

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СТРУКТУРНО – МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БЕЛКОВО-КРАХМАЛО-КЛЕТЧАТКОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В КАНАЛЕ ОДНОШНЕКОВОГО ПРЕСС-ЭКСТРУДЕРА

**Тимофеева Д. В., Кишкилев С.В., Попов В.П., Мартынов Н.Н.
Оренбургский государственный университет, г. Оренбург**

Экструзионная технология - один из самых перспективных и 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 микробиологических процессов, протекающих при экструзии пищевых масс [1].

Способ экструзионной обработки материалов отличается от традиционных процессов влаготермической обработки сырья, тем, что этот процесс протекает при высоких температурах, давлениях, напряжениях сдвига, при небольшой влажности сырья и в течение короткого времени. Такая обработка позволяет количественно и качественно изменять структуру, состав и пищевую ценность экструдатов [2].

В ходе процесса экструдирования происходит переход механической энергии в тепловую, что приводит к различным по глубине изменениям в качественных показателях перерабатываемого сырья [3].

Процесс прессования на шнековых прессах следует рассматривать не только как механическое сжатие прессуемого материала, а как продолжение глубоких физико-химических изменений [4]. В процессе экструзионной обработки перерабатываемый материал подвергается целому ряду фазовых превращений из хрупкого стеклообразного состояния в высоко-эластичное и затем в вязко-текучее. Например, установлено, что в процессе прессования продолжается денатурация белковых веществ и прессуемый материал приобретает новое строение [5].

По данным некоторых авторов (Колобов В.А., 1982, Струтинский Ф.А., 1982, Кирилов М.П., 1984, Томчук О.Л., 1991) после непродолжительного воздействия высокой температуры и давления на белково-крахмало-клетчаткосодержащий материал, сложные структуры белков и углеводов в экструдированном материале распадаются на более простые, клетчатка – на вторичный сахар, крахмал – на простые сахара [6].

Для изучения преобразования материала в экструдере была исследована зерновая смесь в составе ячменя – 70%, пшеницы – 10%, овса – 19% и соли – 1%. 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 зерновой смеси в каждой зоне с точки зрения его химического состава, плотности и, как следствие, прочности.

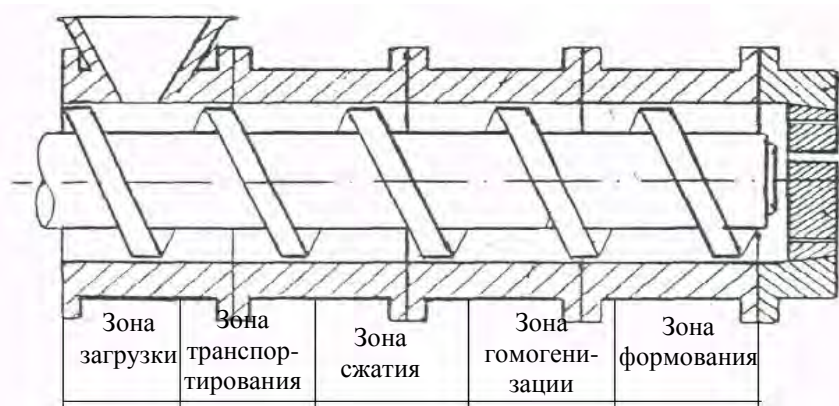


Рисунок 1 – Рабочий узел шнековой камеры пресс-экструдера.

Результаты исследований для типового одношнекового экструдера представлены в таблице 1 и на рисунках 2 и 3. Количество повторностей рассчитывали по критерию Стьюдента с целью достижения доверительного интервала 0,5. По расчетам выявлено, что количество повторностей равняется пяти. Эксперимент проводили в пяти повторностях.

Плотность зерновой смеси 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. Аминокислотный состав определяли по стандартной методике

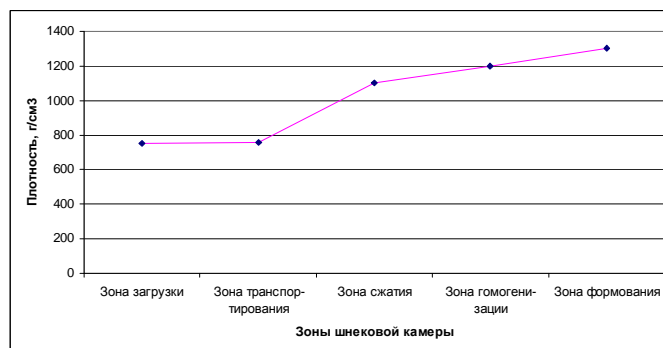


Рисунок 2 - Плотность материала в зонах шнековой камеры экструдера, г/см³.

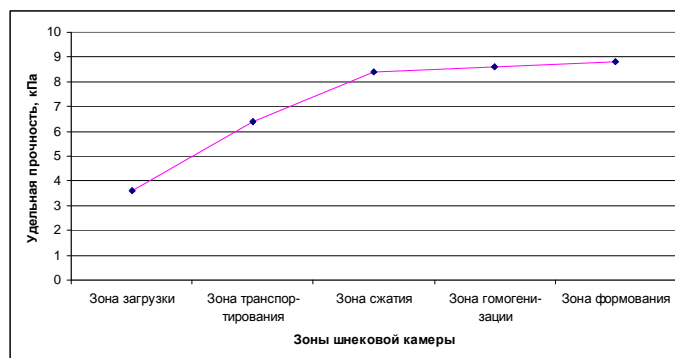


Рисунок 3 - Прочность материала в зонах шнековой камеры экструдера, кПа.

Проведенные нами анализы зерновой смеси показали (таблица 1), что в

результате экструдирования происходит существенное изменение химического состава продукции. Так со 110 до 113,78 г (или на 3,78%) увеличивается концентрация сырого протеина – одного из основных показателей лимитирующих продуктивность животных. При этом возрастает не только количество протеина, но и повышается его физиологическая ценность за счет увеличения концентрации основных незаменимых аминокислот.

Исследованиями выявлено, что после экструдирования количество лизина, одной из самых дефицитных аминокислот увеличивается на 12 % с 365,96 до 412,49 мг на 100 г, глицина – на 41 %, 413,38 до 584,1 мг на 100 г, цистина – на 70%, с 228,6 до 390,77 мг на 100 г, триптофана – на 26,5%, метионина и аспарагиновой кислоты соответственно на 3,7% и 3,6%. При экструдировании зерновая масса на 2,2% обогащается сырым жиром – наиболее концентрированным источником энергии: при сгорании 1 г жира выделяется в среднем 38,0 кДж тепла, что в 2,2 раза больше чем при сгорании аналогичного количества углеводов. На 2,3 % уменьшается объем клетчатки, основу которой составляют целлюлоза, гемицеллюлоза и инкрустирующие вещества клеточных стенок (легнин, кутин, суберин), то есть наименее ценная часть зерновой смеси.

Вместе с тем необходимо учитывать, что при экструдировании зерновой смеси происходит некоторая потеря (до 11,5%) зольных элементов, уменьшается объем отдельных незаменимых аминокислот: пролин – на 18,0%, треонин – на 20,5%, серин – на 15,3, глутаминовая кислота – на 11,2%.

Следует отметить, что основные преобразования в зерновой смеси происходят в зоне гомогенизации и формования. Так, сырой протеин в зоне сжатия увеличивается до 111,56 г, в зоне гомогенизации – до 112,98 г; сырая клетчатка в зоне сжатия уменьшается до 59 г, в зоне гомогенизации – до 51,5 г; сырой жир в зоне сжатия увеличивается до 26,2 г, в зоне гомогенизации – до 26,43 г; сырая зола в зоне сжатия уменьшается до 2,39 %, в зоне гомогенизации – до 2,17 %; сухое вещество в зоне сжатия уменьшается до 87,6%, в зоне гомогенизации – до 87,2 %. Вероятно, вышеприведенные преобразования связаны с повышением внутримолекулярного взаимодействия в экструдированном материале, вызванного повышением его плотности.

Из графика, представленного на рисунке 2 мы видим, что результаты свидетельствуют о недостаточном уплотнении материала в зоне сжатия 1100 г/см³ по сравнению с 1300 г/см³, которые получаем на выходе из экструдера. А также о недостаточной плотности экструдата на выходе из экструдера 1300 г/см³, по сравнению с 1400 г/см³, 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.

Вместе с тем, следует отметить (рисунок 3), что в зоне сжатия происходит возрастание прочности до 8,4 кПа, что отрицательно влияет на дальнейшее прохождение материала вдоль шнека экструдера. В зоне гомогенизации наблюдается дальнейшее возрастание прочности до 8,6 кПа и в зоне формования прочность составляет до 8,8 кПа, что так же отрицательно влияет

Таблица 1 – Результаты химического анализа зерновой смеси

Показатели	Единица измерения	Химический состав зерносмеси				
		Зона загрузки	Зона транспортирования	Зона сжатия	Зона гомогенизации	Зона формования
Сырой протеин	г	110 ± 0,55	110 ± 0,55	111,56 ± 0,56	112,98 ± 0,56	113,78 ± 0,57
Сырая клетчатка	г	61 ± 0,31	61 ± 0,31	59 ± 0,29	51,5 ± 0,27	49 ± 0,24
Сырой жир	г	26 ± 0,13	26 ± 0,13	26,2 ± 0,13	26,43 ± 0,13	26,57 ± 0,13
Сухое вещество	%	87,71 ± 0,44	87,71 ± 0,44	87,6 ± 0,43	87,2 ± 0,43	87,06 ± 0,43
Сырая зола	%	2,42 ± 0,01	2,42 ± 0,01	2,39 ± 0,01	2,21 ± 0,01	2,17 ± 0,01
Обменная Энергия	МДж	11,1 ± 0,05	11,1 ± 0,05	11,1 ± 0,05	11,11 ± 0,06	11,12 ± 0,06
Кормовые единицы		1,12 ± 0,005	1,12 ± 0,005	1,122 ± 0,005	1,128 ± 0,005	1,13 ± 0,006
Аминокислоты						
Лизин	мг на 100 г	365,96 ± 1,83	365,96 ± 1,83	378,7 ± 1,89	403,11 ± 2,01	412,49 ± 2,06
Метионин		173,64 ± 0,87	173,64 ± 0,87	174,76 ± 0,87	178,46 ± 0,89	180,21 ± 0,90
Цистин		228,6 ± 1,14	228,6 ± 1,14	235,5 ± 1,17	274,6 ± 1,37	390,77 ± 1,95
Триптофан		127,88 ± 0,64	127,88 ± 0,64	131,5 ± 0,65	152,4 ± 0,76	161,8906 ± 0,81
Аспарагиновая кислота		630,96 ± 3,15	630,96 ± 3,15	636,8 ± 3,18	649,8 ± 3,24	653,82 ± 3,26
Треонин		344,08 ± 1,72	344,08 ± 1,72	327,3 ± 1,63	297,3 ± 1,48	285,47 ± 1,43
Серин		454,8 ± 2,27	454,8 ± 2,27	442,6 ± 2,21	407,1 ± 2,03	394,27 ± 1,97
Глютаминовая кислота		2509,02 ± 12,54	2509,02 ± 12,54	2439,4 ± 12,19	2296,8 ± 11,48	2254,53 ± 11,27
Пролин		1380,22 ± 6,54	1380,22 ± 6,54	1305,6 ± 6,52	1198,1 ± 5,99	1168,75 ± 5,84
Глицин		413,38 ± 2,06	413,38 ± 2,06	455,1 ± 2,27	539,9 ± 2,69	584,1 ± 2,92
Аланин		440,13 ± 2,2	440,13 ± 2,2	442,38 ± 2,21	446,88 ± 2,23	449,77 ± 2,25
Валин		540,74 ± 2,7	540,74 ± 2,7	528,24 ± 2,64	503,24 ± 2,51	490,35 ± 2,45

на формирование экструдированных изделий. Полученные данные объясняются неэффективной работой пресс-экструдера при использовании традиционной конструкции шнековой камеры.

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].

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 [8].

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, 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 [8].

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 диаметру (Ld) и влажности перерабатываемого материала использовали ту же зерновую смесь пшеницы – 10%, ячменя – 70% и овса – 19%. 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:

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

(1)

для прочности материала в зонах шнековой камеры экструдера:

$$\rho = 8,69 - 0,17 \cdot W + 0,34 \cdot Ld - 0,79 \cdot W \cdot Ld - 0,34 \cdot Ld^2$$

(2)

где: W – влажность материала;

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

Величины W и Ld даны в условных единицах.

Для перевода натуральных единиц в условные можно воспользоваться следующими уравнениями:

$$W = 0,5 \cdot W' - 15; \tag{4}$$

$$Ld = 2,5 \cdot Ld' - 2; \tag{5}$$

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 4 и 5.

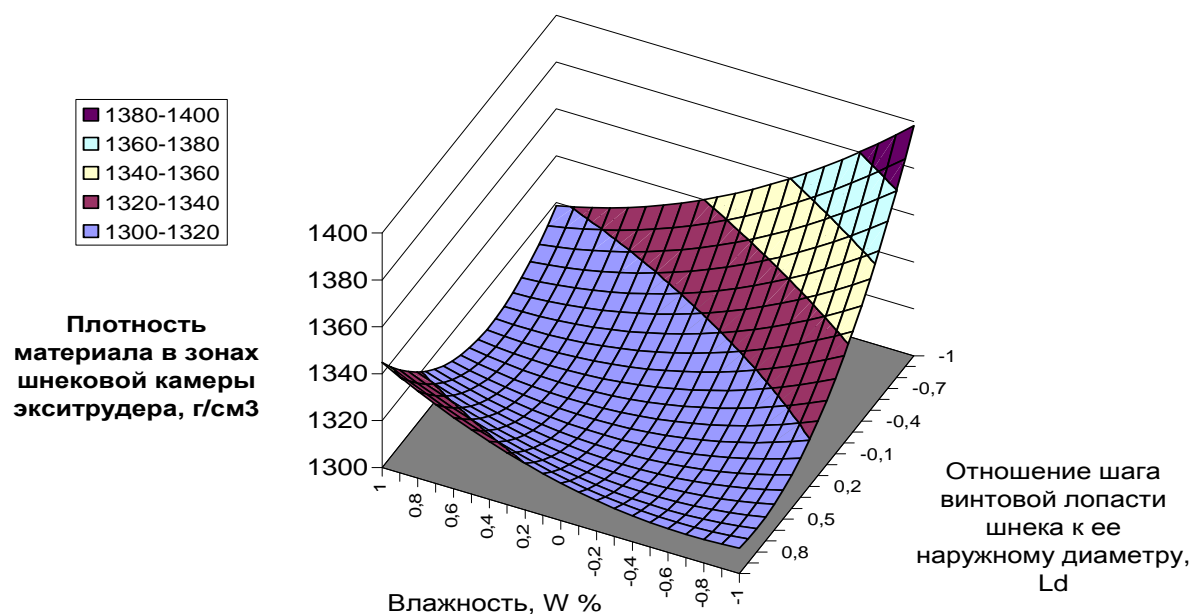


Рисунок 4 – Зависимость плотности материала в зонах шнековой камеры экструдера от влажности и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру.

Из рисунка 4 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 наблюдается увеличение плотности материала на выходе из экструдера до величины 1400 г/см^3 , сопоставимой с достигаемой на

гидравлических прессах, при использовании аналогичного сырья.

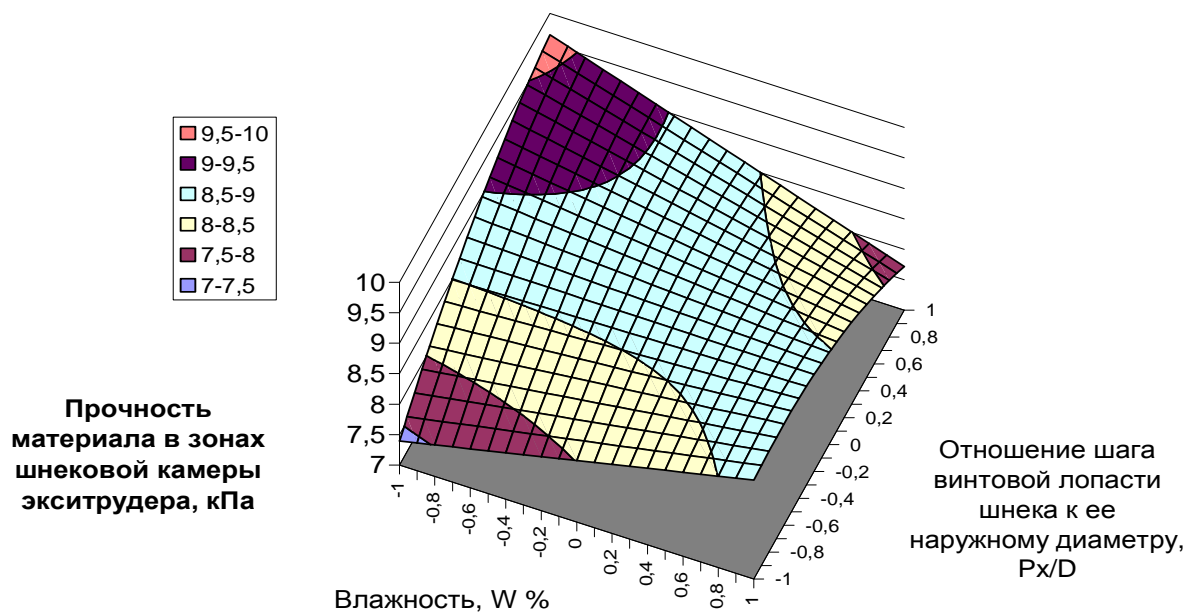


Рисунок 5 – Зависимость прочности материала в зонах шнековой камеры экструдера от влажности и отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру.

Из рисунка 5 мы видим, что при изменении отношения шага винтовой лопасти шнека к ее наружному диаметру (L_d), прочность материала 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, гомогенизации 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.

Список литературы

1. Попов, В.П. Определение оптимальной влажности исходной смеси для производства экструдированных кормов на основе подсолнечной лузги [Текст] / В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов, С.В. Кишкилев // Материалы IX международной научно-практической конференции «Найновите научнии постижения» 17.03.2013-25.-03.2013 г., София

Республика Болгария, Publishing House «Education and Science»s.r.o. 2013. – С.29-32 – ISBN 978-966-8736-05-6.

2. Попов, В.П. Технология получения экструдированных кормов с применением гречишной и подсолнечной лузги [Текст] / В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов, С.Ю. Соловых, С.В. Кишкилев // Хранение и переработка сельхозсырья. 2013. - № 4. – С. 47-49 – ISSN 2072-9669.

3. Попов, В.П. Измельчение и охлаждение сырья при получении экструдированных кормов и добавок [Текст] / В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов, С.В. Кишкилев // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. - №3. – С. 17-20 – ISSN 2072-9669.

4. Попов, В.П. Разработка технологии экструдированных кормов на основе отходов пищевой промышленности с охлаждением духкратно измельчаемого сырья [Текст] / В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов, С.В. Кишкилев // 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. – ISBN 978-5-4417-0161-7.

5. Антимонов, С.В. Оптимизация технологии экструдированных грубых кормов и добавок [Текст] / С.В. Антимонов, В.Г. Коротков, В.П. Попов, Е.В. Ганин, С.В. Кишкилев // 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 г. – С. 72-76 – ISBN 978-966-8736-05-6.

6. Тимофеева, Д.В. Разработка технологии экструдированных продуктов с учетом адгезионно-когезионных технологий [Текст] / Д.В. Тимофеева, В.П. Попов, Н.В. Белова, А.Г. Белов, Е.В. Ганин // Инновационные технологии в АПК: теория и практика: сборник статей Всероссийской научно-практической конференции / МНИЦ ПГСХА. – Пенза: РИО ПГСХА, 2013 - С. 75-177. – 978-5-94338-598-8.

7. Тимофеева, Д.В. Исследование процесса преобразования сыпучего материала в упруго-вязко-пластичный в канале шнека пресс-экструдера [Текст] / Д.В. Тимофеева, В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов // Бъдещие изследования: материали за 9-а международна практична конференция. Том 25. Сельско стопанство. Ветеринарна наука – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2013. – С.50-54. – ISBN 978-966-8736-05-6.

8. Тимофеева, Д.В. Оптимизация изменения агрегатного состояния сырья в процессе экструзии [Текст] / Д.В. Тимофеева, А.Г. Зинюхина, В.П. Попов, В.Г. Коротков, С.В. Антимонов // Вестник Оренбургского государственного университета. - 2013. - № 3. - С. 225-229. – ISBN 1814-6457.