. petrosova, T. V. Shlensky, A. A. Kurochkin // Food industry. – 2012. – No. 10. – Pp. 44–45.
4. Kurochkin, A. A. Theoretical and practical aspects of extrusion technology in brewing / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov // Niva Povolzhya. – 2007. – No. 1. – S. 20–24.
5. Kurochkin, A. A. Regulation of functional and technological properties of extrudates of vegetable raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. K. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2012. – No. 4. – P. 86–91.
6. Kurochkin, A. A. Regulation of the structure of the extrudates krahmala-holding grain raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. C. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2013. – No. 4. – P. 94–99.
7. Kurochkin, A. A. Modeling of the process of obtaining extrudates based on new technological solutions / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Niva Povolzhya. – 2014. – No. 30. – P. 70–76.
8. Kurochkin, A. A. extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2014. – No. 4. – S. 70–74.
9. Kurochkin, A. A. Obtaining extrudates starchy grain material with a predetermined porosity / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2014. – № 06 (22). – P. 109–114.
10. Shaburova, G. V. prospects of using extruded buckwheat in brewing and bread baking / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // proceedings of the Samara state agricultural Academy. – 2014. – № 4. – P. 79–83.
11. Kurochkin, A. A. Substantiation of rational parameters of the screw press-extruder in the loading zone / A. A. Kurochkin, Vladimir Novikov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2013. – № 06 (10). – P. 123–127.
12. Kurochkin, A. A. Methodological aspects of theoretical research press extruders for processing starchy vegetable raw materials / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, V. V. Novikov, S. V. Denisov // XXI century: the past and challenges of the present plus. – 2013. – № 06 (10). – P. 46–55.
13. Pavlushin, A. A. Mechanical and technological substantiation and development of energy-saving mechanization

- heat treatment grain: author. dis. ... doctor. tech. Sciences: 05.20.01 / Pavlishin Andrei. Ulyanovsk, 2015.– 42 p.
14. Patent 2317891 Russian Federation IPC B29C47/12, B29B9/06, A23P1/02. Die head of the extruder /A. N. Ostrikov, V.V. Vasilenko, No. 2006122133; Appl. 20.06.2006; publ. 27.02.2008, bull. No. 6.– 8 S.
  15. Kurochkin, A. A. the Technology of production of feed based on the thermo-vacuum treatment of waste/ agricultural production/A. A. Kurochkin, D.I. Frolov//Innovative mashinery and technology.–2014.– № 4 (01). P.36–40.
  16. Frolov, D.I. Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum camera/ D.I. Frolov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.C. Voronina //Innovative mashinery and technology.–2015.– № 1 (02). P. 29–34.