

ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРУЗИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ НА ОСНОВЕ ТЕРМОВАКУУМНОГО ЭФФЕКТА

А. Н. Бородин

На основе анализа работ по исследованию различных аспектов экструзионных технологий в пищевых производствах, представлен материал, свидетельствующий о перспективах нового способа воздействия на выходящий из фильеры экструдера продукт. Приведены классификационные признаки пищевых технологий, основанных на применении этого способа, а также их параметры и численные значения. Сделан вывод о том, что дальнейшее развитие технологий экструзионной обработки сырья растительного происхождения с повышенным содержанием воды возможно за счет синергетического эффекта от совместного действия рабочего давления в вакуумной камере машины, выдержки в ней продукта при пониженном давлении в течение определенного времени и площади испаряемой поверхности (длины) частиц продукта.

Ключевые слова: экструзионные технологии, сырье, экструдат, термовакуумный эффект, вакуумная камера.

Введение

Анализ научно-технической и патентной информации показал, что за последние 15–20 лет зарубежные и российские исследователи научно обосновали и предложили к практическому применению экструзионную технологию, в основе которой заложен принципиально новый способ воздействия на выходящий из фильеры матрицы машины экструдат [1, 4, 6–9].

Американские ученые запатентовали способ изготовления кормовых гранул и оборудование для его реализации, в котором предусмотрена подача экструдата в вакуумированную камеру непосредственно при выходе его из фильеры матрицы машины. В результате такого технического решения авторы наблюдали значительное увеличение диаметра экструдата с одновременным существенным уменьшением его объемной плотности. При этом температура готового продукта при снижении давления воздуха в вакуумной камере вследствие интенсивного испарения воды также резко падала [21].

В России запатентован способ производства экструдатов, включающий очистку зерна, экструдирование и измельчение экструдата. В качестве обрабатываемых материалов при таком способе используют зерна пшеницы, ржи, ячменя, овса, риса, гречихи, проса, кукурузы, сои с массовой долей влаги 12...18% отдельно или в смеси без предварительного шелушения поверхности.

Данный способ предусматривает обработку целых зерен в экструдере в течение 15...25 с при температуре 110...140 °С с последующим воздействием на выходящее из фильеры матрицы экструдера сырье пониженным давлением, равным 0,03...0,07 МПа. При этом содержание влаги в экструдированном продукте регулируют величиной вакуума на

выходе из экструдера на уровне не более 8%. Экструдат при выходе из фильеры матрицы разрезают на частицы размером 1,0...4,0 мм [11].

Для реализации данного способа экструдер оснащается вакуумной камерой, расположенной на выходе из фильеры матрицы [16].

В таком экструдере резкое снижение давления при выходе экструдата из фильеры (зона повышенного давления) в вакуумную камеру (зона пониженного давления), приводит к возникновению дополнительной движущей силы – нерелаксируемому градиенту общего давления, в результате чего происходит бурное парообразование по всему объему экструдата, и формирующийся молярный поток выносит из продукта вместе с паром и часть влаги в жидкой фазе. Таким образом, механизм обезвоживания экструдата в процессе реализации термовакуумного эффекта оказывается аналогичным механическому удалению влаги посредством пресования или центрифугирования [5, 19, 20].

При этом регулируя величину барометрического давления в вакуумной камере экструдера а, следовательно, и интенсивность процесса парообразования, можно добиться как изменения влажности капиллярно-пористого экструдата, так и частичной или полной его реструктуризации. Зная границы структурных изменений экструдата, параметры вакуумного воздействия на него рекомендуется выбирать именно из таких соображений [2, 3].

Положительной стороной данного направления развития экструзионных технологий является интенсификация процесса экструзии без увеличения его температурного режима. Наряду с более бережным отношением к наиболее ценным ингредиентам перерабатываемого сырья такие технологии позволяют усиливать их позиции в части энергосбережения, так как очевидно, что затраты энергии на преобразование сырья в нужный продукт с при-



Рис. 1. Классификация параметров экструзионных технологий на основе термовакuumного эффекта

Таблица 1 – Основные параметры экструзионных технологий пищевых продуктов

Технология	Параметры технологии					
	давление в вакуумной камере экструдера, МПа	влажность сырья, %	влажность получаемого экструдата не больше, %	температура обработки, °С	длительность обработки, с	размер частиц экструдата, мм
Пива [10]	0,045-0,055	12-18	-	120-130	15-25	4,0-5,0
Хлеба [12]	0,06-0,07	13-17	9	125-130	25-30	0,5-1,0
Хлеба [13]	0,045-0,055	14-18	10	110-125	15-25	1,5-2,0
Х/б изделий [14]	0,06-0,07	16-20	9	130-140	10-15	1,0-1,5
Хлеба [15]	0,075-0,08	18-20	12	110-120	15-20	0,25-0,45
Х/б изделий [17]	0,05-0,06	14-15 (22-24)	6	100-105	10-15	0,7-0,8
Х/б изделий [18]	0,07-0,08	13-15 (32-36)	8	100-105	15-25	0,8-0,9

менением термовакuumного эффекта значительно ниже, чем в классических экструзионных технологиях [8, 9].

Цель работы – сравнительный анализ параметров экструзионных технологий пищевых продуктов, в которых предлагается использовать термовакuumный эффект.

Объекты и методы исследований

Объект исследований – информация относительно технологий термопластической экструзии на основе термовакuumного эффекта, применяемых при производстве различных пищевых продуктов.

Результаты и их обсуждение

Взятый за основу способ производства экструдатов [11] позволил разработать целую группу технологий пищевых продуктов, связанных между собой единой концепцией и базирующейся на принципах термопластической экструзии с применением термовакuumного эффекта [10–18].

На рисунке показаны классификационные признаки таких технологий, а в таблице – параметры технологий и их численные значения.

Анализ приведенной информации, а также по-

добных технических решений показывает, что все они характеризуются следующей общностью:

- в обрабатываемом сырье содержание воды, как правило, не превышает 20%, а в готовом продукте – 10% и меньше;
- в зависимости от влажности обрабатываемого сырья и получаемого продукта рабочее давление воздуха в вакуумной камере экструдера составляет 0,03...0,08 МПа;
- с изменением содержания воды в обрабатываемом сырье, температура его обработки также меняется;
- длина частиц продукта, выходящего из фильеры матрицы экструдера, чаще всего находится в пределах 0,25...1,5 мм и реже – 3,0–5,0 мм. Во всех без исключения технических решениях этот параметр зависит от технологического процесса изготовления того или иного продукта. Например, в одном случае слишком малая длина экструдата затрудняет фильтрование полупродукта при производстве пива, а в другом – слишком большие по длине частицы экструдата ухудшают условия получения теста при производстве хлеба.

Известно, что в процессе термовакuumного воздействия на экструдат, интенсивность и полнота удаления влаги из обрабатываемого материала зависит от его структуры (характера капиллярно-по-

ристого строения), температуры нагрева, площади поверхности испарения, давления в зоне испарения, а также времени обработки.

В анализируемых технологиях снижение содержание воды в готовом продукте по сравнению с обрабатываемым сырьем примерно в 2 раза обеспечивается в основном за счет рабочего давления воздуха в вакуумной камере экструдера. Следует особо подчеркнуть, что во всех технических решениях какое-либо время выдержки экструдата в вакуумной камере не предусматривается, т.е. экструдат из нее сразу же с помощью шлюзового затвора выгружается за пределы машины.

Измельчение экструдата при выходе его из фильеры позволяет регулировать интенсивность термовакуумного воздействия за счет увеличения площади теплообмена получаемых частиц экструдата – чем меньше длина экструдата, тем больше поверхность теплообмена продукта с окружающей средой (пониженного давления в вакуумной камере) [5, 7, 9].

В связи с этим можно сделать предварительный вывод о том, что параметр, связанный с длительностью выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера, может быть рекомендован в качестве резервного для технологий, в которых имеется необходимость увеличить производительность экструдера или перерабатывать сырье с повышенным содержанием воды.

Производительности экструдера обычно регулируют за счет установки матрицы с соответствующим диаметром фильеры.

При этом известно, что диаметр фильеры матрицы экструдера одновременно влияет на температуру экструзии. С его увеличением температура несколько снижается; при уменьшении – повышается. Обычно в штатном исполнении экструдер, например КМЗ-2У, комплектуется фильерами с диаметром 6,0; 8,5 и 10 мм.

Известно также, что повышенное содержание воды в обрабатываемом сырье ограничивает температуру экструдата на выходе его из фильеры, а также снижает рабочее давление в тракте машины.

Таким образом, и в первом и во втором случаях выдержка экструдата в вакуумной камере машины позволит добиться желаемого результата.

Выводы

Дальнейшее развитие технологий экструзионной обработки сырья растительного происхождения с повышенным содержанием воды возможно за счет синергетического эффекта от совместного действия рабочего давления в вакуумной камере машины, выдержки в ней продукта при пониженном давлении в течение определенного времени и рациональной длины частиц продукта.

Список литературы

- [1] Воронина П. К. Формирование качества пива в процессе сбраживания пивного сусле с использованием экструдата ячменя / П. К. Воронина, А. А. Курочкин // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 4. – С. 100–103.
- [2] Воронина, П. К. Полифункциональный композит с повышенным содержанием пищевых волокон / П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Г. В. Шабурова // Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. – 2015. – № 4. – С. 65–71.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] Курочкин, А. А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата / А. А. Курочкин // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4. – С. 17–21.
- [6] Курочкин, А. А. Технология производства кормов на основе термовакуумной обработки отходов с/х производства / А. А. Курочкин, Д. И. Фролов // Инновационная техника и технология. – 2014. – № 4 (01). С. 36–40.
- [7] Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование термовакуумного 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. 14–20.
- [8] Курочкин, А. А. Теоретическое обоснование применения экструдированного сырья в технологиях пищевых продуктов / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Г. В. Шабурова // Монография. – Пенза, 2015. – 182 с.
- [9] Научное обеспечение актуального направления в развитии пищевой термопластической экструзии / А. А. Курочкин, П. К. Воронина, В. М. Зимняков, А. Л. Мишанин, В. В. Новиков, Г. В. Шабурова, Д. И. Фролов. – Пенза, 2015. – 181 с.

- [10] Патент 2412986 Российская Федерация: МПК C12 C 12/00. Способ производства пива /Г.В. Шабурова, Е. В. Тюрина, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, А. Б. Терентьев; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». – № 2008149378/10; заявл. 15.12.2008; опубл. 27.02.2011, Бюл. № 6. – 5 с.
- [11] Патент 2460315 Российская Федерация МПК7 A23L1/00. Способ производства экструдатов /заявители: Г.В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, Г. В. Авроров, П. А. Ерушов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА. – № 2011107960; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. – 6 с.
- [12] Патент 2460302 Российская Федерация МПК A21D8/02, A21D2/36, A23L1/18. Способ производства хлеба /Г.В. Шабурова, А. А. Курочкин, Г. В. Авроров, В. В. Сударикова, О. А. Мурашкина; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». – № 20011113563/13; заявл. 07.04.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25. – 6 с.
- [13] Патент 2480009 Российская Федерация МПК A21D8/02, A21D2/36. Способ производства хлеба /Г.В. Шабурова, А. А. Курочкин, Е. В. Петросова, В. В. Сударикова; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского». – № 2011110415/13; заявл. 18.03.2011; опубл. 27.04.2013, Бюл. № 12. – 7 с.
- [14] Патент 2486753 Российская Федерация МПК A21D8/02, A21D2/36. Способ производства хлебобулочных изделий /Г.В. Шабурова, А. А. Курочкин, Е. В. Петросова, И. Н. Шешницан, Л. Ю. Кульгина; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет технологий и управления имени К. Г. Разумовского». – № 2011110417/13; заявл. 18.03.2011; опубл. 10.07.2013, Бюл. № 19. – 7 с.
- [15] Патент 2522945 Российская Федерация МПК A21D8/02, A21D2/36. Способ производства хлеба /Г.В. Шабурова, А. А. Курочкин, П. К. Воронина, М. О. Волошина, Е. С. Казакова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Пензенская государственная технологическая академия». – № 2012152688; заявл. 06.12.2012; опубл. 20.07.2014, Бюл. № 20. – 7 с.
- [16] Патент 2561934 Российская Федерация МПК A23P1/12, B29C47/38. Экструдер с вакуумной камерой /заявители: Г.В. Шабурова, П. К. Воронина, Р. В. Шабнов, А. А. Курочкин, В. А. Авроров; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ. – № 2014125348; заявл. 23.06.2014; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 25. – 7 с.
- [17] Патент 2579488 Российская Федерация МПК A21D8/02. Способ производства хлебобулочных изделий /Г.В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, Н. Н. Шматкова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет». – № 2014146596/13; заявл. 19.11.2014; опубл. 10.04.2016, Бюл. № 10. – 8 с.
- [18] Патент 2592619 Российская Федерация МПК A21D8/02, A21D2/36. Способ производства хлебобулочных изделий /Г.В. Шабурова, П. К. Воронина, А. А. Курочкин, Д. И. Фролов, Н. Н. Шматкова; заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Пензенский государственный технологический университет». – № 2015109402/13; заявл. 17.03.2015; опубл. 27.07.2016, Бюл. № 21. – 8 с.
- [19] Слезов, В.В. К теории термовакуумной сушки /В.В. Слезов, В. А. Кутовой, Л. И. Николайчук // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Вакуум, чистые материалы, сверхпроводники. – 2003. – № 13. – С. 7–13.
- [20] 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 //Иновационная техника и технология. –2015. – № 1 (02). С. 29–34.
- [21] Patent US7001636 B1 Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the. implementation of the method / Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen – № 09/937172; Pub. 21.02.2006.

THE PARAMETERS OF THE EXTRUSION FOOD TECHNOLOGY ON THE BASIS OF THERMAL EFFECT

A. N. Borodin

Based on the analysis of papers on various aspects of extrusion technology in food production, the material presented, indicating the prospects of a new method of influence on you-walking from the die of the extruder the product. The basic classification signs of some PI-sevich technologies based on the use of this method, as well as their parameters and numeric values. It is concluded that further development of the technology of extrusion processing of vegetable raw materials of origin with high water content is possible due to the synergetic effect from the joint action of the working pressure in the vacuum chamber of the machine, extract it product under reduced pressure for a specific time and area of the evaporated surface (length) of particles of the product.

Keywords: *extrusion technology, raw material, extrudate, thermal vacuum effect of the vacuum chamber.*

References

- [1] Voronina P.K. Formation of the quality of beer in the process of fermentation of wort with the use of the extrudate barley/ P.K. Voronina, A.A. Kurochkin // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2012.–No. 4.–P. 100–103.
- [2] Voronina, P.K. Multifunctional composite with a high content of dietary fiber / P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2015.–No. 4.–P. 65–71.
- [3] 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.
- [4] 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.–No. 06 (22).–P. 109–114.
- [5] Kurochkin, A.A. Systematic approach to the development of the extruder for thermal vacuum processing of the extrudate / A.A. Kurochkin // Innovative mashinery and technology.– 2014.–No. 4.–P. 17–21.
- [6] 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.–No. 4 (01). P. 36–40.
- [7] Kurochkin, A.A. The Theoretical justification of the thermal effect in the working process of the upgraded extruder / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, I.D. Frolov, P.K. Voronina// Bulletin Samara State Agricultural Academy.– 2015.–No. 3.–P. 15–20.
- [8] Kurochkin, A.A. The theoretical rationale for the use of the extruded raw material in food technology / A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova // Monograph, 2015.– 182 p.
- [9] Scientific support for current trends in the development of the edible thermoplastic extrusion /A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, V.M. Zimnyakov, A.L. Mishanin., V.V. Novikov, G.V. Shaburova, D.I. Frolov.– Penza, 2015.– 181 p.
- [10] Patent 2412986 Russian Federation: IPC C12 12/00. Method of beer production /G. V Shaburova, E.V. Tyurina, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, A.B. Terent'ev; applicant and patentee of the GOU VPO «Penza state technological Academy». No 2008149378/10; Appl. 15.12.2008; publ. 27.02.2011, bull. No. 6.– 5 p.
- [11] Patent 2460315 The Russian Federation, IPC7 A23L1/00. Method for the production of extrudates / applicants: G.V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Avrorov, P.A. Urusov; patentee GOU VPO Penza GTA. No. 2011107960; Appl. 01.03.2011; publ. 10.09.2011, bull. No. 25.– 6 p.
- [12] Patent 2460302 Russian Federation IPC A21D8/02, 2/36 A21D, A23L1/18. Method of production of bread /G. V. Shaburova, A.A. Kurochkin, G.V. Avrorov, V.V. Sudarikova, A.A. Murashkina; applicant and and patent holder GOU VPO «Penza state technological Academy». No 20011113563/13; Appl. 07.04.2011; publ. 10.09.2012, bull. No. 25.– 6 p.
- [13] Patent 2480009 Russian Federation IPC A21D8/02, 2/36 A21D. Method of production of bread /G. V. Shaburova, A.A. Kurochkin, E.V. Petrosova, V.V. Sudarikova; applicant and patent holder FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management named after K.G. Razumovskiy». No 2011110415/13; Appl. 18.03.2011; publ. 27.04.2013, bull. No. 12.– 7 p.

- [14] Patent 2486753 Russian Federation IPC A21D8/02, 2/36 A21D. Method of production of Glebovo-lichnyh products /G. V. Shaburova, A.A. Kurochkin, E.V. Petrosova, I.N. Sheshnitsan, L.Y. Kulygina; applicant and patent holder FGBOU VPO «Moscow state University of technologies and management named after K.G. Razumovskiy». No 2011110417/13; Appl. 18.03.2011; publ. 10.07.2013, bull. No. 19.– 7 p.
- [15] Patent 2522945 Russian Federation IPC A21D8/02, 2/36 A21D. Method of production of bread /G. V. Shaburova, A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, M.O. Voloshina, E.S. Kazakova; applicant and patentee FGOU VPO «Penza state technological Academy». No 2012152688; Appl. 06.12.2012; publ. 20.07.2014, bull. No. 20.– 7 p.
- [16] Patent 2561934 The Russian Federation, IPC7 A23P1/12, B29C47/38. Extruder with vacuum chamber / applicants: G. V. Shaburova, P.K. Voronina, R. W. Shanov, A.A. Kurochkin, V.A. Avrorov; applicant and patentee Federal state educational institution IN Penza state technological University. No 2014125348; Appl. 23.06.2014; publ. 10.09.2015, bull. No. 25.– 7 p.
- [17] Patent 2579488 Russian Federation IPC A21D8/02. Method of production of bakery-products /G. V. Shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova; applicant and patentable President of the FGOU VPO «Penza state technological University». No 2014146596/13; Appl. 19.11.2014; publ. 10.04.2016, bull. No. 10.– 8 p.
- [18] Patent 2592619 Russian Federation IPC A21D8/02, 2/36 A21D. Method of production of Glebovo-lichnyh products /G. V. shaburova, P.K. Voronina, A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova; applicant and PA-antiobledenitel FGOU VPO «Penza state technological University». No 2015109402/13; Appl. 17.03.2015; publ. 27.07.2016, bull. No. 21.– 8 p.
- [19] Tears, V.V. On the theory of thermal vacuum drying /V.V. Tears, V.A. Kutovojs, L. I. Nikolaichuk // Problems of Atomic Science and Technology. Series: Vacuum, clean materials, superconductors.– 2003.– № 13.– P. 7–13.
- [20] 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.
- [21] US Patent 7001636 B1 Method for manufacturing feed pellets and a plant for use in the implementation of the method / Odd Geir Oddsen, Harald Skjorshammer, Fred Hirth Thorsen–No. 09/937172; Pub. 21.02.2006.