

Применение шелухи фасоли при производстве экструдированных продуктов

Новикова О.А., Фролов Д.И.

Аннотация. В статье проведено исследование по определению влияния концентрации шелухи фасоли (побочного продукта промышленного шелушения фасоли) и параметров процесса экструзии на химический состав экструдатов, полученных с использованием экструдера. Определено, что концентрация шелухи фасоли в экструдатах может достигать 80%. Процесс экструзии привел к снижению содержания липидов, белка, пищевых волокон и их нерастворимой фракции, а также вызвал увеличение содержания растворимой фракции волокон. Эти изменения зависели от состава смеси, подвергаемой процессу экструзии, а также от следующих параметров процесса: температуры и влажности сырья.

Ключевые слова: фасоль, шелуха, экструзия, пищевые волокна, концентрация.

Для цитирования: Новикова О.А., Фролов Д.И. Применение шелухи фасоли при производстве экструдированных продуктов // Инновационная техника и технология. 2024. Т. 11. № 3. С. 37–42.

Use of bean husks in the production of extruded products

Novikova O.A., Frolov D.I.

Abstract. The article presents a study to determine the effect of bean husk concentration (a by-product of industrial bean husk processing) and extrusion process parameters on the chemical composition of extrudates obtained using an extruder. It was determined that the concentration of bean husk in extrudates can reach 80%. The extrusion process resulted in a decrease in the content of lipids, protein, dietary fiber, and their insoluble fraction, and also caused an increase in the content of the soluble fiber fraction. These changes depended on the composition of the mixture subjected to the extrusion process, as well as on the following process parameters: temperature and humidity of the raw materials.

Keywords: beans, husk, extrusion, dietary fiber, concentration.

For citation: Novikova O.A., Frolov D.I. Use of bean husks in the production of extruded products. Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]. 2024. Vol. 11. No. 3. pp. 37–42. (In Russ.).

Введение

Исследования в области питания, проводимые в течение многих лет, доказали, что пищевые волокна являются существенным и незаменимым компонентом пищи [1, 2]. Несмотря на подтвержденное благотворное влияние пищевых волокон на человека, их потребление по-прежнему ниже рекомендуемых. Многие технологии, применяемые при переработке зерновых, рассматривают этот пищевой компонент как бесполезный балласт, снижая функциональное и сенсорное качество продуктов. Высококачественная мука и другие зерновые продукты эффективно очищаются от шелухи, основного источника пищевых волокон [3]. Промышленное шелушение семян бобовых, применяемое для пи-

щевых целей, является еще одним примером снижения концентрации пищевых волокон в рационе.

Проведенные исследования возможности применения шелухи бобовых, показали, что этот продукт является ценным источником не только пищевых волокон, но и биологически активных соединений, в том числе фенольных, благоприятно влияющих на здоровье человека [4, 5]. Более ранние исследования доказали, что технология экструзии, имеющая много преимуществ (устраняет привкус, гарантирует микробиологическую чистоту, делает продукты привлекательными за счет формирования их правильной формы и улучшения их структуры), может быть применена при переработке шелухи фасоли с целью получения экструдатов с высоким содержанием диетических волокон [6, 7].

Целью данного исследования было определение влияния концентрации шелухи фасоли и параметров процесса экструзионной варки: температуры, влажности сырья, а также диаметра фильеры на химический состав экструдатов, полученных с использованием одношнекового экструдера.

Объекты и методы исследования

В качестве материала использовалась шелуха фасоли, полученная в ходе шелушения. В качестве основного зернового материала в исследовании использовалась кукурузная крупа.

Шелуха фасоли использовалась для экструзионной варки с зерновым компонентом (кукурузная крупа) в различных соотношениях (таблица 2). Для экструзии материал измельчался в универсальной

молотковой мельнице с использованием сит диаметром 3 мм. Смеси увлажнялись до рекомендуемой влажности и кондиционировались в течение 12 часов для обеспечения равномерной диффузии воды по всей массе. Приготовленные таким образом смеси подвергались экструзии с использованием экструдера ЭК-40. Параметры процесса экструзии (влажность сырья, температура экструзии, диаметр фильеры) и концентрация шелухи фасоли в смеси, подвергаемой экструзии (таблица 2), определялись на основании предыдущих исследований. Были выбраны только такие параметры, которые гарантировали стабильное протекание процесса экструзии и одновременно позволяли получать продукцию высокого качества.

В полученном сырье и экструдатах определяли содержание сырого протеина, сырого жира, золы,

Таблица 1 - Химический состав сырья (% с.в.)

Материал	Белок (N x 6,25)	Жир	Зола	Пищевые волокна (ПВ)	Нерастворимые пищевые волокна (НПВ)	Растворимые пищевые волокна (РВ)
Кукуруза	11,1	1	1,3	6,25	5,26	0,99
Шелуха фасоли	15,6	1,8	4,8	67,65	61,84	5,81

Таблица 2 – Модель экспериментов и химический состав экструдатов (% с.в.)

№	Содержание (%)		Содержание влаги (%)	Температура (°C)	Диаметр матрицы (мм)	Белок	Жир	Зола
	Кукуруза	Шелуха фасоли						
1	80	20	14	130/160/200/180/130	6	10,1	0,5	2,3
2	70	30	14	130/160/200/180/130	6	10,1	0,5	2,4
3	60	40	14	130/160/200/180/130	6	12,2	0,5	2,8
4	50	50	14	130/160/200/180/130	6	12,6	0,8	3,1
5	40	60	14	130/160/200/180/130	6	11,6	0,9	3,3
6	30	70	14	130/160/200/180/130	6	12,3	1	3,6
7	20	80	14	130/160/200/180/130	6	12,5	1,1	4
8	80	20	17	130/160/200/180/130	3,2	9,4	0,3	2,1
9	70	30	17	130/160/200/180/130	3,2	11	0,3	2,5
10	60	40	17	130/160/200/180/130	3,2	11,9	0,5	2,7
11	50	50	17	130/160/200/180/130	3,2	11,8	0,7	3
12	40	60	17	130/160/200/180/130	3,2	13,4	0,9	3,4
13	30	70	17	130/160/200/180/130	3,2	13,7	1	3,6
14	20	80	17	130/160/200/180/130	3,2	13,9	1,2	3,9
15	60	40	14	130/160/200/180/130	3,2	10,9	0,6	2,7
16	60	40	17	130/160/200/180/130	3,2	10,9	0,5	2,7
17	60	40	20	130/160/200/180/130	3,2	11,3	0,6	2,8
18	60	40	23	130/160/200/180/130	3,2	11,2	0,4	2,8
19	60	40	26	130/160/200/180/130	3,2	11,2	0,5	2,8
20	60	40	14	80/100/120/100/130	3,2	11,6	0,7	2,8
21	60	40	14	100/120/145/125/130	3,2	11,2	0,6	2,8
22	60	40	14	120/140/170/150/130	3,2	12,1	0,8	2,8
23	60	40	14	140/160/195/175/130	3,2	11,8	0,8	2,9
24	60	40	14	160/180/220/200/130	3,2	11,5	0,7	2,8

пищевых волокон (ПВ) (ГОСТ Р 57543-2017). Пищевые волокна определяли с их растворимой (РВ) и нерастворимой (НРВ) фракциями (ГОСТ Р 54014-2010).

Статистический анализ и регрессионный анализ проводились с использованием Microsoft Excel 2021 и Statistica 2010.

Результаты и их обсуждение

Содержание основных химических компонентов и пищевых волокон в сырье представлено в таблице 1. Полученные результаты показали, что побочный продукт, характеризуется более высокой концентрацией питательных веществ, чем кукурузная крупа, широко применяемая в производстве пищевых экструдатов. Содержание белка, жира, золы и пищевых волокон (ПВ) в шелухе фасоли было выше на 4,5%, 0,8%, 3,5% и 56,6% соответственно по сравнению с кукурузной крупой. Следует обратить внимание на высокое содержание белка в шелухе фасоли, источником которого являются фрагменты семядолей, переходящие в побочные продукты в процессе шелушения семян. Однако основным компонентом шелухе фасоли являются пищевые волокна. Шелуха фасоли состоит из фракций, которые можно разделить (с аналитической точки зрения) на растворимые (пектиновые вещества, большая часть гемицеллюлозы и часть полисахаридов) и нерастворимые (целлюлоза, лигнин и часть гемицеллюлозы). Проведенный анализ показал, что основную фракцию шелухи составляет нерастворимая, достигающая 91,3% от общего количества пищевых волокон. Данные, представленные в таблице 1, демонстрируют высокую диетическую ценность шелухи фасоли и свидетельствуют о необходимости ее использования в пищевых целях. В качестве сырья шелухи фасоли может быть использована для обогащения экструдатов на основе злаков такими компонентами, как белки, минеральные соединения и пищевые волокна.

Основной химический состав экструдатов на основе шелухи фасоли и кукурузной крупки при различных параметрах процесса экструзии представлен в таблице 2. Широкий диапазон концентрации шелухи фасоли (от 20% до 80%) в смеси с кукурузной крупкой привел к изменению химического состава экструдатов. Сравнивая химический состав сырья с полученными экструдатами, можно сделать вывод, что в условиях эксперимента процесс экструзии вызвал снижение содержания липидов, а также небольшое снижение содержания белка. В то время как содержание золы осталось на аналогичном уровне. Эти изменения, представленные на рисунке 1, были проиллюстрированы на примере образца, обработанного при следующих условиях: концентрация шелухи фасоли - 40%, концентрация кукурузной крупки - 60%, температура - 200°C, влажность сырья - 14%, диаметр фильеры - 6 мм. Уменьшение содержания жира в процессе экструзии

было подтверждено исследованиями многих авторов [1]. Это связано с образованием комплексов жира с другими соединениями, в основном с крахмалом и белком, что приводит к снижению его экстрагируемости неполярными растворителями. Полученные результаты показали, что комплексообразование жира сильно зависит от концентрации шелухи фасоли в смеси. В образцах с 20% добавлением шелухи фасоли степень комплексообразования жира составила 61,2%. Тогда как увеличение концентрации этого компонента с высоким содержанием пищевых волокон до 80% привело к снижению значения индекса до 27,5%. Степень комплексообразования жира во время экструзии зависит от содержания крахмала в перерабатываемом материале, что облегчает образование комплексов крахмал-липид. Полученные результаты, склоняют к аналогичным предположениям, поскольку вместе с увеличением концентрации компонента с высоким содержанием пищевых волокон содержание крахмала и степень комплексообразования липидов снижаются. Процесс экструзии также приводит к снижению содержания белка в перерабатываемом сырье (рисунок 1). Отмеченные изменения незначительны, однако они относятся ко всем проанализированным образцам.

На рисунке 2 показано влияние концентрации шелухи фасоли на содержание общего пищевого волокна, его нерастворимой и растворимой фракций в сырье. Увеличение концентрации шелухи фасоли с 20% до 80% в сырьевой смеси привело к сильно дифференцированному содержанию пищевых волокон в полученных экструдатах. Сравнивая содержание пищевого волокна и его фракций в сырье с таковыми в полученных экструдатах, следует отметить, что процесс экструзии вызвал увеличение растворимых пищевых волокон и одновременно уменьшение нерастворимых. Эта тенденция была постоянной во всей экспериментальной модели (рисунки 2, 3, 4).

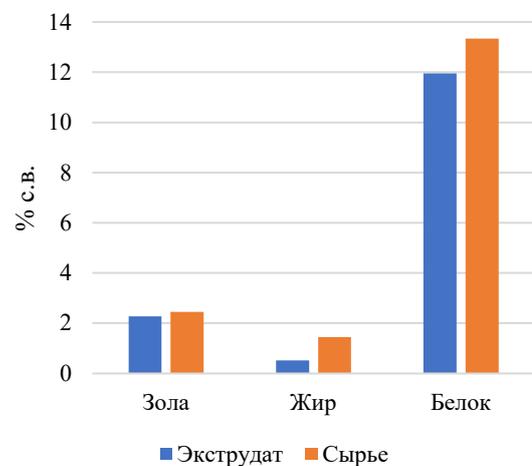


Рис. 1. Сравнение химического состава сырья и экструдата (40% шелухи фасоли и 60% кукурузной крупы, температура 200°C; влажность - 14%; диаметр фильеры - 6 мм).

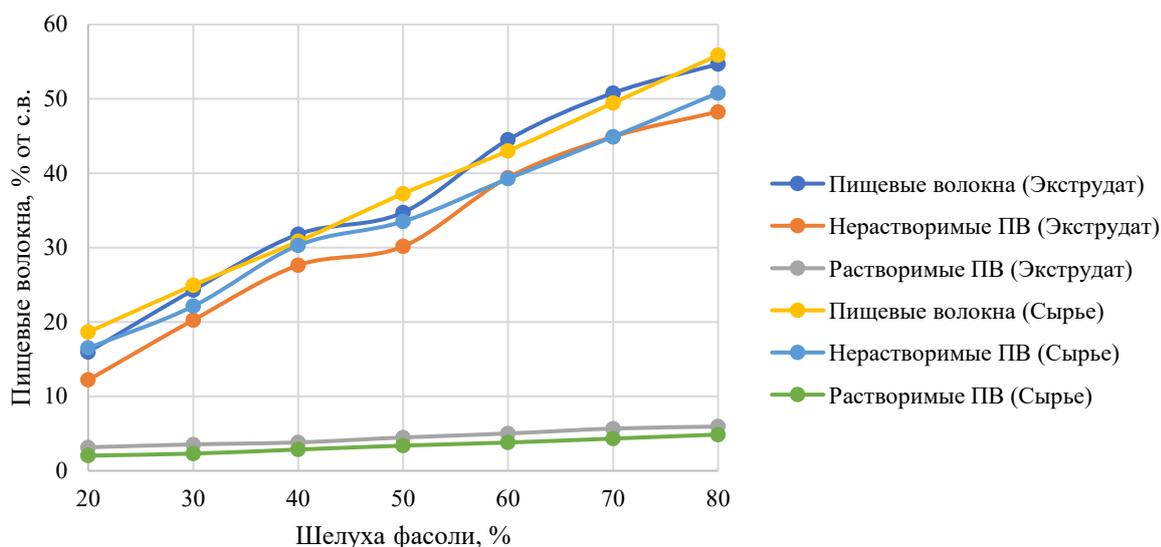


Рис. 2. Влияние концентрации шелухи фасоли на содержание общих пищевых волокон и их фракций (диаметр фильеры - 6 мм; температура - 200°C; влажность - 14%).

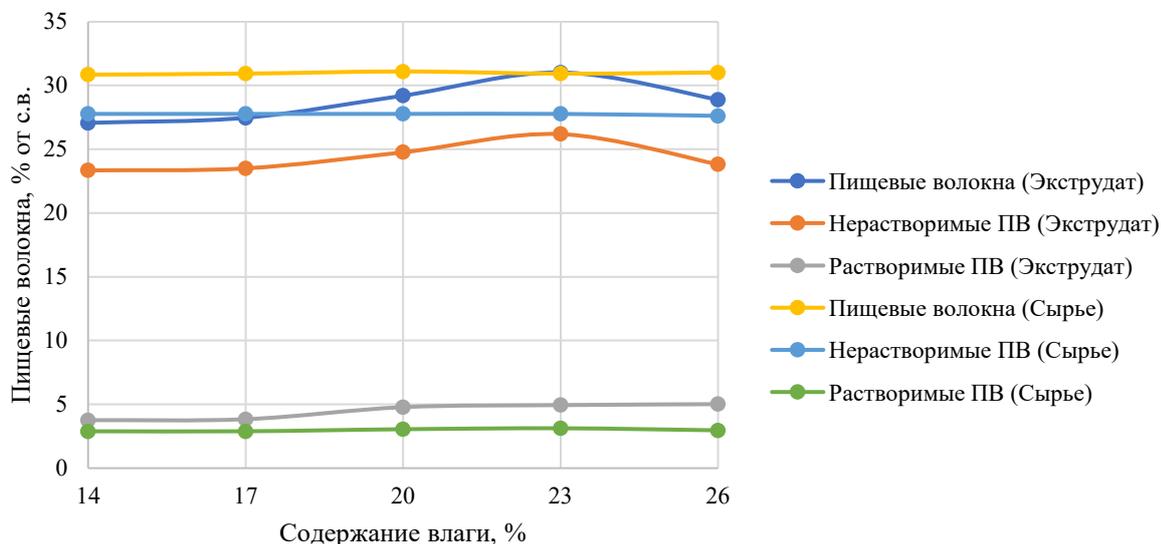


Рис. 3. Влияние влажности сырья на содержание общих пищевых волокон и их фракций (шелухи фасоли - 40%; темп. - 200°C; диаметр фильеры - 3,2 мм).

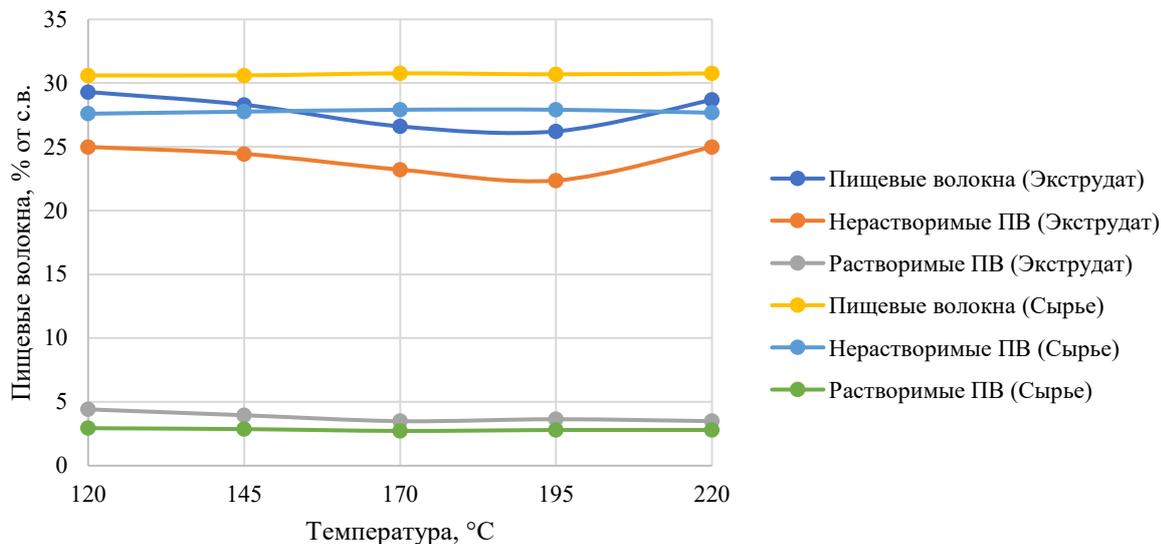


Рис. 4. Влияние температуры на содержание общих пищевых волокон (ПВ) и их фракций ПВ и НРВ (шелуха фасоли - 40%; диаметр матрицы - 3,2 мм; влажность - 14%).

Анализ влияния влажности сырья на содержание пищевых волокон показал, что вместе с увеличением влажности наблюдалось постоянное увеличение растворимых пищевых волокон. В то время как ПВ и НРВ достигли своих экстремумов при влажности, равной 23%, показывая типичную точку перегиба кривой (рисунок 3). При увеличении влажности с 14% до 23% изменения в обработанном материале кажутся наиболее интенсивными, что приводит к увеличению значений ПВ и НРВ. Однако, если сравнить эти результаты с кривыми ожидаемых значений, наиболее интенсивные изменения, вероятно, будут происходить при влажности 14% (при которой были зарегистрированы самые низкие значения ПВ и НРВ).

При анализе влияния температуры на содержание пищевых волокон типичная точка перегиба кривой наблюдалась при температуре 195°C (рисунок 4). С ростом температуры наблюдалось снижение значений ПВ и НРВ. Самые низкие значения были отмечены при температуре 195°C. При температуре 220°C снова наблюдался быстрый рост значений этих компонентов. Если эти результаты рассматривать в отношении кривых ожидаемых значений, можно наблюдать значительные изменения пищевых волокон с ростом температуры. При температурах выше 195°C, по-видимому, преобладает процесс образования резистентных структур (вероятнее всего, резистентного крахмала), а также наблюдается увеличение содержания фракций НРВ и ПВ.

Несмотря на широкий диапазон влажности и температуры, наблюдаемые изменения содержания

фракций пищевых волокон не были радикальными, что, несомненно, является следствием типа используемого экструдера.

Экструдер ЭК-40, применяемый в исследованиях, позволяет перерабатывать смеси с концентрацией шелухи фасоли от 20% до 80%. Опыты по введению более высоких концентраций шелухи фасоли оказались безуспешными. Низкая насыпная плотность, характеризующая сырье, влияет на низкую степень заполнения рабочего пространства внутри цилиндра экструдера. В результате перерабатываемый материал сгорает, а также наблюдается дестабилизация процесса экструзии.

Выводы

Шелуха фасоли, являющаяся побочным продуктом шелушения, может быть использована для обогащения зерновых экструдатов питательными веществами и пищевыми волокнами. Концентрация шелухи фасоли в экструдатах, полученных с использованием экструдера, может достигать 80%. Концентрацию питательных веществ и пищевых волокон в экструдатах можно изменять в значительной степени, применяя различные концентрации шелухи фасоли в сырьевой смеси (от 20% до 80%). Проанализированные параметры процесса экструзии, такие как: температура и влажность сырья, привели к снижению содержания пищевых волокон и их нерастворимой фракции, а также к увеличению содержания их растворимой фракции.

Литература

- [1] Евдокимова Е. Г., Андреева М. Г. Разработка рецептуры и технологии булочных изделий повышенной биологической ценности // Актуальные проблемы общественного питания. – 2018. – С. 44-45.
- [2] Никитин И. В., Иванов В. Ф. Разработка рецептуры и технологии булочных изделий повышенной биологической ценности // Актуальные проблемы общественного питания. – 2019. – С. 109-113.
- [3] Звягинцева В. В. Отруби злаковых культур как основной источник пищевых волокон в создании продуктов питания специального назначения // РОССИЙСКАЯ НАУКА: НАПРАВЛЕНИЯ, ИДЕИ, РЕЗУЛЬТАТЫ. – 2018. – С. 70-73.
- [4] Боков Д. О. и др. Пищевые волокна и заболевания желудочно-кишечного тракта // Вопросы питания. – 2015. – Т. 84. – №. S5. – С. 19-20.
- [5] Кобец Е. С., Арпуль О. В., Доценко В. Ф. Характеристика клетчатки пшеничной, как источника пищевых волокон // Вестник Алматинского технологического университета. – 2016. – №. 3. – С. 82-89.

References

- [1] Evdokimova E. G., Andreeva M. G. Development of recipes and technology for bakery products with increased biological value // Current issues of public catering. - 2018. - P. 44-45.
- [2] Nikitin I. V., Ivanov V. F. Development of recipes and technology for bakery products with increased biological value // Current issues of public catering. - 2019. - P. 109-113.
- [3] Zvyagintseva V. V. Bran of cereal crops as the main source of dietary fiber in the creation of special-purpose food products // RUSSIAN SCIENCE: DIRECTIONS, IDEAS, RESULTS. - 2018. - P. 70-73.
- [4] Bokov D. O. et al. Dietary fiber and diseases of the gastrointestinal tract // Nutrition issues. – 2015. – Vol. 84. – No. S5. – P. 19-20.
- [5] Kobets E. S., Arpul O. V., Dotsenko V. F. Characteristics of wheat fiber as a source of dietary fiber // Bulletin of Almaty Technological University. – 2016. – No. 3. – P. 82-89.
- [6] Alonso R. et al. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2000. – Vol. 80. – No. 3. – P. 397-403.

- [6] Alonso R. et al. Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins //Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2000. – Т. 80. – №. 3. – С. 397-403.
- [7] Natabirwa H. et al. Physico-chemical properties and extrusion behaviour of selected common bean varieties //Journal of the Science of Food and Agriculture. – 2018. – Т. 98. – №. 4. – С. 1492-1501.

Сведения об авторах

Information about the authors

<p>Новикова Ольга Анатольевна аспирант кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>	<p>Novikova Olga Anatolievna upostgraduate student of the department «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 914-73-00 E-mail: ms.varlos@mail.ru</p>
<p>Фролов Дмитрий Иванович кандидат технических наук доцент кафедры «Пищевые производства» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный технологический университет» 440039, г. Пенза, проезд Байдукова/ул. Гагарина, 1а/11 Тел.: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>	<p>Frolov Dmitriy Ivanovich PhD in Technical Sciences associate professor at the department of «Food productions» Penza State Technological University Phone: +7(937) 408-35-28 E-mail: surr@bk.ru</p>