

## **РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ШНЕКА ТИПОВОГО ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА**

На базе экспериментального исследования предлагается разработка конструкции рабочего органа пресс-экструдера, предназначенного для производства пищевых продуктов. Данная конструкция обеспечивает возможность регулирования скорости подачи материала в зону сжатия, за счет регулирования угла наклона витков шнека. Таким образом, предлагаемые изменения конструкции рабочего органа пресс-экструдера позволяют: оптимизировать процесс, повысить производительность экструдера и получать экструдаты высокого качества. В работе проведены исследования преобразования макаронного теста в каждой зоне с точки зрения его плотности и, как следствие, прочности.

**Ключевые слова:** экструзия, макаронное тесто, шнек, плотность, прочность, производительность, зоны шнековой камеры.

Процесс экструзии материалов органического происхождения применяется с 30-х годов 20-го столетия. Экструдировать, можно различными способами. В настоящее время наиболее перспективна в производстве продуктов питания шнековая экструзионная техника [1].

Экструзионная технология – один из самых высокоэффективных процессов, совмещающий термо-, гидро– и механическую обработку сырья и позволяющий получать продукты нового поколения с заранее заданными свойствами, управляя исходным составом экструдированной смеси, механизмом физико-химических, механических, биохимических и микро–биологических процессов, протекающих при экструзии пищевых масс [2].

Экструдеры позволяют совместить ряд операций в одной машине, проводить их быстро и непрерывно (составлять композиции из нескольких компонентов, перемешивать, сжимать, нагревать, варить, стерилизовать и формовать практически одновременно). При экструдировании возникают большие силы сдвига, благодаря чему появляется возможность формировать необходимую структуру из белков растительного происхождения, что невозможно в условиях тепловой обработки.

Таким образом, за счет совмещения нескольких операций, высокого давления сокращается продолжительность всего технологического процесса, что позволяет уменьшить трудоемкость и снизить энергопотребление [3].

На сегодняшний день различными видами экструзии получают компоненты кормов для домашних птиц, животных, рыб, кондитер-

ские изделия (шоколад, конфеты, печенья, жевательную резинку), продукты детского и диетического питания, воздушные крупяные палочки (кукурузные, рисовые, перловые и т. д.), компоненты овощных консервов и пищекокцентратов, широкий диапазон макаронных изделий и др [4]. Кроме того, экструзия – это идеальный технологический процесс для обогащения продуктов питания физиологически функциональными пищевыми ингредиентами (ГОСТ Р 52349-2005): пищевыми волокнами, витаминами, минеральными веществами для получения обогащенных или функциональных изделий, обеспечивающих профилактику заболеваний, связанных с возникновением в организме человека дефицита тех или иных питательных веществ [5].

Для получения пищевых экструдатов сегодня применяют одношнековые и двухшнековые пресс-экструдеры. Одношнековый экструдер по сравнению с двухшнековым имеет следующие преимущества:

- большую производительность,
- уменьшенную нагрузку на подшипники, передачи и привода (в двухшнековом экструдере габариты подшипников и передачи ограничены межцентровым расстоянием шнеков),
- большую надежность в работе,
- низкую стоимость;
- проверенную технологию, простую конструкцию;

В одношнековом экструдере весь канал шнека заполнен материалом: условия для формирования более благоприятны, чем в двухшнековом экструдере [6].

В настоящее время в одношнековых экструдерах применяются в основном шнеки с нарезкой по всей длине и с постоянным шагом, равным наружному диаметру шнека. Недостатком в данном случае является невозможность регулирования угла наклона витков шнека по отношению к осевой линии в зоне загрузки, а следовательно, отсутствие возможности регулирования скорости подачи материала в зону сжатия в зависимости от вида перерабатываемого материала, что приводит к недостаточному или наоборот избыточному уплотнению материала в зоне загрузки и как следствие, снижению производительности экструдера и качеству получаемой продукции [7].

Для изучения преобразования материала в экструдере конструкция шнековой камеры была разбита на пять зон (рисунок 1): зона загрузки, зона транспортирования, зона сжатия, зона гомогенизации и зона формования. Нами было изучено преобразование макаронного теста в каждой зоне с точки зрения его плотности и, как следствие, прочности [8].

Результаты исследований для типового одношнекового экструдера представлены на рисунках 2 и 3. Для достижения точности эксперимент проводили в пяти повторностях.

Плотность макаронного теста по зонам экструдера определяли следующим образом: после выхода экструдера на режим, останавливали его, выключали привод, разбирали экструдер на части и исследовали материал, находящийся в каждой зоне. Плотность определяли по ГОСТ 8.024-75.

Из графика, представленного на рисунке 2 мы видим, что результаты свидетельствуют

о недостаточном уплотнении макаронного теста в зоне сжатия  $1100 \text{ г/см}^3$  по сравнению с  $1300 \text{ г/см}^3$ , которые получаем на выходе из экструдера. А также о недостаточной плотности макаронного теста на выходе из экструдера  $1300 \text{ г/см}^3$ , по сравнению с  $1400 \text{ г/см}^3$ , достигаемых на гидравлических прессах, при использовании аналогичного сырья. Вышеприведенные данные, вероятно, объясняются неэффективной работой шнековой камеры пресс-экструдера в зоне сжатия, при использовании традиционной конструкции шнековой камеры.

Результаты графика, представленного на рисунке 3, свидетельствуют о том, что в зоне сжатия происходит возрастание прочности до  $8,4 \text{ кПа}$ , что отрицательно влияет на дальнейшее прохождение материала вдоль шнека экструдера. В зоне гомогенизации наблюдается дальнейшее возрастание прочности до  $8,6 \text{ кПа}$  и в зоне формования прочность составляет до  $8,8 \text{ кПа}$ , что так же отрицательно влияет на формирование экструдированных изделий. Полученные данные объясняются неэффективной работой пресс-экструдера при использовании традиционной конструкции шнековой камеры.

В связи с вышесказанным нами была разработана конструкция одношнекового пресс-экструдера, обеспечивающая возможность регулирования скорости подачи материала в зону сжатия, за счет регулирования угла наклона витков шнека.

Для решения поставленной задачи, нами была изменена конструкция рабочего органа пресс-экструдера следующим образом: витки в зоне загрузки и транспортирования были выполнены с возможностью осевого перемещения,

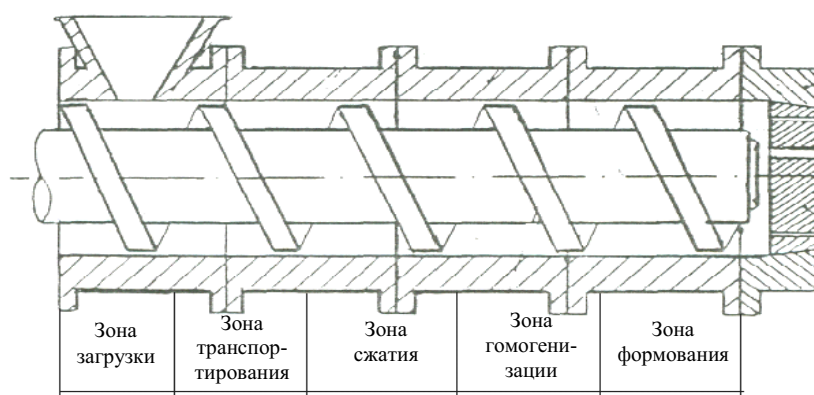


Рисунок 1. Рабочий узел шнековой камеры пресс-экструдера

посредством вращения резьбового вала приводного механизма, расположенного в теле шнека, на котором расположены втулки с установленными пальцами, соединенными с витками шнека и совершающими движение по направляющим, выполненным также в теле шнека.

Экструдер содержит, подшипниковый узел 1 (рисунок 4), загрузочную воронку 2, разъемные корпуса шнековой камеры 3, привод 4, формирующую головку 5, шнек 6 с витками 7, выполненными с возможностью осевого перемещения в зонах загрузки и транспортирования, посредством вращения резьбового вала 8 приводного механизма 9, расположенного в теле шнека 6. На резьбовом валу 8 расположены втулки 10 с установленными пальцами 11. Пальцы 11 со-

вершают движение по направляющим 12, выполненным в теле шнека 6 и соединены с витками шнека 7.

Предлагаемый экструдер работает следующим образом. Исходный продукт под воздействием вращающихся витков 7 шнека 6 перемещается в зону сжатия. После сжимания, продукт поступает в зону гомогенизации, где происходит превращение размягченных частиц в однородный расплав. Затем продукт попадает в зону формирования и продавливается через формирующую головку 5.

При изменении плотности поступающего на переработку материала возникает необходимость в изменении скорости подачи материала в зону сжатия. Данная скорость регулируется

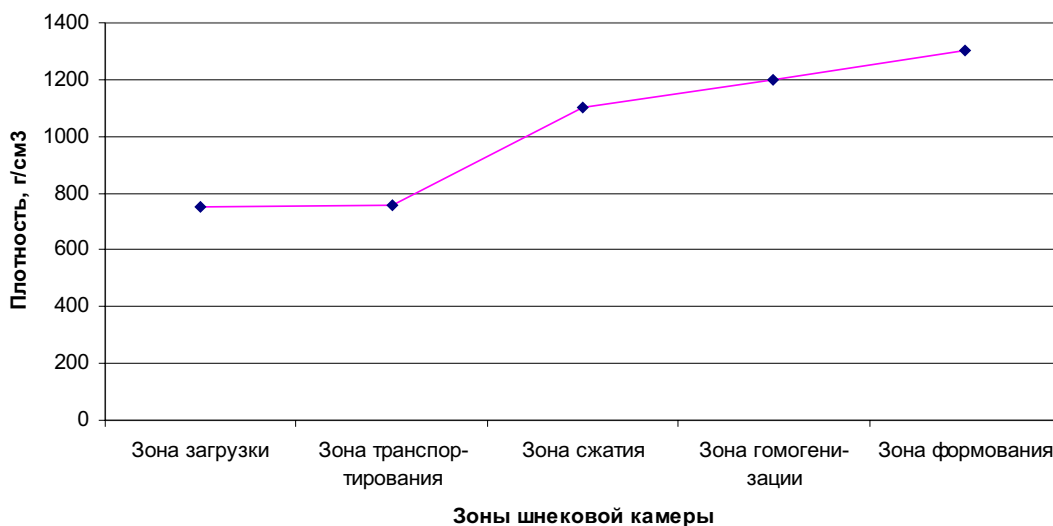


Рисунок 2. Плотность материала в зонах шнековой камеры экструдера, г/см<sup>3</sup>

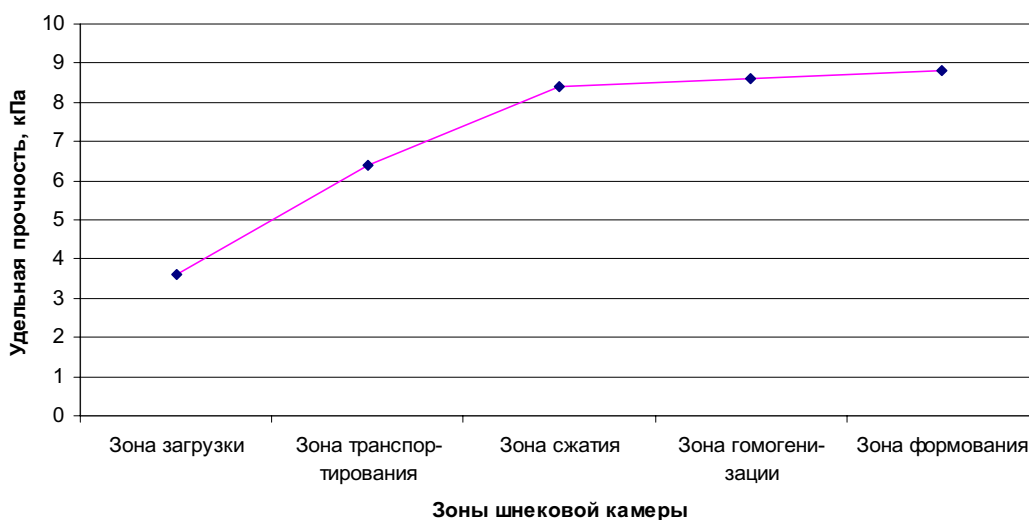


Рисунок 3. Прочность материала в зонах шнековой камеры экструдера, кПа

при помощи изменения угла наклона витков 7 шнека 6. Изменение угла наклона осуществляется следующим образом: при вращении резьбового вала 8 втулки 10 с установленными в них пальцами 11 перемещаются вдоль оси шнека 6, увлекая за собой витки шнека 7. В результате за счет изменения расстояния между витками 7 изменяется и угол наклона самих витков. При изменении угла наклона витков изменяется соотношение тангенциальной (обеспечивающей вращение и перемешивание материала) и аксиальной (обеспечивающей продвижение материала вдоль оси шнека) составляющих силы воздействия шнека на перерабатываемый материал. При изменении данного соотношения, изменяется скорость перемещения материала в зоне загрузки и транспортирования, и, как следствие скорость подачи его в зону сжатия. Таким образом, появляется возможность регулирования скорости подачи материала в зону сжатия, и, как следствие регулирование давления материала на выходе из зоны сжатия, в зоне гомогенизации и формования, что обеспечивает повышение производительности экструдера и получение высококачественной продукции.

Изменение угла наклона витков целесообразно выражать в виде отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру ( $Ld$ ). Для исследования изменения плотности и прочности в зависимости от отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диа-

метру ( $Ld$ ) и влажности перерабатываемого материала использовали макаронное тесто из хлебопекарной муки высшего сорта. На основе предварительных экспериментов был составлен и реализован план трехфакторного эксперимента [9] по установлению влияния влажности и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному на плотность и прочность материала в зонах шнековой камеры экструдера. При этом влажность меняли в пределах от 28% до 32%,  $Ld$  – изменяли в пределах от 0,4 до 1,2, при толщине лопасти шнека 7 мм, внешнем диаметре винтовой линии 59 мм и длине прессующей части 650 мм.

По результатам эксперимента, при помощи программного средства, разработанного на факультете прикладной биотехнологии и инженерии ОГУ, получены уравнения регрессии второго порядка и построены плоскости отклика.

Уравнения регрессии:

для плотности материала в зонах шнековой камеры экструдера:

$$\rho = 1303,97 - 11,48 \cdot W - 15,30 \cdot Ld + 28,3 \cdot W \cdot Ld + 11,90 \cdot W^2 + 27,24 \cdot Ld^2 \quad (1)$$

для прочности материала в зонах шнековой камеры экструдера:

$$p = 8,69 - 0,17 \cdot W + 0,34 \cdot Ld - 0,79 \cdot W \cdot Ld - 0,34 \cdot Ld^2 \quad (2)$$

где  $W$  – влажность материала;

$Ld$  – отношение шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру.

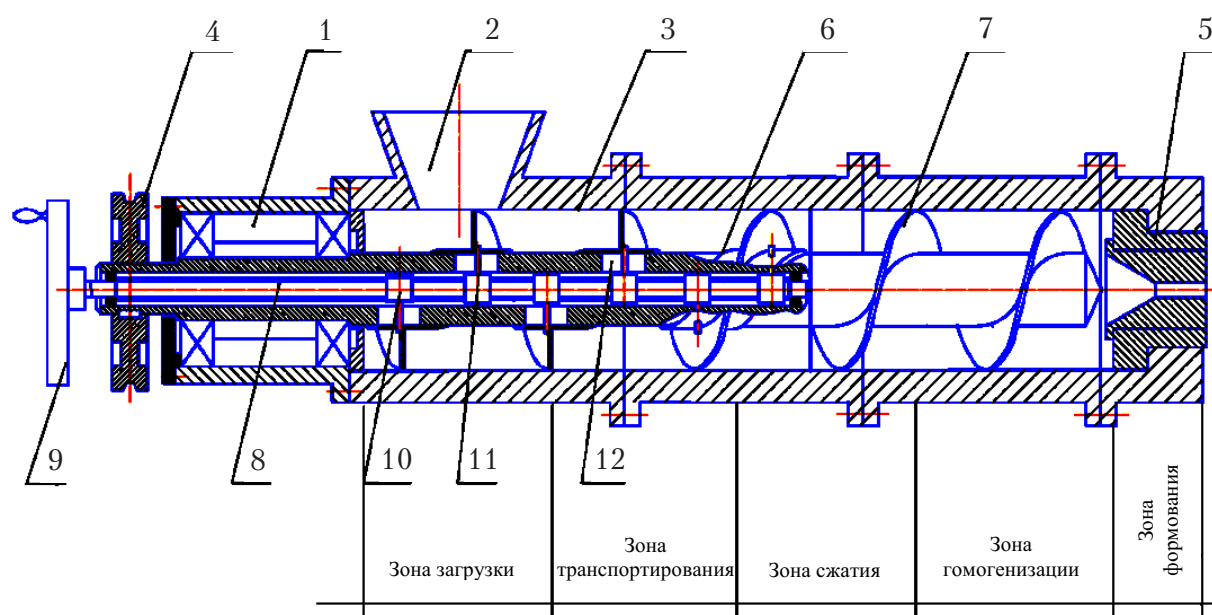


Рисунок 4. Конструкция одношнекового пресс-экструдера

Величины  $W$  и  $Ld$  даны в условных единицах.

Для перевода натуральных единиц в условные можно воспользоваться следующими уравнениями:

$$W = 0,5 \cdot W' - 1,5; \quad (4)$$

$$Ld = 2,5 \cdot Ld' - 2 \quad (5)$$

Величины со штрихом натуральные, где  $W'$  – влажность материала, %;  $Ld'$  – отношение шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру.

Плоскости отклика, отражающие зависимость плотности и прочности материала в зонах шнековой камеры экструдера от влажности материала и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру представлены соответственно на рисунках 5 и 6.

Из рисунка 5 мы видим, что за счет изменения отношения шага винтовой лопасти шнека, к ее наружному диаметру ( $Ld$ ) в зонах загрузки, транспортирования и сжатия можно значительно увеличить плотность материала. Так же на-

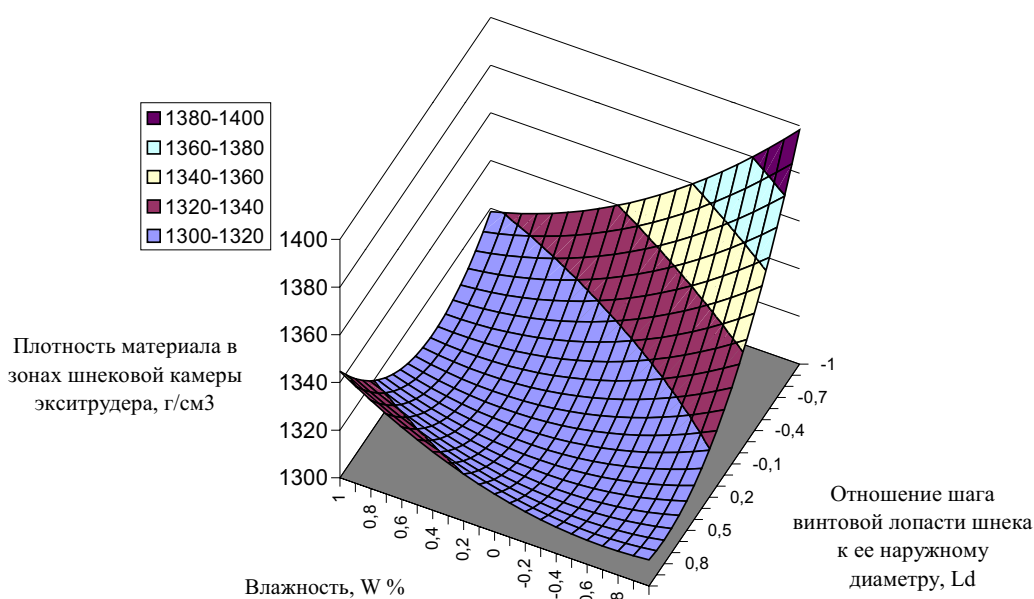


Рисунок 5. Зависимость плотности материала в зонах шнековой камеры экструдера от влажности и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру

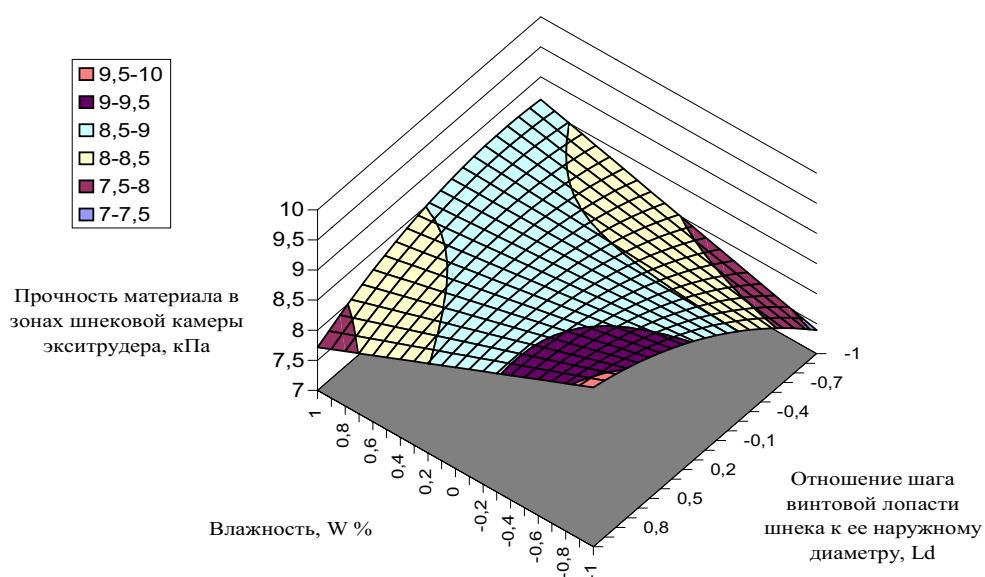


Рисунок 6. Зависимость прочности материала в зонах шнековой камеры экструдера от влажности и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру



блюдается увеличение плотности материала на выходе из экструдера до величины 1400 г/см<sup>3</sup>, сопоставимой с достигаемой на гидравлических прессах, при использовании аналогичного сырья.

Из рисунка 6 мы видим, что при изменении отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру ( $L_d$ ), прочность теста изменяется. В результате можно получить на выходе из экструдера материал, обладающий сравнительно низкой прочностью до 7,6 кПа. За счет снижения прочности в зонах сжатия, гомогени-

зации и формования снижаются энергозатраты на проведение процесса экструдирования и повышается качество готовых изделий.

Таким образом, предлагаемые изменения конструкции рабочего органа пресс-экструдера позволяют:

- оптимизировать процесс экструдирования различного сырья за счет регулируемого поддержания давления в зоне сжатия;
- повысить производительность экструдера;
- получать экструдаты высокого качества.

29.05.2014

#### Список литературы:

1. Определение оптимальной влажности исходной смеси для производства экструдированных кормов на основе подсолнечной лузги / В.П. Попов [и др.] // Материалы IX международной научно-практической конференции «Найновите научни постижения» 17.03.2013-25.03.2013 г., София Республика Болгария, Publishing House «Education and Science»s.r.o. 2013 г. – С. 29–32. – ISBN 978-966-8736-05-6.
2. Технология получения экструдированных кормов с применением гречишной и подсолнечной лузги / В.П. Попов [и др.] // Журн. «Хранение и переработка сельхозсырья» №4. – 2013. – С. 47–49. – ISSN 2072-9669.
3. Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок / В.П. Попов [и др.] // Журн. «Хранение и переработка сельхозсырья» №3. – 2013. – С. 17–20. – ISSN 2072-9669.
4. Разработка технологии экструдированных кормов на основе отходов пищевой промышленности с охлаждением дукратно измельчаемого сырья / В.П. Попов [и др.] // «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры». Материалы Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием); Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С. 1038–1041.
5. Оптимизация технологии экструдированных грубых кормов и добавок / С.В. Антимонов [и др.] // Материалы IX международной научно-практической конференции «Научный вестник» 27.12.2012–05.01.2013 г., Прага. Publishing House «Education and Science»s.r.o. – 2013. – С. 72–76. – ISBN 978-966-8736-05-6
6. Разработка технологии экструдированных продуктов с учетом адгезионно-когезионных технологий / Д.В. Тимофеева [и др.] // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013. – С. 75–177.
7. Исследование процесса преобразования сыпучего материала в упруго-вязко-пластичный в канале шнека пресс-экструдера / Д.В. Тимофеева [и др.] // Бъдещие изследвания: материали за 9-а международна практична конференция. Том 25. Сельско стопанство. Ветеринарна наука. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – С. 50–54.
8. Оптимизация изменения агрегатного состояния сырья в процессе экструзии / Д.В. Тимофеева [и др.] // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2013. – №3. – С. 225–229. – ISBN 1814-6457 (Реестр ВАК МО РФ).
9. Коротков, В.Г. Математическое моделирование измельчения зерна ударно-истирающего действия / В.Г. Коротков, В.Ю. Полищук, С.В. Антимонов. – Техника в сельском хозяйстве, №6. – 2007.
10. Коротков В.Г., Попов В.П., Касперович В.Л., Насретдинов Р.Р., Зинюхин Г.Б., Мусиенко Д.А. Шнековый экструдер: патент на изобретение RUS 2147995 16.11.1998
11. Коротков В.Г., Попов В.П., Зинюхин Г.Б., Ханин В.П., Саликов Д.Г. Формующий узел пресса-экструдера: патент на изобретение RUS 2132277

#### Сведения об авторах:

**Тимофеева Дарья Владимировна**, аспирант кафедры пищевой биотехнологии  
Оренбургского государственного университета, e-mail: Timofeeva-Daria89@yandex.ru

**Зинюхина Анна Георгиевна**, аспирант кафедры пищевой биотехнологии  
Оренбургского государственного университета, e-mail: ziggi9090@mail.ru

460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3215

**Попов Валерий Павлович**, заведующий кафедрой пищевой биотехнологии  
Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук, доцент  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3104<sup>А</sup>, тел. (3532) 372465, e-mail: ppbt@mail.osu.ru

**Антимонов Станислав Владиславович**, доцент кафедры машин и аппаратов химических  
и пищевых производств Оренбургского государственного университета, кандидат технических наук  
460018, г. Оренбург, пр-т Победы, 13, ауд. 3115