

# Трибуна молодого ученого

УДК 664.769

## ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ШЛЮЗОВОГО ЗАТВОРА ЭКСТРУДЕРА С ВАКУУМНОЙ КАМЕРОЙ

*Денисов А.О.*

В экструзионных технологиях, основанных на термовакуумном эффекте, время выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера в некотором интервале технологических допусков может быть принято в качестве взаимозаменяемого для таких параметров процесса, как производительность машины и физико-механические свойства перерабатываемого сырья. Одним из рациональных способов управления этим временем при условии равного объемного расхода экструдата на выходе из фильеры матрицы и шлюзового затвора машины, является периодическое включение и отключение привода шлюзового затвора экструдера. В работе обоснованы основные параметры шлюзового затвора, позволяющие реализовать данную концепцию в развитии экструзионной технологии с термовакуумным эффектом.

**Ключевые слова:** *экструдер, термовакуумный эффект, фильера матрицы, вакуумная камера, шлюзовой затвор, объемный расход.*

### Введение

Основные ингредиенты растительного сырья, подвергаемого экструзионной обработке (углеводы, белки, липиды, пищевые волокна, витамины), имеют разную температуру, необходимую для осуществления в них значимых для технологии физико-химических изменений. В связи с этим показатели качества получаемых экструдатов в значительной степени зависят от характера изменения температуры, при которой основные компоненты сырья подвергались бы, с одной стороны, наиболее полной гидротермической обработке, а с другой – обеспечивалось бы щадящее температурное воздействие, предотвращающее их нежелательные изменения [2, 3, 9, 10, 29, 32, 33, 34]. При этом важно отметить, что степень разрушения, например, витаминов и липидов зависит не только от длительности термического воздействия на сырье, но и времени охлаждения его до рациональной с точки зрения сохранности данного компонента температуры.

Указанным выше требованиям в определенной степени удовлетворяет технологический прием воздействия на экструдированный материал пониженным давлением 0,02...0,09 МПа, создаваемым в вакуумной камере на выходе массы из фильеры [20, 22, 28].

Экструдер, агрегатированный с вакуумной камерой, позволяет осуществлять процесс экструзионной обработки при пониженных температурных режимах, способствующих максимальному сохранению термолабильных функциональных ингредиентов в экструдате [4, 21, 31].

Известно, что в процессе термовакуумного воздействия на экструдат, интенсивность и полно-

та удаления влаги из обрабатываемого материала зависит от его структуры (характера капиллярно-пористого строения), температуры нагрева, площади поверхности испарения, давления в зоне испарения, а также времени нахождения в вакуумной камере экструдера. В анализируемых работах снижение содержания 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 [5, 14, 16-19, 24].

Следует особо подчеркнуть, что во всех цитируемых 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.

Между тем параметр, связанный с длительностью выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера, может быть предложен в качестве не только резервного, но и основного для технологий, в которых существует потребность в увеличении производительности экструдера или перерабатывается сырье с повышенным содержанием воды. Аргументируется этот вывод следующими соображениями:

1. Производительность экструдера обычно регулируется путем установки матрицы с соответствующим диаметром фильеры. При этом диаметр фильеры матрицы экструдера влияет не только на его производительность, но и на температуру экструзии. Температура уменьшается при большем диаметре, и увеличивается при установке матрицы с уменьшением диаметра фильеры [1, 11-13, 26].

2. Повышенное содержание воды в обрабаты-

ваемом сырье также ограничивает температуру экструдата на выходе его из фильеры за счет снижения рабочего давления в тракте машины.

Таким образом, время выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера может быть в определенном интервале технологических допусков взаимозаменяемым параметром для производительности машины и физико-механических свойств обрабатываемого сырья.

**Цель данного исследования** – обоснование основных параметров шлюзового затвора, позволяющих обеспечивать необходимую по времени выдержку экструдата в вакуумной камере экструдера.

### Объекты и методы исследований

Объект исследования – экструдер с вакуумной камерой.

### Результаты и их обсуждение

Принцип работы экструдера с вакуумной камерой заключается в следующем. Исходное сырье из загрузочного бункера с помощью дозатора направляется в шнековую часть экструдера. Захваченный шнеком продукт последовательно обрабатывается во всех рабочих зонах экструдера и через фильеру матрицы поступает в вакуумную камеру.

В условиях быстрого перехода экструдата из области высокого давления в зону пониженного давления, происходит декомпрессионный взрыв: вода, находящаяся в продукте, переходит в парообразное состояние с выделением значительного количества энергии. Происходит деструкция клеточных структур обрабатываемого сырья, и получается высокопористый продукт.

Продолжительность обработки сырья в экструдере составляет 15...25 с при температуре 100...110 °С. Содержание влаги в экструдированном продукте регулируется за счет давления в вакуумной камере с помощью вакуум-регулятора [28, 31].

Рассматриваемый в данной работе шлюзовой затвор служит для отвода полученного экструдата за пределы вакуумной камеры без ее разгерметизации.

Анализ структурной схемы экструдера с вакуумной камерой [15] позволяет записать условие обеспечения его рационального технологического процесса:

$$Q_{\phi} \leq Q_{шз}, \quad (1)$$

где  $Q_{\phi}$  – объемный расход экструдата на выходе из фильеры матрицы экструдера, м<sup>3</sup>/с;

$Q_{шз}$  – объемный расход экструдата на выходе

из шлюзового затвора экструдера, м<sup>3</sup>/с.

Объемный расход экструдата на выходе из фильеры матрицы экструдера с вакуумной камерой можно определить на основе известного выражения

[30], введя в него коэффициент, учитывающий увеличение диаметра экструдата по сравнению с диаметром фильеры:

$$Q_{\phi} = \frac{\pi \cdot R_{\phi}^4 \cdot (P_M - P_{BK}) \cdot P_M \cdot Z_{\phi} \cdot k_{B3}}{8 \cdot \nu \cdot l_{\phi}}, \quad (2)$$

где  $R_{\phi}$  – радиус фильеры, м;

$P_M$  – давление, создаваемое экструдером перед матрицей, Па;

$P_{BK}$  – давление в вакуумной камере экструдера, Па;

$Z_{\phi}$  – число фильер матрицы;

$\nu$  – кинематическая вязкость экструдата,

Па · с ;

$l_{\phi}$  – длина канала фильеры, м;

$k_{B3}$  – коэффициент, учитывающий увеличение диаметра экструдата по сравнению с диаметром фильеры (коэффициент взрыва).

Очевидно, что для обеспечения необходимой выдержки в вакуумной камере экструдера получаемого продукта, при равном объемном расходе экструдата на выходе из фильеры матрицы и шлюзового затвора машины, следует периодически включать и отключать привод шлюзового затвора. Таким образом, время выдержки экструдата в вакуумной камере машины будет равно времени работы экструдера с отключенным приводом шлюзового затвора.

Рабочий объем вакуумной камеры экструдера в этом случае должен удовлетворять следующему условию [23, 25]:

$$V_{BK} \geq \frac{Q_{\phi} \cdot \tau_B}{k_3}, \quad (3)$$

где  $V_{BK}$  – рабочий объем вакуумной камеры экструдера, м<sup>3</sup>;

$\tau_B$  – время выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера, с.

$k_3$  – коэффициент, учитывающий степень заполнения вакуумной камере экструдера.

Объемный расход экструдата на выходе из шлюзового затвора экструдера с вакуумной камеры можно вычислить из выражения [6–8]

$$Q_{шз} = V_L \cdot Z_L \cdot \varphi_0 \cdot n, \quad (4)$$

где  $V_L$  – объем экструдата, выдаваемый одной лопастью шлюзового затвора, м<sup>3</sup>;

$Z_L$  – количество лопастей;

$n$  – частота вращения вала шлюзового затвора,  $c^{-1}$ ;

$\varphi_0$  – коэффициент заполнения рабочего объема шлюзового затвора.

Учитывая, что

$$V_L = \frac{\pi}{4} (R^2 - r^2) \cdot I_L, \quad (5)$$

где  $R$  – радиус корпуса шлюзового затвора, м;  
 $r$  – радиус вала шлюзового затвора, м;

$I_L$  – длина лопасти шлюзового затвора, м.

Формулу (4) можно представить в виде

$$Q_{шз} = \frac{\pi}{4} (R^2 - r^2) \cdot I_L \cdot Z_L \cdot \varphi_0 \cdot n \quad (6)$$

Для штатных условий эксплуатации пресс-экструдера КМЗ-2У с объемным расходом экструдата на выходе из фильеры матрицы 0,05-0,1 м<sup>3</sup>/с и временем выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера равном 10 с, определим максимальный расчетный рабочий объем вакуумной камеры

$$V_{вк}^{\max} = \frac{Q_{\phi}^{\max} \cdot \tau_B}{k_s} = \frac{0,1 \cdot 10}{0,8} = 1,25 \text{ м}^3.$$

и минимальный

$$V_{вк}^{\min} = \frac{Q_{\phi}^{\min} \cdot \tau_B}{k_s} = \frac{0,05 \cdot 10}{0,8} = 0,625 \text{ м}^3.$$

Из уравнения (6) можно вычислить необходимую частоту вращения вала шлюзового затвора при минимальном и максимальном объемных расходах экструдата из фильеры матрицы экструдера:

### Список литературы

- [1] Денисов, С.В. Определение пропускной способности зоны загрузки пресс-экструдера /С.В. Денисов, В.В. Новиков, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова. Вестник Алтайского государственного аграрного университета.– 2009.– № 12.–С. 73–76.
- [2] Воронина, П.К. Формирование качества пива в процессе сбраживания пивного сула с использованием экструдата ячменя /П.К. Воронина, А.А. Курочкин //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2012.– № 4.–С. 100–103.
- [3] Воронина, П.К. Разработка технологии и товароведная характеристика пива с экструдатом ячменя /П.К. Воронина //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2013.– № 4.–С. 108–113.
- [4] Воронина, П.К. Практические перспективы термопластической экструзии в технологии напитков /П.К. Воронина //XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс.– 2014.– № 6 (22).–С. 85–88.
- [5] Воронина, П.К. Полифункциональный композит с повышенным содержанием пищевых

$$n_{\min} = \frac{4 \cdot Q_{\phi}^{\min}}{\pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot I_L \cdot Z_L \cdot \varphi_0} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,05}{3,14 \cdot (0,135^2 - 0,0125^2) \cdot 0,2 \cdot 6 \cdot 0,85} = 3,31 c^{-1}.$$

$$n_{\max} = \frac{4 \cdot Q_{\phi}^{\max}}{\pi \cdot (R^2 - r^2) \cdot I_L \cdot Z_L \cdot \varphi_0} =$$

$$= \frac{4 \cdot 0,1}{3,14 \cdot (0,135^2 - 0,0125^2) \cdot 0,2 \cdot 6 \cdot 0,85} = 6,62 c^{-1}.$$

Полученное выражение позволяет сделать вывод о том, что одним из рациональных способов управления временем нахождения экструдата в вакуумной камере машины может быть изменение частоты вращения вала шлюзового затвора за счет применения в качестве привода электродвигателя постоянного тока с регулируемой частотой вращения вала.

### Выводы

На основе выполненных исследований можно сделать следующие выводы:

– в экструзионных технологиях, основанных на термовакуумном эффекте, время выдержки экструдата в вакуумной камере экструдера в некотором интервале технологических допусков может быть принято в качестве взаимозаменяемого для таких параметров процесса, как производительность машины и физико-механические свойства перерабатываемого сырья;

– одним из рациональных способов управления этим временем при условии равного объемного расхода экструдата на выходе из фильеры матрицы и шлюзового затвора машины, является периодическое включение и отключение привода шлюзового затвора экструдера;

– обоснованные в работе основные параметры шлюзового затвора позволят реализовать предлагаемую концепцию в развитии экструзионной технологии с термовакуумным эффектом.

- волокон /П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015.– № 4.–С. 65–71.
- [6] Курочкин, А.А. Дипломное проектирование по механизации переработки продукции животноводства. /А.А. Курочкин, В.М. Зимняков, В.В. Ляшенко, В.С. Парфенов, И.А. Спицын: Учебное пособие.– Пенза: Пензенская ГСХА, 1998.– 250 с.
- [7] Курочкин, А.А. Дипломное проектирование по механизации переработки сельскохозяйственной продукции. / А.А. Курочкин, И.А. Спицын, В.М. Зимняков и др. Под ред. А.А. Курочкина.–М.: КолосС, 2006.– 424 с.
- [8] Курочкин, А.А. Основы расчета и конструирования машин и аппаратов перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, В.М. Зимняков. Под ред. А.А. Курочкина.–М.: КолосС, 2006.– 320 с.
- [9] Курочкин, А.А. Трансформация углеводного комплекса экструдированного ячменя /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, Е.В. Тюрина //Современное состояние и перспективы развития пищевой промышленности и общественного питания.–Сборник материалов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием.–Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2010.–С. 46–48.
- [10] Курочкин, А.А. Аминокислотный состав экструдированного ячменя / А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова // Пиво и напитки.– 2008.– № 4.–С. 12.
- [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.– № 6 (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.– № 6 (10).–С. 46–54.
- [13] Курочкин, А.А. Теоретические исследования рабочего процесса вакуумной системы модернизированного экструдера /А.А. Курочкин //Инновационная техника и технология.– 2015.– № 3 (04). С. 44–50.
- [14] 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.– № 6 (22).–С. 109–114.
- [15] Курочкин, А.А. Системный подход к разработке экструдера для термовакуумной обработки экструдата /А.А. Курочкин //Инновационная техника и технология.– 2014.– № 4 (01).–С. 17–22.
- [16] 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.
- [17] 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.– № 1 (30).–С. 70–76.
- [18] 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.– С. 36–40.
- [19] Курочкин, А.А. Поликомпонентный экструдат на основе зерна пшеницы и семян расторопши пятнистой /А.А. Курочкин, Д.И. Фролов //Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015.– № 4.–С. 76–81.
- [20] 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.
- [21] 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. 15–20.
- [22] 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.
- [23] Курочкин, А.А. Определение основных параметров вакуумной камеры модернизированного экструдера /А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, П.К. Воронина //Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии.– 2015.– № 4 (32).–С. 172–177.
- [24] Курочкин, А.А. 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 технологии пищевых производств.– 2016. Т. 42.– № 3.–С. 104–111.
- [25] Кутовой, В.А. Системный подход к решению термовакуумных процессов сушки гетерогенных

- материалов /В.А. Кутовой //Восточно-Европейский журнал передовых технологий.– 2013.– № 8 (66), Т. 6.–С. 40–44.
- [26] Новиков, В.В. Определение объемного расхода экструдата в зоне прессования одношнекового пресс-экструдера /В.В. Новиков, А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, Н.А. Харыбина, Д.Н. Азиаткин //Вестник Алтайского ГАУ.–Барнаул, 2011.– № 1 (75).–С. 91–94.
- [27] Оборудование перерабатывающих производств /А.А. Курочкин, Г.В. Шабурова, В.М. Зимняков, П.К. Воронина.–М.: ИНФРА-М, 2015.– 363 с
- [28] Пат. 2460315 Российская Федерация МПК А23Л1/00. Способ производства экструдатов /заявители: Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина, Г.В. Авроров, П.А. Ерушов; патентообладатель ФГОУ ВПО Пензенская ГТА.– № 2011107960/13; заявл. 01.03.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. № 25.– 6 с.
- [29] Пат. 2592619 Российская Федерация, МПК А21D8/02. Способ производства хлебобулочных изделий /Г.В. Шабурова, П.К. Воронина, А.А. Курочкин, Д.И. Фролов, Н.Н. Шматкова; патентообладатель ФГОУ ВО Пензенский ГТУ.– № 2015109402/13; заявл. 17.03.2015; опубл. 27.07.2016, Бюл. № 21.– 8 с.
- [30] Перов, А.А. Термодинамическая обработка комбикормов в экспантрудере /А.А. Перов //Механизация и электрификация сельского хозяйства.– 2003.– № 9.–С. 10–12.
- [31] 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.
- [32] Шабурова, Г.В. Белковый комплекс экструдированного ячменя /Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, В.П. Чистяков, В.В. Новиков //Пиво и напитки.– 2007.– № 3.–С. 12.
- [33] Шабурова, Г.В. Повышение технологического потенциала несоложенных зернопродуктов /Г.В. Шабурова, А.А. Курочкин, П.К. Воронина //Техника и технология пищевых производств.– 2014.– № 1(32).–С. 90–96.
- [34] Фролов, Д.И. Повышение питательности экструдированных кормов для животных / Д.И. Фролов, В.А. Никишин // Сборник научных трудов Sworld. 2014. Т. 7. № 4. С. 98-101.

## JUSTIFICATION OF THE MAIN PARAMETERS OF ROTARY VALVE OF THE EXTRUDER WITH A VACUUM CHAMBER

*Denisov A.O.*

The extrusion technology based on thermal effect, the dwell time of the extrudate in a vacuum chamber of the extruder in a certain range of technological tolerances can be taken as interchangeable for such process parameters as the machine's performance and physico-mechanical properties of the processed material. One of the rational ways to control this time under the condition of equal volumetric flow rate of extrudate output from the die matrix and the floodgates of the machine is to periodically enable and disable the drive of the rotary valve of the extruder. This work suggests that the main parameters of the rotary shutter, which allows to realize this concept in the development of extrusion technology thermal-vacuum effect.

**Keywords:** *extruder, vacuum effect, output matrix, vacuum chamber, rotary valve, volumetric flow rate.*

### References

- [1] Denisov, S.V. Determining the capacities of the loading area of the press-extruder /S.V. Denisov, V.V. Novikov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova. Bulletin of Altai state agrarian University.– 2009.– № 12.– P. 73–76.
- [2] 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.
- [3] Voronina, P.K. Development of technology and commodity description beer with the extrudate barley /P. K. Voronina //Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2013.–No. 4.–P. 108–113.
- [4] Voronina, P.K. Practical perspective thermoplastic extrusion in beverage technology /P.K. Voronina //XXI century: the results of past and present problems plus.– 2014.– № 6 (22).–P. 85–88.
- [5] 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.– Pp. 65–71.

- [6] Kurochkin, A.A. Diploma engineering for mechanization of processing of livestock products. / A.A. Kurochkin, V.M. Zimnyakov, V.V. Lyashenko, V.S. Parfenov, I.A. Spitsyn: a Training manual.– Penza: Penza state agricultural Academy, 1998.– 250 p.
- [7] Kurochkin, A.A. Graduate design for mechanization of processing of agricultural products / A.A. Kurochkin, I.A. Spitsyn, V.M. Zimnyakov and etc. Under the editorship of A.A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 424 p.
- [8] Kurochkin, A.A. Fundamentals of calculating and designing machines and devices of food processing industry /A. A. Kurochkin, V.M. Zimnyakov. Under the editorship of A. A. Kurochkin.–M.: KolosS, 2006.– 320 p.
- [9] Kurochkin, A.A. The Transformation of complex carbohydrate extruded barley /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, P.K. Voronina, E.V. Tyurina //Current state and prospects of development of food industry and public catering.–Proceedings of the III all-Russian scientific-practical conference with international participation.–Chelyabinsk: Publishing center SUSU, 2010.–P. 46–48.
- [10] Kurochkin, A.A. Amino acid composition of extruded barley /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova // Beer and drinks.– 2008.–No. 4.–P. 12.
- [11] Kurochkin, A.A. Substantiation of rational parameters of the screw press-extruder /A.A. Kurochkin, V.V. Novikov //XXI century: the past and challenges of the present plus.– 2013.–No.6 (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.–No. 6 (10).–Pp. 46–54.
- [13] Kurochkin, A.A. Theoretical research of working process of the vacuum system of the upgraded extruder /A. A. Kurochkin //Innovative machinery and technology.– 2015.– № 3 (04). P. 44–50.
- [14] 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. 6 (22).–Pp. 109–114.
- [15] Kurochkin, A. A. A systematic approach to the development of thermal vacuum extruder for processing of the extrudate /A. A. Kurochkin //Innovative machinery and technology.– 2014.–No. 4 (01).–P. 17–22.
- [16] Kurochkin, A.A. Extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.C. Voronina //Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2014.–No. 4.–Pp. 70–74.
- [17] Kurochkin, A.A. Modeling of the process of extrudates based on new technological solutions / A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //Niva Povolzhya.– 2014.–No. 1 (30).–Pp. 30–35.
- [18] Kurochkin, A.A. The technology of feed production on the basis of thermal waste treatment/agricultural production /A.A. Kurochkin, D.I. Frolov //Innovative machinery and technology.– 2014.–No. 4.–P. 36–40.
- [19] Kurochkin, A.A. Multicomponent extrudate on the basis of wheat and Thistle seed /A. A. Kurochkin, D.I. Frolov //Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2015.–No. 4.–P. 76–81.
- [20] 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.
- [21] Kurochkin, A.A. Theoretical justification for the thermal vacuum effect in the workflow of the upgraded extruder /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, D.I. Frolov, P.K. Voronina //Bulletin of the Samara State Agricultural Academy.– 2015.–No. 3.–Pp. 15–20.
- [22] 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.
- [23] Kurochkin, A.A. Determination of main parameters of the upgraded vacuum chamber of the extruder / A.A. Kurochkin, D.I. Frolov, P.K. Voronina//Bulletin of the Ulyanovsk state agricultural Academy.– 2015.– № 4 (32).–P. 172–177.
- [24] Kurochkin, A.A. The extrudates from vegetable raw materials with a high content of lipids and dietary fibers /A.A. Kurochkin, P.K. Voronina, G.V. Shaburova, D.I. Frolov //Equipment and technologies for food production.– 2016. Vol. 42.–No. 3.–Pp. 104–111.
- [25] Kutovojs, V.A. A systematic approach to solving the thermal vacuum drying processes of heterogeneous materials /V.A. Kutovojs //East European Journal of advanced technologies.– 2013.– № 8 (66), V.6.–Pp. 40–44.
- [26] Novikov, V.V. Determination of volumetric flow of extruded articles in the zone of single screw extrusion press extruder/V.V. Novikov, A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, N.A. Harybina, D.N. Aziatkin //Herald of the Altai HAU.–Barnaul, 2011.–No. 1 (75).–Pp. 91–94.
- [27] Hardware processing industries /A.A. Kurochkin, G.V. Shaburova, V.M. Zimnyakov, P.K. Voronina.–M.: INFRA-M, 2015.– 363 p.
- [28] Pat. 2460315 The Russian Federation, IPC 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 2011107960/13; Appl. 01.03.2011; publ. 10.09.2012, bull. No. 25.– 6 p.
- [29] Pat. 2592619 The Russian Federation, IPC A21D8/02. A method of producing bakery products /G.V. Shaburova, P.K. Voronina, A. A. Kurochkin, D.I. Frolov, N.N. Shmatkova; patentee GOU VO Penza GTU. No 2015109402/13; Appl. 17.03.2015; publ.27.07.2016, bull. No 21–8 p.
- [30] Perov, A. A. Thermodynamic treatment of feed in the former pantrudere /A.A. Perov //Mechanization and Electrification of Agriculture.– 2003.– № 9.–P.p 10–12.
- [31] Frolov, D.I. Theoretical description of the process of explosive evaporation of water in the extruder with vacuum chamber /D.I. Frolov, A. A. Kurochkin, G. V. Shaburova, P. K. Voronina //Innovative machinery and technology.–2015.– № 1 (02). Pp. 29–34.
- [32] Shaburova, G.V. Protein complex extruded barley /Shaburova G.V., Kurochkin A.A., V.P. Chistyakov, V. V. Novikov //Beer and soft drinks.– 2007.–No. 3.–P. 12.
- [33] Shaburova, G.V. Improving the technological capacity of unmalted grain products //G.V. Shaburova, A. A. Kurochkin, P. K. Voronina //Technics and technology of food production.– 2014.–No. 1 (32).–Pp. 90–96.
- [34] Frolov, D. I. improving the nutritional value of the extruded animal feeds / D. I. Frolov, V. A. Nikishin // Collection of scientific works Sworld. 2014. Vol. 7. No. 4. Pp. 98-101.