

## ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПИЩЕВОЙ ЭКСТРУЗИИ

Фролов Д.И.

Экструзионная технология – это процесс в технологии пищевой промышленности, который сочетает в себе несколько операций, включая смешивание, варку, замешивание, измельчение, формовку и формирование. Пищевая экструзия является формой экструзии, используемой в пищевой промышленности. Это процесс, при котором набор смешанных ингредиентов проталкивается через отверстие в перфорированной пластине или формируется с дизайном, характерным для пищевых продуктов, а затем режется до определенного размера с помощью лезвий. Машина, которая проталкивает смесь через головку, является экструдером, а смесь известна как экструдат. Экструдер состоит из большого вращающегося шнека, плотно прилегающего к неподвижному цилиндру, на конце которого находится матрица.

**Ключевые слова:** *экструдат, экструзия, пищевая промышленность, коэффициент расширения, гидратация воды, твердость.*

### Введение

Экструзионная варка – это высокотемпературный кратковременный процесс, который уменьшает микробное загрязнение и инактивирует ферменты. Основным методом консервации как горячего, так и холодного экструдированного продукта является низкая активность продукта в воде (0,1–0,4), и в частности, для полувлажных продуктов – используются упаковочные материалы. Принципы работы при экструзии одинаковы для всех типов: сырье подается в цилиндр экструдера, а шнек затем перемещает сырье по нему. Далее вниз по стволу экструдера меньшие расстояния между витками ограничивают объем и увеличивают сопротивление движению сырья. В результате оно заполняет ствол и промежутки между шнеками и сжимается [1, 2].

По мере продвижения по стволу шнек перемешивает материал в полутвердую пластифицированную массу [3, 4]. Если пища нагревается выше 100°C, этот процесс называется приготовлением с помощью экструзии (или горячей экструзией). Здесь тепло от трения и любой дополнительный нагрев, который используется, вызывают быстрое повышение температуры. Материал затем подают в секцию экструдера с наименьшими расстояниями между витками, где давление и сдвиг еще больше возрастают. Наконец, материал выталкивается через одно или несколько ограниченных отверстий (продавливаются) на выпускном конце корпуса экструдера, когда экструдат выходит под давлением из матрицы, он расширяется до конечной формы и быстро охлаждается, когда влага испаряется в виде пара. В итоге могут быть сформированы различные формы, в том числе стержни, сферы, пончики, трубки, полоски, скwirлы или раковины. Типичные продукты включают в себя широкий ассортимент

легких закусок и готовых к употреблению воздушных хлопьев.

Холодная экструзия, при которой температура пищевых продуктов остается на уровне окружающей среды, используется для смешивания и придания формы пищевым продуктам, таким как макаронные изделия и мясные продукты. Экструзия под низким давлением при температуре ниже 100°C используется для производства, например, лакрицы, рыбных паст, сурими и кормов для домашних животных.

### Результаты и их обсуждение

Коэффициент расширения. При увеличении влажности питательного материала происходит снижение удельной механической энергии, вязкости и радиального коэффициента расширения при экструзии кукурузной крупы. Многие исследователи сообщали о снижении коэффициента расширения кукурузной муки (зерна пшеницы, ячменя) при увеличении влажности материала при экструдировании [5, 6, 7]. Резкое уменьшение объемного расширения объясняется тем, что с повышением содержания влаги происходит усадка и разрушение экструдата после максимального расширения [8]. В большинстве исследований признается, что желатинизированный крахмал играет важную роль в расширении, обеспечивая газодерживающую способность расплава экструдата, в то время как другие ингредиенты, такие как белки, сахара, жиры и волокна, действуют как разбавители или наполнители дисперсной фазы, которые уменьшают растяжимость крахмалистой матрицы [9, 10]. Известно, что нижний предел содержания крахмала для хорошего расширения составляет 60–70%.

Гидратация воды. Гидратационная способность воды увеличивается с температурой экструзии и, в об-

щем, при любой конкретной температуре экструзии гидратация воды уменьшается с увеличением содержания влаги [11]. Более высокая гидратация воды может быть результатом большей степени желатинизации крахмала. На гидратацию воды также сильно влияет степень пористости или расширения экструдата, поскольку более высокая пористость и более тонкие клеточные стенки в экструдатах приводят к большему водопоглощению.

Твердость злаков увеличивается с повышением влажности для каждой температуры экструзии. В целом, твердость экструдированных злаков демонстрировала обратную зависимость от расширения экструдата, что наблюдалось в нескольких исследованиях экструдированных продуктов, где твердость была представлена инструментально измеренными механическими свойствами, такими как модуль сжатия и напряжение дробления. На твердость сильно влияет расширение экструдатов.

Было проведено исследование по анализу влияния температуры экструзионного ствола (75–140 °С) и влажности корма (16–30%) на производство закусок, расширенных за счет микроволнового нагрева. При приготовлении закусок использовалась смесь картофельного крахмала (50%), качественной белковой кукурузы (35%) и соевого шрота (15%). Использовали лабораторный одношнековый экструдер с соплом 1,5 × 20,0 × 100 мм и центральный композитный экспериментальный план. Индекс расширения и объемную плотность измеряли в расплаве, вязкость при 83 °С, термические свойства и структуру измеряли в полученном экструдате. Индекс расширения увеличивался, а объемная плотность уменьшалась при повышении температуры в цилиндре, в то время как влияние влажности не было значительным. Экструзия модифицировала кристаллические структуры гранул, и данные рентгеновского исследования свидетельствуют о формировании новых структур, вероятно, за счет развития амилозо-липидных комплексов. Максимальное расширение гранул было обнаружено при температурах ствола 123–140 °С и влажности сырья 24,5–30%. С помощью микроволновой печи можно получить функциональную закуску с хорошими характеристиками расширения, благодаря добавлению качественной белковой кукурузы и соевого шрота [12].

Исследователи пришли к выводу, что математическая модель, используемая при анализе данных исследования экструзии, была удовлетворительна для оцениваемых ответов со значениями коэффициента детерминации  $R^2 \geq 0,77$  и значимости  $P < 0,005$  [12]. Температура корпуса ствола была переменной, которая больше всего влияла на индекс расширения и объемную плотность, а влажность сырья оказала значительное влияние на вязкость при 83 °С. Повышение температуры в цилиндре и снижение влажности сырья, вероятно, способствовало разложению крахмала в экструдированных продуктах, что было продемонстрировано с помощью рентгенострук-

турного анализа и вязкоамилографических свойств. Методология поверхности отклика показала лучшее расширение экструдированных продуктов при 28% влажности сырья и температуре цилиндра 130 °С. Кроме того, продукты, полученные в этой зоне обработки, вероятно, не были полностью разложены. Следовательно, можно производить снеки с использованием экструзионной технологии, которая имеет значительную питательную и нутрицевтическую ценность, используя кукурузу с высоким содержанием белка и соевую муку.

Окисление липидов является основной химической проблемой для сохранения продуктов питания. Такое окисление может снизить качество питательных веществ, уменьшив содержание незаменимых жирных кислот, таких как линоленовая кислота ( $C_{18}H_{30}O_2$ ) и линолевая кислота ( $C_{18}H_{32}O_2$ ), которые являются незаменимыми жирными кислотами. Эти длинноцепочечные ненасыщенные жирные кислоты очень чувствительны к окислению. Высокая температура экструзии может увеличить концентрацию переходного металла прооксиданта, в частности железа, из-за износа металла на деталях экструдера. Нейтральная, неорганическая форма минералов, например, железо, как сообщается, способствует окислению.

## Выводы

В настоящее время экструзионная кулинария как метод используется для производства многих пищевых продуктов, начиная от простейших снеков и заканчивая аналогами мяса с высокой степенью переработки. Наиболее популярные продукты, приготовленные методом экструзии являются:

- Прямые экструдированные закуски, зерновые хлопья (готовые к употреблению) и разнообразные продукты для завтрака, изготовленные из зернового материала и отличающиеся по форме, цвету и вкусу и легкие в обращении с точки зрения производства;
- закусочные гранулы – полуфабрикаты, предназначенные для жареных или горячих воздушных закусок, макаронных изделий;
- детское питание, полуфабрикаты, быстрорастворимые концентраты, функциональные компоненты;
- Корма для домашних животных, аквакорм, концентраты кормов и заменители молока для телят;
- Текстурированный растительный белок (в основном из соевых бобов, хотя и не всегда), используемый при производстве аналогов мяса;
- Хрустящий хлеб, панировочные сухари, эмульсии и пасты;
- Баротермически обработанные продукты для фармацевтической, химической, бумажной и пивоваренной промышленности;
- Кондитерские изделия: разные виды сладостей, жевательная резинка.

## Список литературы

- [1] Способ производства хлебобулочных изделий: пат. 2579488 Российская Федерация: МПК А 21 D8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова; 2014146596/13; заявл. 19.11.2014; опубл. 10.4.2016, Бюл. № 10. 8 с.
- [2] Способ производства хлебобулочных изделий: пат. 2592619 Российская Федерация: МПК А 21 D8/02 / Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова; 2015109402/13; заявл. 17.3.2015; опубл. 27.7.2016, Бюл. № 21. 8 с.
- [3] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [4] 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.
- [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] Курочкин А.А., Фролов Д.И. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 4. С. 76–81.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] McPherson AE, Bailey TB & Jane J (2000). Extrusion of cross-linked hydroxypropylated corn starches I. Pasting properties. *Cereal Chemistry*, 77, 320–325.
- [12] Aguilar-Palazuelos E, de J. Zazueta-Morales J & Martínez-Bustos F (2006). Preparation of high-quality protein-based extruded pellets expanded by microwave oven. *Cereal Chemistry*, 83(4) 363–369.

## REVIEW OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF FOOD EXTRUSION

Frolov D.I.

Extrusion technology is a process in food processing technology that combines several operations, including mixing, cooking, kneading, grinding, molding and shaping. Food extrusion is a form of extrusion used in the food industry. This is a process in which a set of blended ingredients is pushed through a hole in a perforated plate or formed with a food-specific design, and then cut to a certain size using blades. The machine that pushes the mixture through the die is an extruder, and the mixture is known as an extrudate. The extruder consists of a large rotating auger, tight to the stationary cylinder, at the end of which there is a matrix.

**Keywords:** extrudate, extrusion, food industry, expansion coefficient, water hydration, hardness.

## References

- [1] Sposob proizvodstva hlebobulochnyh izdelij: pat. 2579488 Rossijskaja Federacija: MPK A 21 D8/02 / G. V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D. I. Frolov, N. N. Shmatkova; 2014146596/13; zjavl. 19.11.2014; opubl. 10.4.2016, Bjul. № 10. 8 s.
- [2] Sposob proizvodstva hlebobulochnyh izdelij: pat. 2592619 Rossijskaja Federacija: MPK A 21 D8/02 / G. V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D. I. Frolov, N. N. Shmatkova; 2015109402/13; zjavl. 17.3.2015; opubl. 27.7.2016, Bjul. № 21. 8 s.
- [3] Kurochkin A.A., Frolov D. I. Polikomponentnyj jekstrudat na osnove zerna pshenicy i semjan rastoropshi pjatnistoj // Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skohozjajstvennoj akademii. 2015. № 4. S. 76–81.

- 
- [4] Optimizacija sastava 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.
- [5] Kurochkin A. A., Frolov D. I., Voronina P. K. Opredelenie osnovnyh parametrov vakuumnoj kamery modernizirovannogo jekstrudera // Vestnik Ul'janovskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. 2015. № 4 (32). S. 172–177.
- [6] Kurochkin A. A., Frolov D. I. Polikomponentnyj jekstrudat na osnove zerna pshenicy i semjan rastoropshi pjatnistoj // Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. 2015. № 4. S. 76–81.
- [7] Optimizacija sastava 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.
- [8] Perspektivy ispol'zovaniya jekstrudirovannoj grechihi v pivovarenii i hlebopechenii / G. V. Shaburova, P. K. Voronina, A. A. Kurochkin, D. I. Frolov // Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. 2014. № 4. S. 79–83.
- [9] Jekstrudaty iz rastitel'nogo syr'ja s povyshennym sodержaniem lipidov i pishhevyyh volokon / A. A. Kurochkin, P. K. Voronina, G. V. Shaburova, D. I. Frolov // Tehnika i tehnologija pishhevyyh proizvodstv. 2016. № 3 (42). S. 104–111.
- [10] Teoreticheskoe obosnovanie termovakuumnogo jeffekta v rabochem processe modernizirovannogo jekstrudera / A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, D. I. Frolov, P. K. Voronina // Izvestija Samarskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. 2015. № 3. S. 15–20.
- [11] McPherson AE, Bailey TB & Jane J (2000). Extrusion of cross-linked hydroxypropylated corn starches I. Pasting properties. *Cereal Chemistry*, 77, 320–325.
- [12] Aguilar-Palazuelos E, de J. Zazueta-Morales J & Martínez-Bustos F (2006). Preparation of high-quality protein-based extruded pellets expanded by microwave oven. *Cereal Chemistry*, 83(4) 363–369.