

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Оренбургский государственный университет»

В. В. Ваншин

ЭКСТРУЗИОННАЯ ОБРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Учебное пособие

Рекомендовано ученым советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья



Оренбург
2021

УДК 664.6/7(076.5)
ББК 36я7
В 17

Рецензент – доцент, кандидат технических наук Н.П. Владимиров

Ваншин, В. В.
В 17 Экструзионная обработка растительного сырья : учебное пособие /
В. В. Ваншин ; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2021. –
108 с.
ISBN 978-5-7410-2609-0

В учебном пособии представлен материал по технологии экструдированных продуктов из растительного сырья. Рассмотрены вопросы классификации сырья и экструдированных продуктов, способы экструдирования и процессы, протекающие при экструзионной обработке растительного сырья. Отдельно описана конструкция и классификация экструдеров, используемых в пищевой промышленности.

Учебное пособие предназначено для обучающихся по образовательной программе высшего образования по направлению подготовки 19.03.02 Продукты питания из растительного сырья, а также для студентов и аспирантов вузов пищевого профиля.

УДК 664.6 (076.5)
ББК 36я7

ISBN 978-5-7410-2609-0

© Ваншин В. В., 2021
© ОГУ, 2021

Содержание

Введение	5
1 Основы теории и краткий обзор техники и технологии процесса экструзии	8
1.1 Понятие об экструзии и способах экструдирования растительного сырья..	8
1.2 Область применения экструдеров в пищевых производствах.....	14
1.3 Типы экструдеров, их классификация и характеристика.....	16
1.4 Технологическое оборудование для экструзионной обработки сырья растительного происхождения.....	26
2 Классификация, состав и свойства сырья, используемого для производства экструдированных продуктов	43
2.1 Классификация зернового сырья	43
2.2 Общая характеристика круп.....	48
2.3 Нетрадиционные сырьевые источники	52
2.4 Основные компоненты сырья и их функциональные свойства.....	53
3 Классификация и характеристика экструдированных продуктов питания из растительного сырья	57
3.1 Классификация экструдированных продуктов	57
3.2 Характеристика экструдированных продуктов питания.....	61
4 Трансформация основных компонентов экструдированного сырья в процессе экструзии	69
4.1 Физико-химические изменения в пищевых продуктах при экструдировании.....	69
4.2 Механизм и основные концепции формирования структуры экструдатов	74
4.3 Факторы, влияющие на процесс экструзии	78
5 Методы оценки качества экструдированных продуктов и процесса экструзии	79
5.1 Органолептическая оценка качества экструдатов	79
5.2 Физико-химические показатели экструдированных продуктов.....	82
5.3 Удельный расход энергии на проведение процесса экструдирования	85

6 Технологии экструдированных продуктов.....	87
6.1 Производство кукурузных хлопьев с использованием экструзии	87
6.2 Производство крупяных и хлебных палочек.....	89
6.3 Производство хлебных крекеров	95
6.4 Производство чипсов путем экструзии.....	97
6.5 Производство круп повышенной питательной ценности и оценка их качества.....	99
6.6 Производство гороховых гренков и готовых завтраков	104
Список использованных источников	106
Приложение А (обязательное) Творческие задания	108

Введение

Уникальность экструзионной обработки растительного сырья заключается в том, что весь технологический процесс осуществляется с использованием всего одной машины – экструдера. Поэтому экономический эффект от использования экструдера формируется в первую очередь тем, что использование экструдера позволяет выполнить несколько операций и процессов, которые обычно выполняются несколькими машинами. Использование экструдера позволяет сделать процесс производства непрерывным, а возможность изменения режимов обработки сырья делают его универсальным как для обрабатываемого сырья, так и для получаемых продуктов.

Экструзионная обработка растительного сырья – это экологически безопасный способ обработки, позволяющий получить комбинированные продукты с заданной питательной ценностью и функциональными свойствами. Учитывая, что экструзионная обработка может осуществляться при различных режимах, ее с успехом можно применять при создании комбинированных продуктов, обогащая их белком, витаминами, микроэлементами и функциональными добавками. Кратковременность экструзионной обработки позволяет максимально сохранить термонеустойчивые элементы (витамины, белки), но позволяет при этом провести разрушение антипитательных веществ, которые снижают питательность готовых продуктов. Стерилизация сырья в процессе экструзионной обработки способствует повышению санитарного состояния и увеличению сроков хранения готовых изделий и уничтожению микрофлоры, вызывающих их порчу.

Ассортимент продукции, получаемой с помощью экструзии, достаточно большой – это готовые к употреблению продукты, не требующие дополнительной кулинарной обработки и полуфабрикаты, которые необходимо перед использованием обработать.

В настоящее время наибольший удельный вес готовых к употреблению экструдированных продуктов занимают сухие завтраки, используемые для

быстрого и легкого перекуса. Для повышения их питательности и энергетической ценности сухие завтраки выпускают с различными высокоэнергетическими добавками, которые, как правило, снижают срок их хранения из-за своей нестабильности. Основу таких добавок составляют жиры, которые быстро прогоркают и вызывают неприятный запах и вкус.

Более длительными сроками хранения обладают полуфабрикаты, которые получают в режиме теплой экструзии, а затем высушивают до влажности ниже критической, которая препятствует развитию процессов порчи. Достоинствами таких полуфабрикатов является не только длительный срок хранения, который может составлять до 1,5 лет, но и высокая транспортабельность по сравнению с изделиями, полученными с помощью горячей экструзии, которые имеют нежную вспененную структуру, поэтому их транспортировка экономически невыгодна. Для доведения до готовности полуфабрикаты подвергают температурной обработке в горячей среде (радиация, воздух, масло) в течение короткого времени от 5 до 30 секунд. При такой обработке полуфабрикаты, имеющие первоначально плотную структуру, приобретают нежную пористую структуру и определенные вкусовые свойства. Для повышения питательности и улучшения вкусовых свойств экструдированные продукты дражжируют или подвергают глазированию. В настоящее время наибольшим спросом на потребительском рынке пользуются такие виды экструдированных продуктов, полученных с помощью горячей и теплой экструзии, как хлопья, крупяные палочки, сухарики, подушечки и палочки с различным начинками, крекеры, чипсы, шарики с начинкой, глазированные и дражжированные экструдированные продукты, хлебцы, высокобелковые батончики. Ассортимент сырья, используемого для получения экструдированных продуктов, постоянно растет, что в свою очередь вызывает появление новых экструдированных продуктов с новыми вкусовыми и функциональными свойствами. Настоящее учебное пособие призвано оказать помощь студентам в формировании компетенций для решения профессиональных задач, связанных с организацией производства экструдированных продуктов. В пособие изложены основы теории и краткий обзор техники и технологии

процесса экструзии. Описаны особенности работы экструдера и изменения, происходящие в сырье в процессе экструзионной обработки [1, 2, 3].

Представленный в пособии учебный материал предусмотрен требованиями федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования и направлен на формирование соответствующих профессиональных компетенций.

1 Основы теории и краткий обзор техники и технологии процесса экструзии

1.1 Понятие об экструзии и способах экструдирования растительного сырья

Слово «**экструдер**» образовано из латинских слов «**ex**» – вон и «**trudere**» – выпихивать.

Экструзия – это процесс переработки продуктов в экструдере путем размягчения или пластификации и придания им формы продавливанием через экструзионную головку, сечение которой соответствует конфигурации изделия.

В процессе экструзионной обработки под действием значительных скоростей сдвига, высокой температуры и давления происходит переход механической энергии в тепловую (**диссипация**), что ведет к различным по глубине изменениям основных компонентов перерабатываемого сырья. Это клейстеризация крахмала, денатурация белка, разрушение витаминов, ферментов, антипитательных веществ и ряд других биохимических изменений. Глубина и характер изменений и их влияние на качественные показатели получаемой продукции зависят от режима процесса экструзии и его длительности. Необходимо отметить, что процесс экструдирования всегда сопровождается сбросом давления и температуры, а также снижением влажности продукта (даже в случае холодной экструзии).

В научной и специальной литературе при классификации режимов обработки пищевого сырья принято выделять три основных способа экструдирования:

- Холодная экструзия – этот способ обработки протекает при влажности сырья от 30 до 60 % и температуре процесса до 70 °С. При таких параметрах в обрабатываемом сырье возможны только механические изменения в следствие медленного его перемещения под давлением и формования с образованием за-

данных форм. Холодная экструзия позволяет так уплотнить продукт, что после формования и релаксации он сохраняет заданную форму, при этом не происходит физико-химических изменений основных компонентов обрабатываемого сырья.

В связи с этим холодная экструзия широко используется для формования кондитерских масс при изготовлении разного рода конфет, батончиков, кондитерских изделий, жевательной резинки, тестовых заготовок хлебных палочек, а также для приготовления заготовок сухих завтраков с последующей их тепловой обработкой.

Но наиболее широкое применение холодная экструзия получила в производстве макаронных изделий. Первые шнековые макаронные прессы стали использовать для непрерывного процесса прессования макаронных изделий с 30-х годов прошлого столетия, и в настоящее время повсеместно, начиная с мини-цехов и кончая крупными макаронными фабриками, шнековые макаронные прессы используют для формования макаронных изделий;

- Теплая экструзия – этот процесс обработки протекает при влажности сырья от 20 до 30 % и при температуре от 70 °С до 100 °С. Более высокая температура обработки наряду с механическими воздействиями способствует более глубоким воздействиям на продукт. В результате теплового воздействия экструдат приобретает ячеистую менее плотную структуру, отличающуюся небольшой плотностью, и несколько увеличивается в объеме. Получаемый при этом продукт является полуфабрикатом, который для сохранения качественных показателей требует охлаждения или высушивания. Низкая влажность позволяет длительное время сохранять качественные показатели полуфабриката вспученных экструдатов. Вспученную (пенообразную) структуру такие полуфабрикаты приобретают после дополнительной кулинарной обработки.

С помощью теплой экструзии получают полуфабрикаты, из которых в дальнейшем производят такие экструдированные продукты как чипсы, крекеры, хлопья. Для получения таких полуфабрикатов в качестве основного исход-

ного сырья используют картофельную муку, крахмал, крупку, хлопья, рисовый, пшеничный крахмал, различные виды круп и другое крахмалсодержащее сырье.

Экструдированные полуфабрикаты сухих завтраков представляют собой изделия, отформованные в виде лапши, фигурных изделий различных форматов, высушенные до влажности 8-12 %. В таком виде полуфабрикаты имеют большую плотность, прочность и могут храниться в течение длительного времени без потери качества. Для приготовления из них вспученных (экспандированных) сухих завтраков с нежной, хрустящей, пенообразной структурой, подобной структуре сухого печенья крекер (поэтому подобные сухие завтраки также называют крекерами), достаточно погрузить их на 10-20 с в нагретое от 170 до 190 °С растительное масло – во фритюр.

- Горячая (варочная) экструзия протекает при влажности обрабатываемого сырья от 10 до 20 % и температуре экструдирования более 100 °С. Процесс достаточно динамичный, так как протекает при высоких скоростях и давлениях. Такие режимы обработки способствуют значительному переходу механической энергии в тепловую, что приводит к различным по глубине изменениям в качественных показателях продукта. Также при проведении горячего экструдирования может применяться регулируемый подвод тепла как непосредственно в продукт, так и через наружные стенки экструдера. Экструдированные продукты, получаемые в результате горячей экструзии, не требуют перед употреблением дополнительной кулинарной обработки. Связано это с тем, что высокая температура и высокое давление, а также механическое воздействие на сырье позволяет превратить его в готовый к употреблению продукт. Механизм этого превращения будет рассмотрен нами далее.

Традиционный процесс приготовления готовой к употреблению пищи в общем случае включает в себя такие операции как измельчение и смешивание различных компонентов, тепловую обработку, варку, формование, транспортировку из аппарата в аппарат. Процесс получения продуктов при этом достаточно энергонасыщен, так как в него вовлечено достаточно большое количество оборудования.

Использование экструзионной обработки позволяет оптимизировать процесс обработки сырья и получения готового к употреблению продукта, так как все технологические операции осуществляются в одном аппарате.

В процессе экструзионной обработки растительное сырье подается в зону загрузки экструдера (рисунок 1.1).

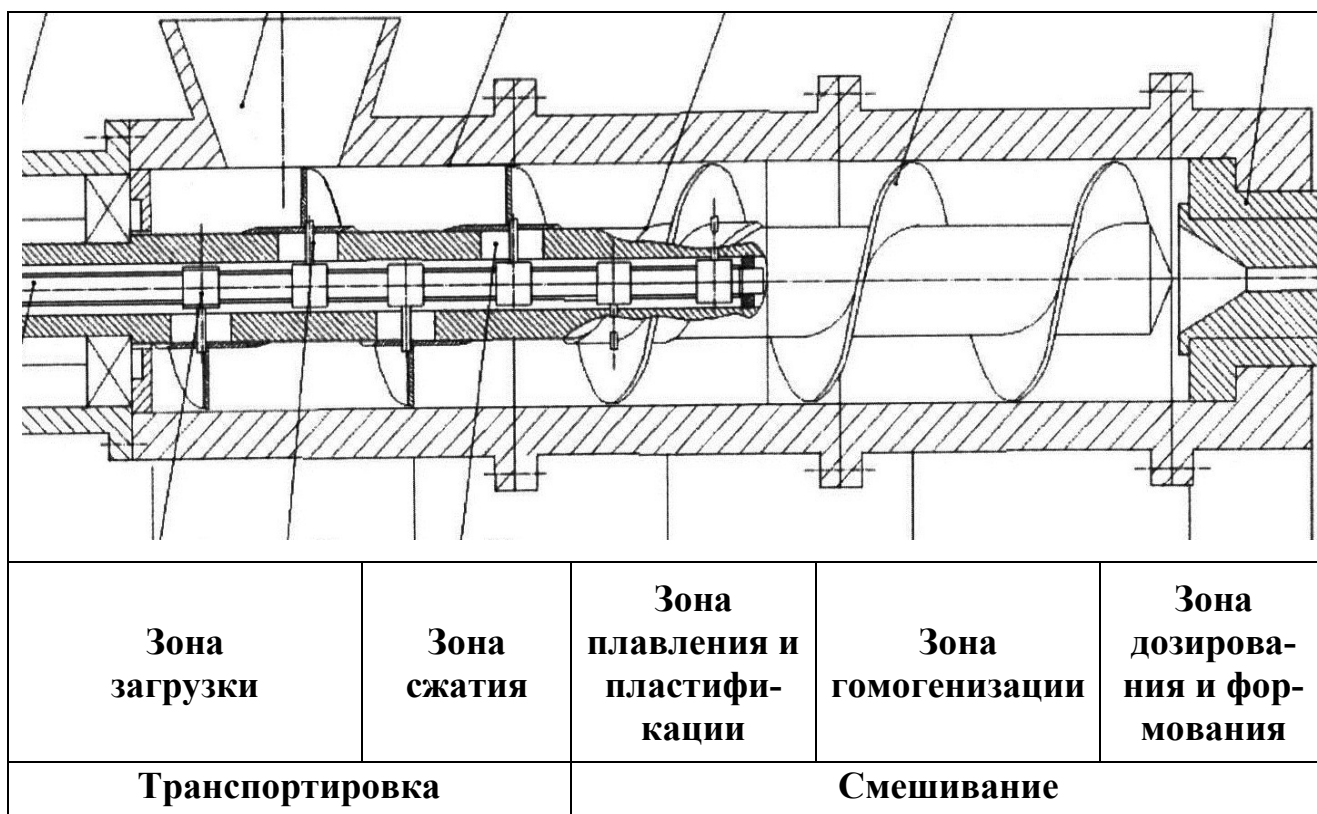


Рисунок 1.1 – Технологические зоны, выделяемые вдоль шнека экструдера при экструзионной обработке сырья

Внутри загрузочной зоны сырье попадает в замкнутое пространство между вращающимся шнеком и неподвижной шнековой камерой. Перемещение сырья внутри шнековой камеры обусловлено воздействием на него сил трения. Обрабатываемое сырье захватывается шнеком и за счет витков шнека движется по сложной траектории. В процессе движения происходит постепенное заполнение витков шнека, и сырье уплотняется. Трение сырья о шнек и шнековую камеру вызывает его разогрев и образование расплава и его гомогени-

низацию. Там, где твердая фаза сырья заканчивается, начинается зона плавления и пластификации. В процессе плавления происходит гомогенизация расплава, который становится однородным. Таким образом, сырье, которое при поступлении в экструдер имело дисперсную сыпучую консистенцию, переходит в состояние упруго-вязкопластичной массы (гель). Такая консистенция характерна для крахмальных клейстеров высоких концентраций и денатурированных белков. Из зоны гомогенизации расплав сырья подается в зону дозирования, где увеличивается степень его сжатия, так как основная роль этой зоны – продавливание и формование расплава. Давление, возникающее в этой зоне дозирования, определяется отношением площади рабочего канала к суммарной площади фильер на выходе из профилирующей матрицы. Следует отметить, что в процессе экструзионной обработки происходит дегазация, и из обрабатываемого сырья удаляется воздух и другие газообразные включения.

Часть сжатого продукта формируется, поступая в зону формования и выходя из экструдера через формирующее отверстие (фильеру). А та часть продукта, которая не успевает выйти через фильеру, разворачивается и движется в направлении, обратном движению основного продукта. Противоток обратно движущегося сырья происходит в зазоре между витками шнека и корпусом шнековой камеры. Такое противоточное движение способствует повышению температуры экструдирования вследствие возникновения диссипации и перехода внутренней энергии трения в тепловую энергию. Зазор между витком шнека и корпусом шнековой камеры составляет в норме 0,001 диаметра шнека. При увеличении зазора от норматива в четыре раза утечка продукта возрастает до 1 % от скорости внутреннего течения [2, 3, 4, 5].

Выходящее из формирующего отверстия экструдера сырье изменяет свою структуру и состав в результате изменяющихся условий формования. Резкий сброс температуры и давления вызывает мгновенное испарение влаги из продукта, равное скорости взрыва ($1,2 \times 10^{-4}$ с). Продукт, выходящий из фильеры, экспандирует и увеличивается в объеме (рисунок 1.2).

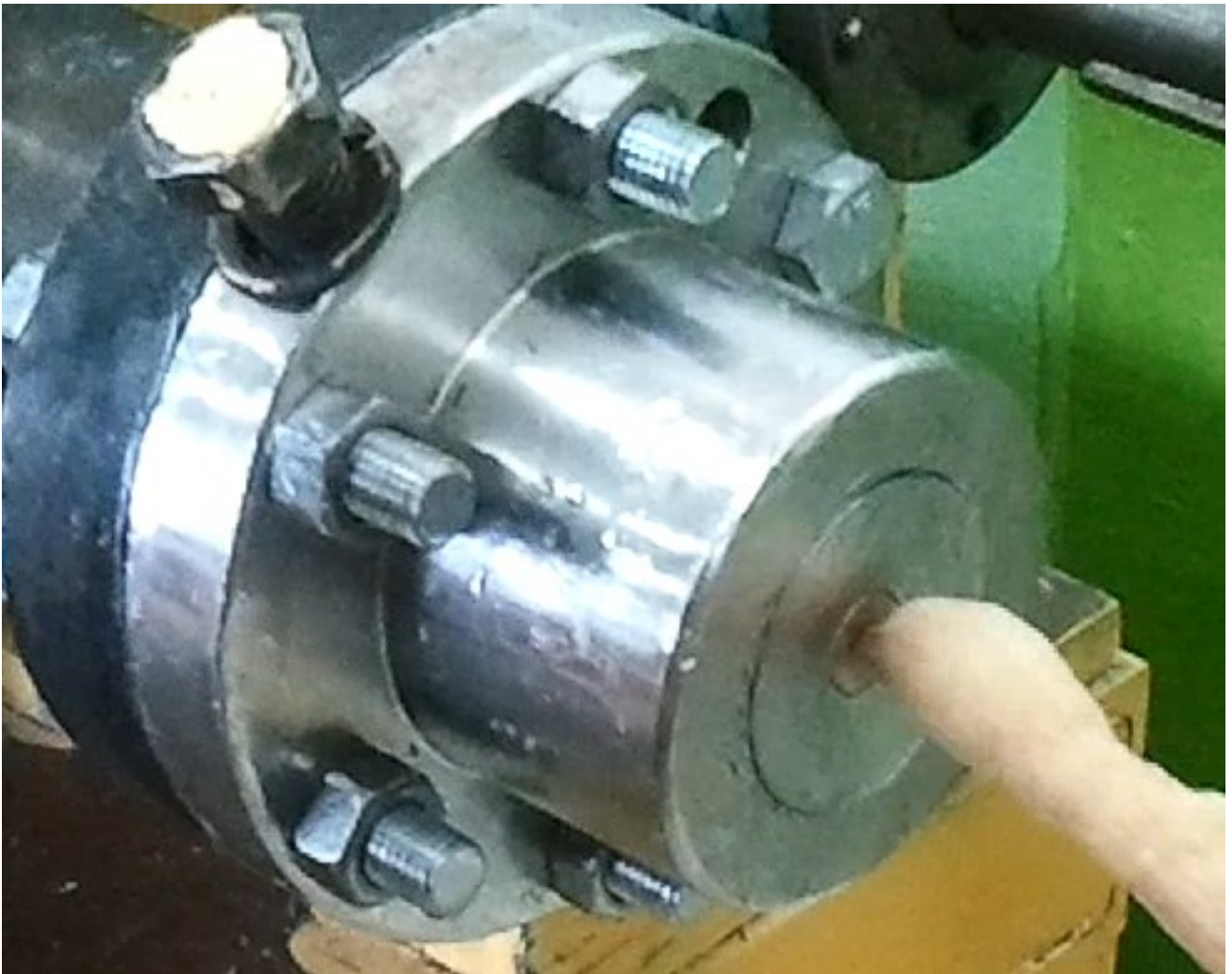


Рисунок 1.2 – Экспандирование экструдата на выходе из фильеры

Такое превращение происходит при действии на сырье с содержанием влаги до 20 % высоких температур (до 200 градусов) и давления (до 25 МПа). Продукт нагревается в результате перехода механической энергии рабочих органов машины в тепловую (продукт уплотняется, прогревается за счет сил трения частиц о поверхности рабочих органов и деформации сдвига в самом продукте). Образующаяся масса перемещается шнеком к матрице и при определенном давлении выпрессовывается через ее отверстия. Образующийся при испарении влаги пар вызывает разрыв клеточных стенок и способствует образованию пор и увеличению объема продукта (рисунок 1.3). Резкое снижение температуры продукта до температуры окружающей среды обеспечивает затверде-

ванию крахмала и фиксирует альвеолярную структуру, образовавшуюся под действием пара.



Рисунок 1.3 – Структура продукта после экструзионной обработки

Структура продуктов, получаемых в результате экструзионной обработки сырья, может изменяться в зависимости от состава обрабатываемого сырья и режимов его обработки.

1.2 Область применения экструдеров в пищевых производствах

Широкое применение экструдеров для обработки растительного сырья обусловлено преимуществами формования выдавливанием, по сравнению с другими способами, большой производительностью и непрерывность процесса,

что создает благоприятные условия для создания комплекса механизированных линий и автоматизации процесса. Кроме этого применение в конструкции экструдера матриц создает условия для выпуска большого ассортимента продукции.

В настоящее время экструдирование широко применяется в крахмалопаточной, масложэкстракционной, макаронной, мясной, молочной, пищекоцентричной и комбикормовой отраслях пищевой промышленности. С использованием экструдеров получают такие продукты как:

- пельмени;
- кукурузные палочки;
- подушечки и трубочки с начинкой;
- хрустящие хлебцы и соломка;
- фигурные сухие завтраки;
- хлопья кукурузные и из других злаков;
- быстрозавариваемые каши;
- детское питание;
- фигурные чипсы;
- экструзионные сухарики;
- мелкий шарик из риса, кукурузы, гречи, пшеницы, для наполнения и обсыпки шоколадных изделий, мороженого и других кондитерских изделий;
- пищевые отруби;
- набухающая мука, панировка;
- продукты вторичной переработки хлеба;
- соевые продукты: соевый текстурат, концентрат, кусковые соевые продукты;
- продукты переработки отходов животноводства;
- модифицированный крахмал;
- реагент на основе крахмала, применяемый в нефте- и газодобыче;
- строительные крахмалсодержащие смеси;
- основы для клеев;

- растительное масло;
- хлебцы и хлебные заготовки;
- кондитерские изделия (жевательную резинку, печенья, конфеты, шоколад);
- сухие супы, соусы, сухие смеси для напитков и приправ;
- текстурированные растительные протеины;
- корма и ингредиенты для кормления домашних животных, птиц, рыб.

Ассортимент производимых экструдированных продуктов постоянно растет как в нашей стране, так и за рубежом. Это обусловлено появлением новых видов сырья и появлением новых технологий с использованием экструзионной обработки. Перспективность применения экструдирования при производстве продуктов питания обусловлена возможностью получения комбинированных продуктов с заранее сформированными функциональными способностями. Такая возможность позволяет получать продукты для диетического и специального питания. Получаемые с помощью экструдирования продукты питания обладают не только заданной питательной ценностью, но и в большей части не требуют дополнительной кулинарной обработки, так как уже готовы к употреблению, что особенно важно при дефиците времени. Можно сказать, что за экструзионной обработкой будущее, учитывая, что она проникла практически во все основные отрасли пищевой промышленности.

1.3 Типы экструдеров, их классификация и характеристика

Экструдер – это основная технологическая машина, используемая для производства экструдированных продуктов, основным достоинством которой является то, что в ней возможно непрерывно осуществлять выполнение различных процессов обработки сырья. Такая универсальность позволяет заменить экструдером целую систему механизмов и машин.

Основными элементами экструдера являются корпус, нагнетающий рабочий орган (шнек, диск, поршень), формующая матрица, узел загрузки.

В основу классификации экструдера заложен тип основного рабочего органа, с учетом этого выделяют:

- одно- и двухшнековые, многошнековые;
- дисковые;
- поршневые валковые;
- винтовые;
- шестеренчатые;
- комбинированные.

По частоте вращения рабочего органа экструдеры делят на нормальные и быстроходные; по конструктивному исполнению – стационарные, с вращающимся корпусом (рисунок 1.4).

По способу подвода тепла к сырью выделяют следующие типы экструдеров:

- автогенные экструдеры – это машины, в которых тепло необходимо для термической обработки растительного сырья. Генерирование тепла протекает непосредственно в камере экструдера только за счет диссипации механической энергии, что обеспечивает повышение температуры от 120 до 200 °С и более.

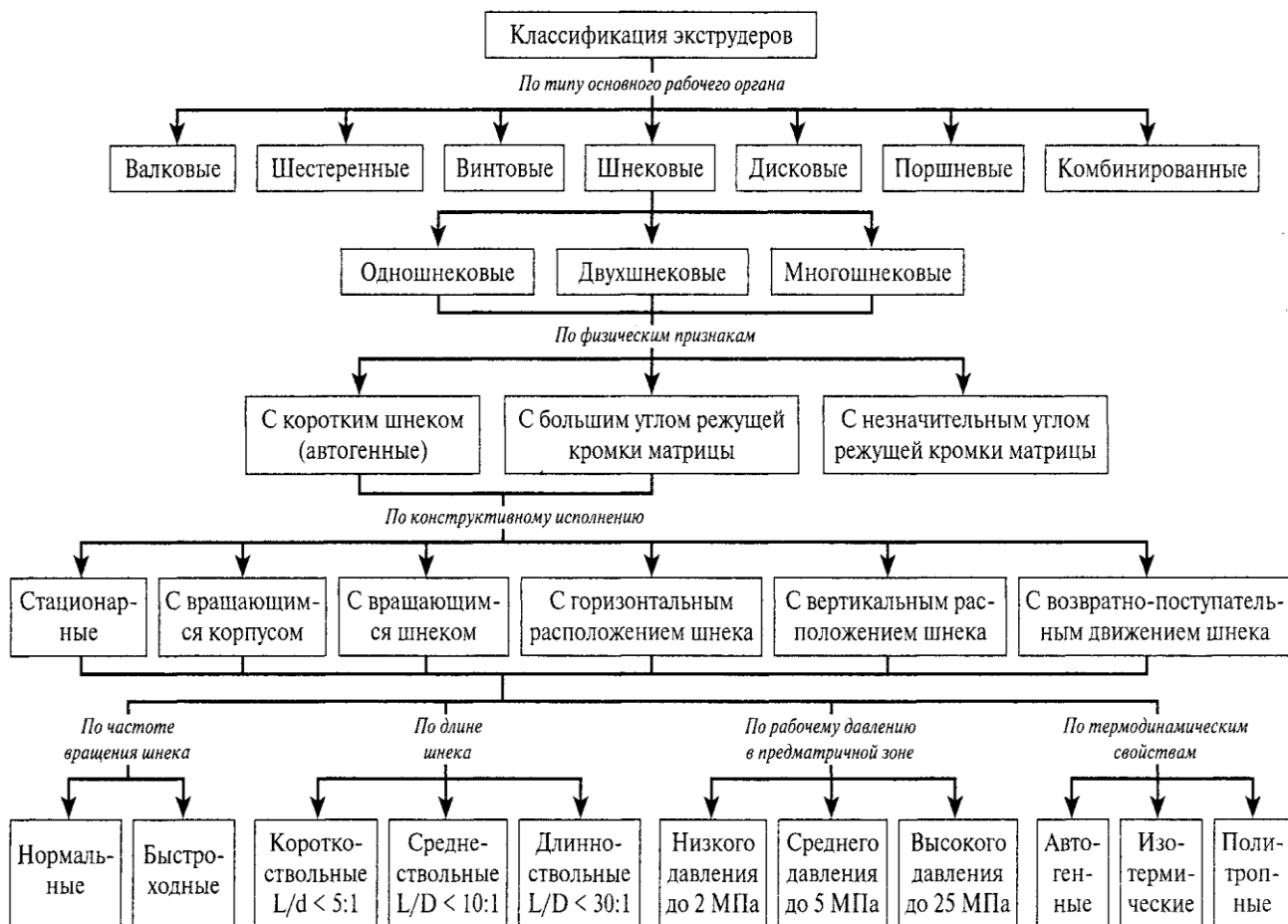


Рисунок 1.4 – Классификация экструдеров по конструкции

- политропные экструдеры осуществляют процесс термической обработки материала как за счет внутреннего разогрева массы, так и с помощью внешних источников тепла. Внутренний разогрев экструдеров осуществляется за счет конструкции шнеков, которые предварительно разогревают перед обработкой сырья (рисунок 1.5).

Существует три метода внешнего нагрева экструдера: электрический, жидкостный и паровой. По такому же принципу разогревают и корпус экструдера до необходимой температуры.

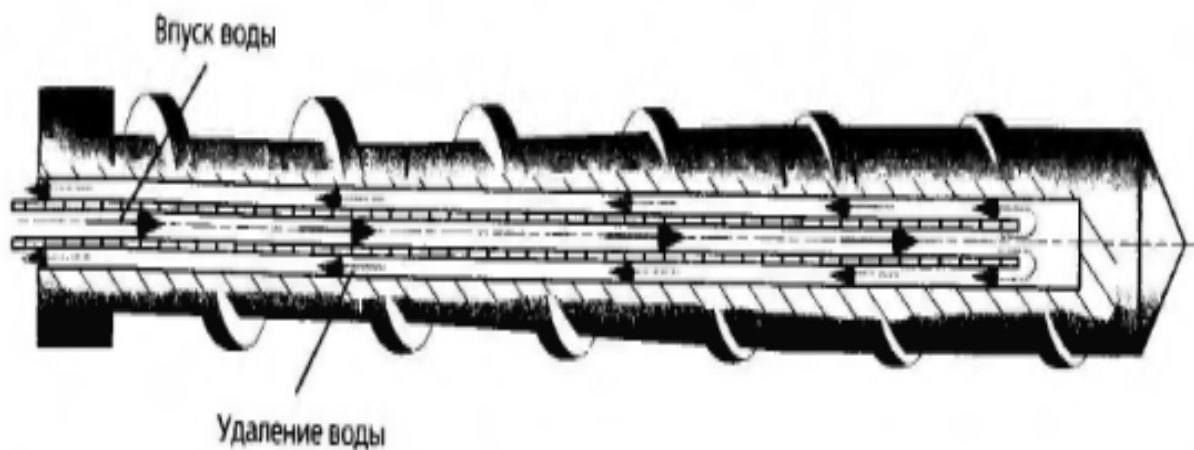
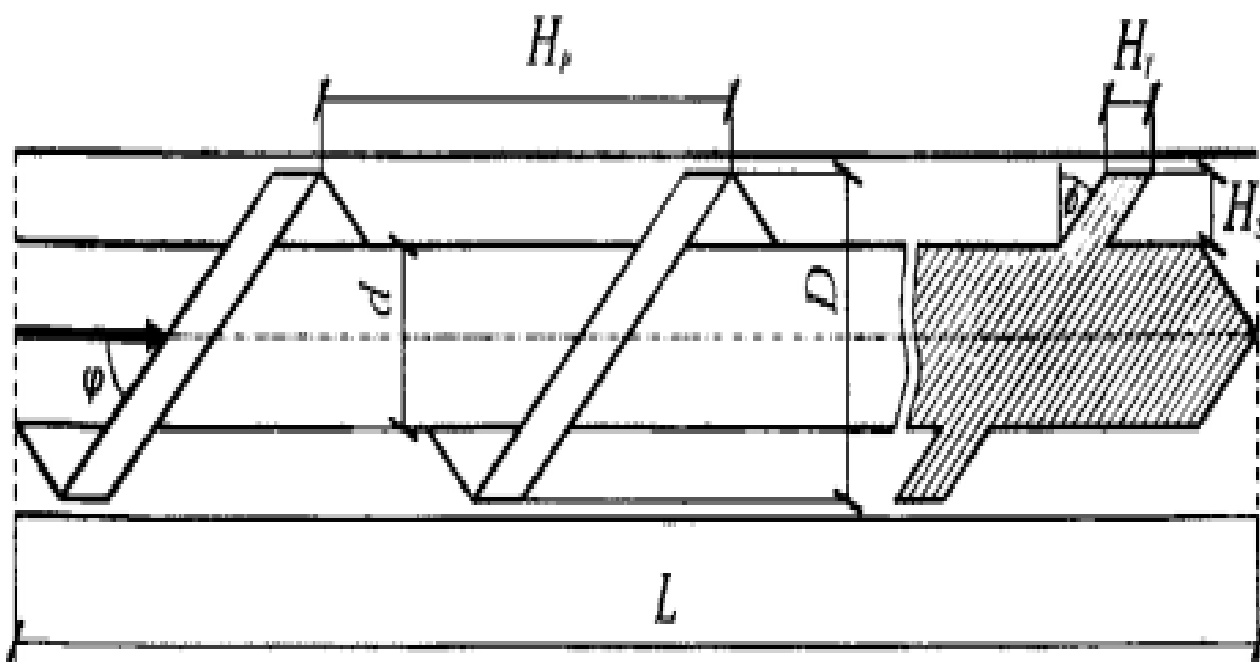


Рисунок 1.5 – Система охлаждения шнека экструдера

- изотермические экструдеры работают при невысоких температурах, так как это позволяет максимально сохранить функциональные свойства обрабатываемого сырья. Изотермические экструдеры в основном применяют для формирования макаронных, кондитерских изделий и хлебного теста. В них температура процесса контролируется за счет охлаждения элементов экструдера внешним теплообменником.

В настоящее время как в нашей стране так и за рубежом одним из наиболее универсальных типов экструдеров, которые широко используются во многих отраслях пищевой промышленности, является шнековый. Шнековые экструдеры подразделяются на одно- и многошнековые. Основным рабочим органом шнекового экструдера является шнек, конструктивные характеристики которого представлены на рисунке 1.6. Основные показатели, которые характеризуют шнек экструдера – это внешний диаметр шнека по винтовой нарезке, диаметр вала шнека, длина шнека, шаг винтовой нарезки шнека, осевая толщина винтовой нарезки, высота вершины винтовой нарезки. Все эти характеристики могут изменяться в зависимости от задач, для которых планируется использовать шнек.



D – внешний диаметр шнека по винтовой нарезке; d – диаметр вала шнека;
 L – длина шнека; H_p – шаг винтовой нарезки шнека; H_t – осевая толщина
винтовой нарезки; H_s – высота вершины винтовой нарезки

Рисунок 1.6 – Конструкционные и геометрические характеристики шнека
экструдера

Как показано на рисунке 1.7, шнеки экструдеров довольно разнообразны по конструкции и размерам. Шнеки экструдеров имеют постоянную и переменную площадь сечения, с постоянным и изменяющимся шагом. Вслед за формой шнека изменяется и форма корпуса экструдера и конструкция матрицы. Все эти конструктивные особенности экструдера обусловлены параметрами обработки и свойствами обрабатываемого сырья.

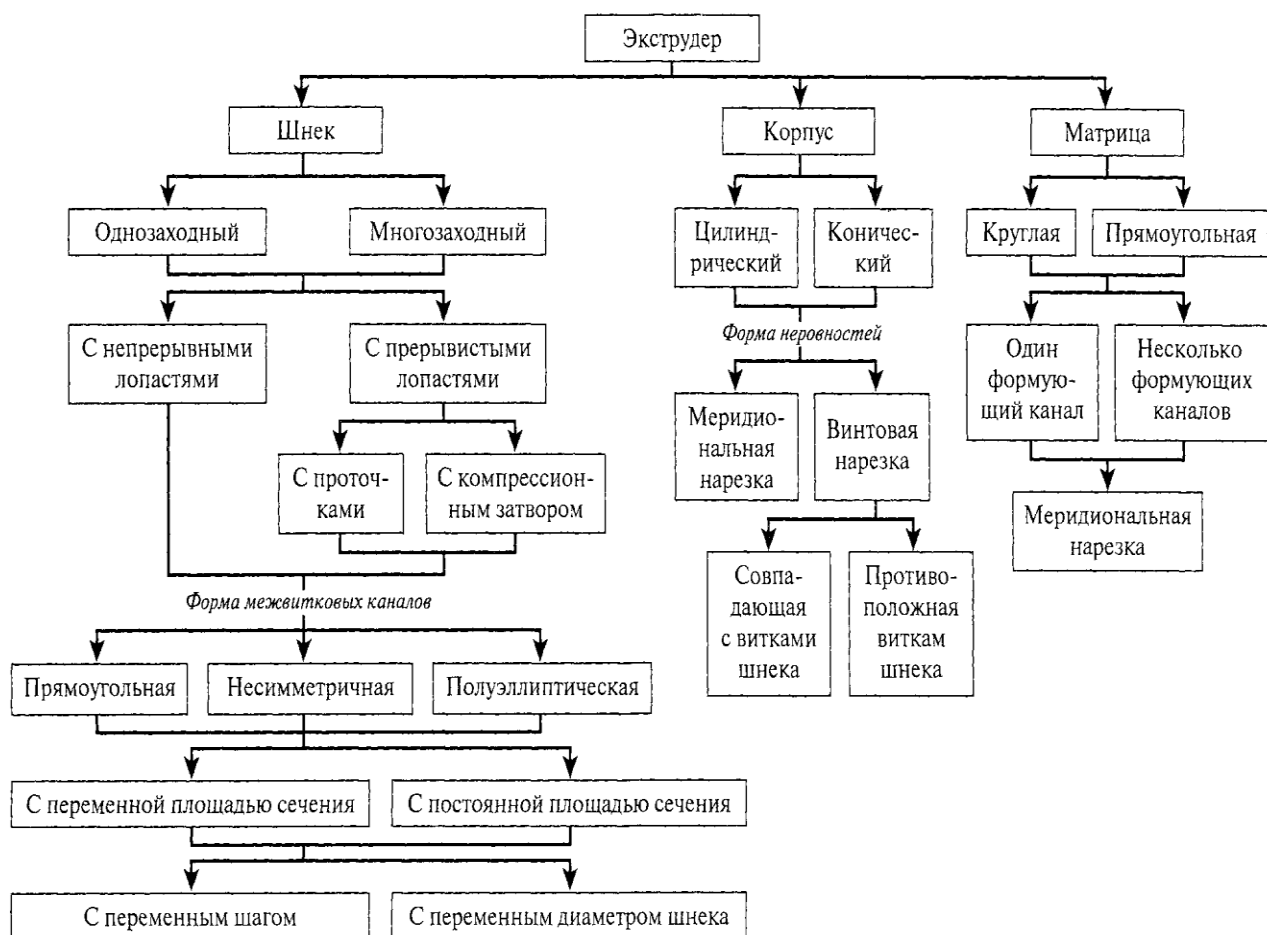


Рисунок 1.7 – Классификация шнековых экструдеров

На рисунке 1.8 представлена сравнительная характеристика одно- и двухшнековых экструдеров. Одношнековый экструдер достаточно прост по конструкции и дешевле в изготовлении. К недостаткам таких экструдеров следует отнести неравномерность работы, которое проявляется в появлении волнообразных скачков давления, плохом смешивании обрабатываемого продукта, отсутствие принудительного транспортирования и самоочистки.

Нередко это является причиной заваривания экструдера, особенно когда в шнековой камере имеется большой износ, и вырабатываемые технологические параметры недостаточны для выхода на рабочий режим. Работа на одношнековом экструдере требует не только теоретических знаний, но и правильной подготовки обрабатываемого сырья (размер частиц, влажность сырья, температура сырья).

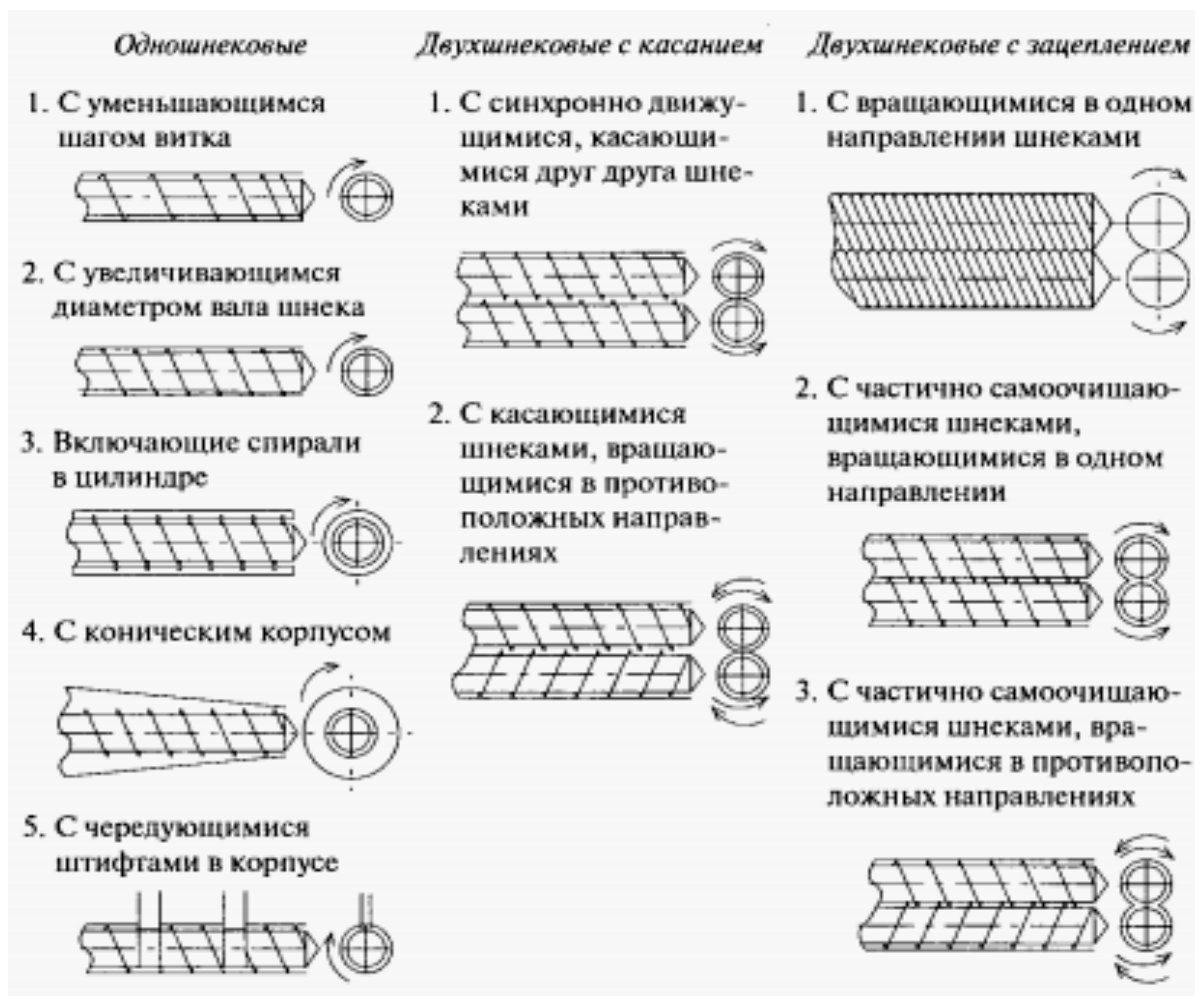


Рисунок 1.8 – Конструкция одно- и двухшнековых смесителей

Также при работе на одношнековых экструдерах затруднен переход с одного сырья на другое, так как необходима полная выработка сырья, остановка и чистка экструдера. Для предупреждения эффекта цилиндрования сырья, которое происходит в следствие накопления его в межвитковом пространстве внутренней канал корпуса экструдера должен иметь шероховатости или нарезку, которая обеспечит сцепление материала к ее поверхности. Такое сцепление позволит обеспечить движение продукта в осевом направлении, а не вращение вместе со шнеком.

При работе на двухшнековых экструдерах отмечается более лучшее перемешивание и дозирование сырья. Способность экструдера перерабатывать сырье с большим содержанием жира и сахара. Также преимуществом является

самоочистка экструдера, что существенно улучшает технологический процесс. Основными недостатками двухшнековых экструдеров являются более высокая стоимость, более высокая энергоемкость и сложность конструкции [2, 3].

Современные двухшнековые экструдеры можно разделить на две группы с зацепляющимися шнеками и с не зацепляющимися. Зацепляющиеся шнеки в основном используют для производства сухих завтраков. Зацепление шнеков позволяет производить их самоочистку и избежать прилипания и пригорания сырья. Такое явление свойственно одношнековым экструдерам, где в результате прилипания и пригорания сырья возникает пульсация подачи продукта, снижение давления на выходе из фильер. Пригорание и прилипание продукта затрудняет процесс разборки и чистки экструдера, а также может привести к поломке шнека. Шнеки экструдеров изготавливают из твердой термически стойкой с высокой чистотой обработки стали и для снижения адгезии их поверхность полируют или покрывают полимером. Такая обработка позволяет исключить прилипание обрабатываемого сырья к рабочим органам экструдера.

При работе экструдеров под воздействием сырья происходит разжимающее усилие, которое приводит к контакту шнека и корпуса и как следствие к их повышенному износу. Особенно это характерно для экструдеров с встречно вращающимися шнеками, которые показаны на позиции 2 рисунка 1.9.

Такие экструдеры можно использовать при обработке расплавов экструдатов с невысокой вязкостью при скорости вращения шнеков до 3 с^{-1} . Экструдеры на позиции 4 с конической конфигурацией предназначены для обработки сырьевых смесей при высоких градиентах давления и большей турбулизации потока расплава экструдата. Высокие скорости вращения шнеков такой конструкции обеспечивают максимальную удельную механическую энергию при минимальной длине шнека. А это позволяет применять такие экструдеры для производства экструдатов с максимальной степенью экспандирования (крупяные палочки, колечки, шарики и др.).

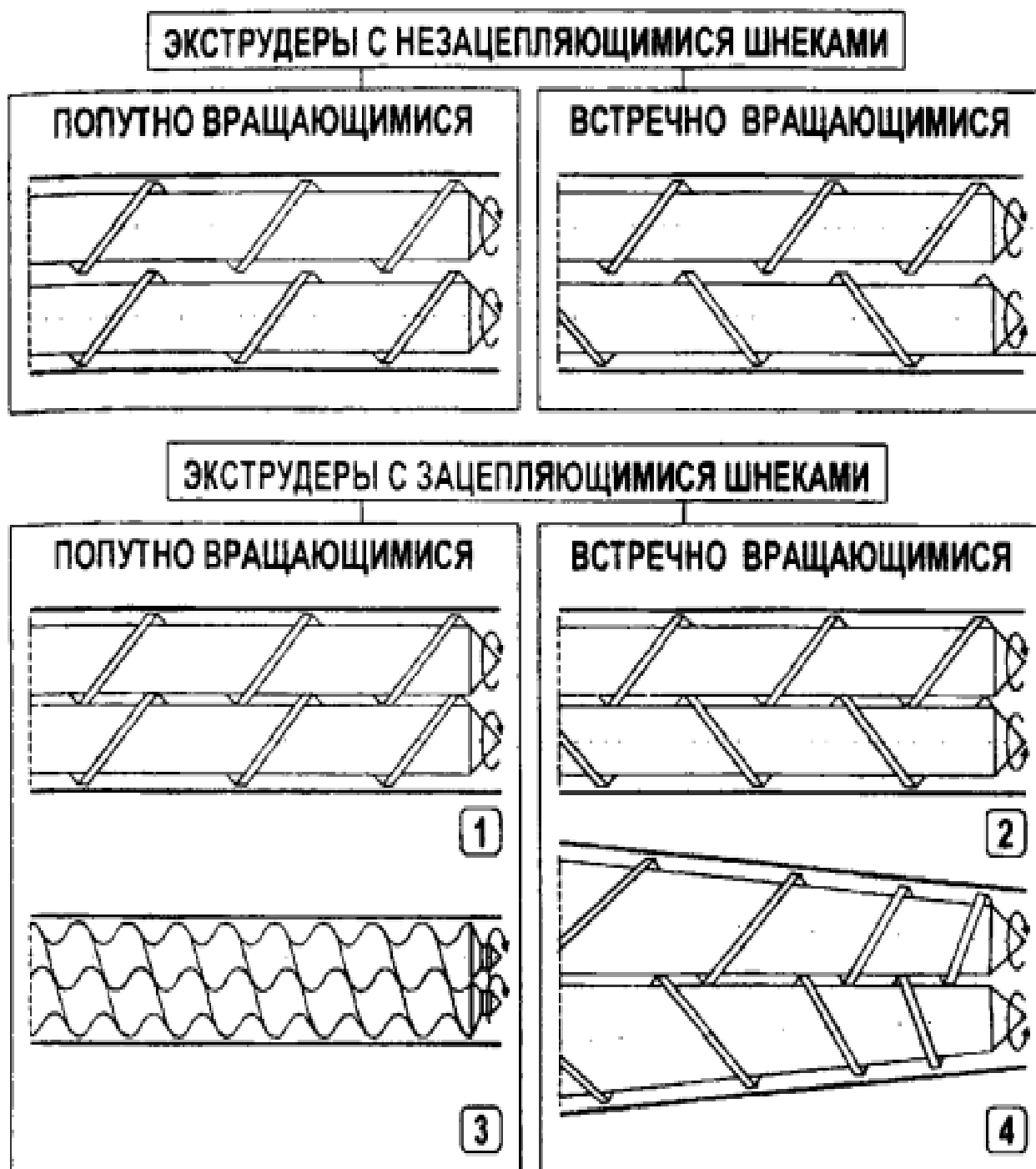


Рисунок 1.9 – Классификация двухшнековых экструдеров по геометрическим параметрам и расположению шнеков и корпуса

У попутно вращающихся шнеков отсутствует эффект разжимающих усилий, что позволяет использовать их для обработки сырья на высоких скоростях. Профиль шнека с синусоидальной резьбой, представленный на позиции 3, позволяет достичь максимальной самоочистки. Зазоры между вращающимися

шнеками делают минимальными, чтобы шнеки обкатывались друг об друга, но не соприкасались.

Это позволяет обеспечить перемещение расплава экструдата с одного шнека на другой и возникновение сдвиговых и аксиальных усилий. Такая конструкция сводит к минимуму эффект цилиндрования и с успехом используется для производства сухих завтраков.

Двухшнековые экструдеры с незацепляющимися шнеками используют при производстве макаронных, кондитерских хлебобулочных изделий. Их применяют вследствие большого ламинарного противотока и незначительного эффекта самоочистки.

Знание моделей и конструкций экструдеров, а также особенностей процессов, протекающих при обработке сырья очень важно для технолога. Эти знания позволят своевременно отрегулировать процесс экструзионной обработки и не допустить остановки и поломки экструдера.

Формование и придание формы экструдированным продуктам осуществляется с использованием матриц, в которых имеются отверстия соответствующего размера и формы (фильеры).

Матрица с фильерами располагается в опорной вертикальной плите, которая крепится к корпусу экструзионной камеры и имеет возможность поворачиваться вокруг вертикальной оси. Известны конструкции экструдеров, в которых матрица закреплена на стержне шнека и вращается вместе с ним. Однако неподвижные матрицы, закрепленные на шнековом цилиндре, более технологичны и надежны. Фильеры матриц состоят, как правило, из цилиндрических формующих каналов и входных полостей переменного сечения, служащие для облегчения входа в формующий канал прессуемого материала. Через фильеры матрицы осуществляется формование и выход продукции под высоким давлением в виде непрерывного жгута. Конфигурация фильер определяет размеры изделия и весьма разнообразна: шарики, палочки, звездочки, подушечки [3, 6].

1.4 Технологическое оборудование для экструзионной обработки сырья растительного происхождения

Современное технологическое оборудование, используемое для переработки сырья растительного происхождения, постоянно совершенствуется и претерпевает изменения. В начале развития экструзионной обработки основной технологической машиной для экструзионной обработки сырья был экструдер КМЗ-2У. Это одношнековый экструдер, который обрабатывал сырье в режиме горячей экструзии и привод которого осуществлялся по клиноременной передаче. Этот экструдер выпускается в нашей стране более 30 лет и современная модификация экструдера ПЭ-КМЗ-2У (рисунок 1.10). Работает экструдер в различных режимах экструзии и производит большой ассортимент продукции:

- амидоконцентратные добавки;
- комбикорма для крупно- и мелко-рогатого скота;
- корма для собак и пушных зверей;
- супы быстрого приготовления на основе экструдированного гороха;
- заменителя сухого молока из растительных компонентов;
- яичного порошка из растительных компонентов;
- каратино-витаминного продукта из еловой хвои;
- биологического топлива;
- подсолнечного масла;
- органо-минеральные удобрения.

Также этот экструдер используется для переработки:

- зерновых и бобовых культур с охлаждением в струе воздуха (при помощи специальной установки);
- биологических отходов методом экструдирования;
- отходов от производства спирта и пива.



Рисунок 1.10 – Пресс-экструдер ПЭ-КМЗ-2У

Для переработки зерновых культур в комбикорма используют экструдеры марки ЭТР. Экструдеры этой модели успешно используют для переработки: ржи, сои, шрота, жмыха, подсолнечника, рапса, сои, зерновой смеси. Экструдеры данной модели предназначены для производства комбикормов различного направления и имеют достаточно большую линейку по мощности. Так экструдеры ЭТР используют при выработке комбикормов для собак, для сухого молока из сои. Конструктивные особенности экструдера ЭТР (рисунок 1.11) позволяют перерабатывать рыбное сырье и изготовление кератинсодержащих добавок из хвои.



Рисунок 1.11 – Экструдер модели ЭТР

Экструдеры фирмы «ЖАСКО» (рисунок 1.12) российского производства используются для экструдирования зерновых культур, зерновых смесей и залежалого зерна (с запахом аммиака), бобовых и масличных культур, отходов переработки мяса, птицы и рыбы с зерновым наполнителем, а также для переработки просроченных продуктов торговых сетей. Оборудование позволяет получить сбалансированный экструдированный корм, который обладает приятным хлебным запахом.



Рисунок 1.12 – Экструдер фирмы «ЖАСКО»

Производственная мощность экструдеров фирмы «ЖАСКО» варьируется в пределах от 100 до 1800 кг/ч, что позволяет использовать их как в небольших частных предприятиях, так и в крупных производствах.

Кормовой экструдер ПЭК-150 предназначен для экструдирования зерновых культур (зерна пшеницы, ячменя, кукурузы, гороха) или зерновых смесей, которые в дальнейшем используют для приготовления комбикормов. Экструзионная обработка зернового сырья на пресс-экструдере ПЭК-150 способствует повышению усвоения питательных веществ и снижению себестоимости животноводческой продукции (рисунок 1.13).



Рисунок 1.13 – Пресс-экструдер кормовой ПЭК-150

ПО «Арсенал» выпускает одношнековые экструдеры Э-131-2 производительностью до 600 кг/ч и двухшнековые 2Э-60Л, 2Э-88П, РЗ-КЭД-88 – производительностью от 90 до 250 кг/ч. Экструдеры предназначены для производства сухих завтраков (снеки, хлопья, чипсы, хлебцы, кукурузные палочки и др.); универсальных полуфабрикатов и добавок для хлебопекарной, кондитерской и мясной промышленности, для производства пищевых концентратов, детского питания и модифицированного крахмала; комбикормов для животных, птицы и рыбы промышленного разведения. В качестве исходных продуктов и сы-

рья при этом используются: измельченные зерновые и бобовые (овес, рис, гречка, пшеница, ячмень, кукуруза, горох, соя, бобы); крахмал (кукурузный и картофельный); некондиционные продукты хлебопекарен, хлебная и вафельная крошка и другие виды побочных продуктов пищевых производств. Параметры и характеристики экструдеров представлены в таблице 1.

Таблица 1.1 – Основные параметры экструдеров объединений «Старт» и «Арсенал»

Показатели	Э131-2	2Э-60П	2Э-88П	РЗ-КЭД-88
Производительность, кг/ч	600	45-90	250	200-250
Диапазон рабочих температур, °С				
Диаметр шнека, мм	131	59,8	88	88
Установленная мощность главного привода, кВт	90	30	55	55
Максимальная мощность парогенератора, кВт	65			
Суммарная потребляемая мощность, кВт	170	45	90	90
Увлажнение исходного сырья паром, %	до 30			
Расход питьевой воды, л/ч	18-100	1-25	1-50	12-60
Расход охлаждающей воды, л/ч	1000	600	1000	1000
Длительность непрерывной работы, ч	120	120	120	120
Износостойкость рабочих органов, ч	3000	3000	3000	3000
Занимаемая площадь, м ²		2,5	9,6	
Габариты, мм: длина	4200			4200
ширина	1250			1300
высота	2500			2500
Масса, кг	4400	1500	4055	3200

Используемые в экструдерах шнеки – наборные с переменной конфигурацией, что является одним из преимуществ экструдеров. Такая конструкция делает экструдер универсальным и расширяет возможности его использования при переработки различного сырья с различными свойствами и характеристиками. В экструдерах используется индукционный нагрев, что позволяет в короткие сроки вывести экструдер на нужный режим. Установленные в каждой отдельной секции термопары позволяют регулировать режим нагрева в зонах экструзии (до 200 °С). Индукционный нагрев более экономичен по сравнению с традиционным. Также применение индукционного нагрева позволяет разогреть экструдер до 300 °С, что позволяет выжигать сырье при заваривании экструде-

ра.

Для стабилизации процесса экструзии все больше при экструзионной обработке сырья применяют двухшнековые экструдеры, которые позволяют вести процесс экструзии без резких изменений параметров, к тому же они самоочищающиеся, что позволяет осуществлять быстрый переход при обработке различного сырья. На рисунке 1.14 и 1.15 изображены двухшнековые экструдеры отечественного производства. Экструдер ВЭД-60 с каскадным расположением червяков состоит как бы из двух экструдеров, расположенных друг над другом (рисунок 1.14).

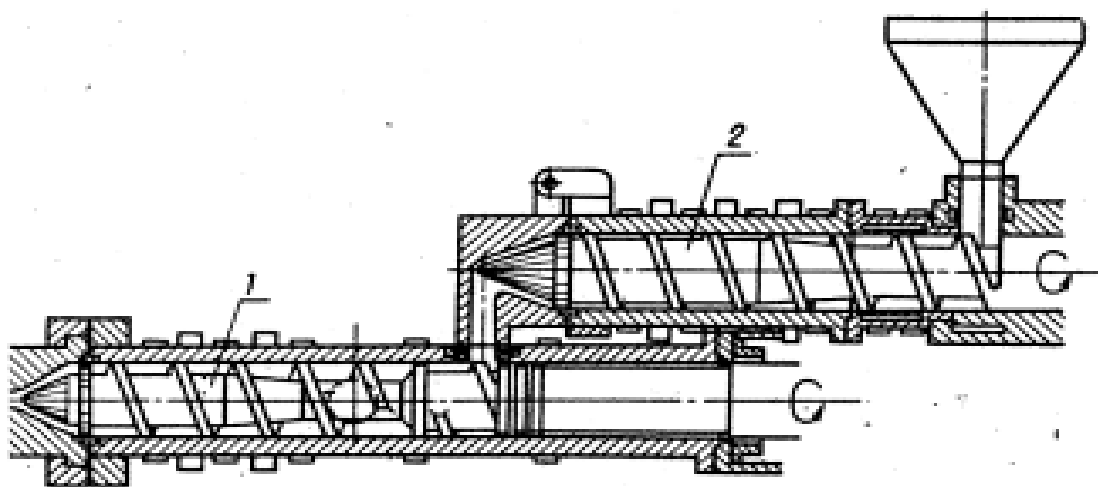


Рисунок 1.14 – Принципиальная схема расположения шнеков в экструдере ВЭД-60

В первом размещены зоны загрузки и пластификации, и из него через соединительную цилиндрическую полость, которая может вакуумироваться, расплав попадает во второй экструдер, где гомогенизируется и попадает в формирующую головку.

Каскадный экструдер позволяет увеличить производительность по сравнению с обычными экструдерами такого же диаметра на 150 % и значительно улучшить качество получаемых изделий [15].

Схематично на разрезе процесс обработки сырья в двухшнековых экструдерах представлен на рисунке 1.15.

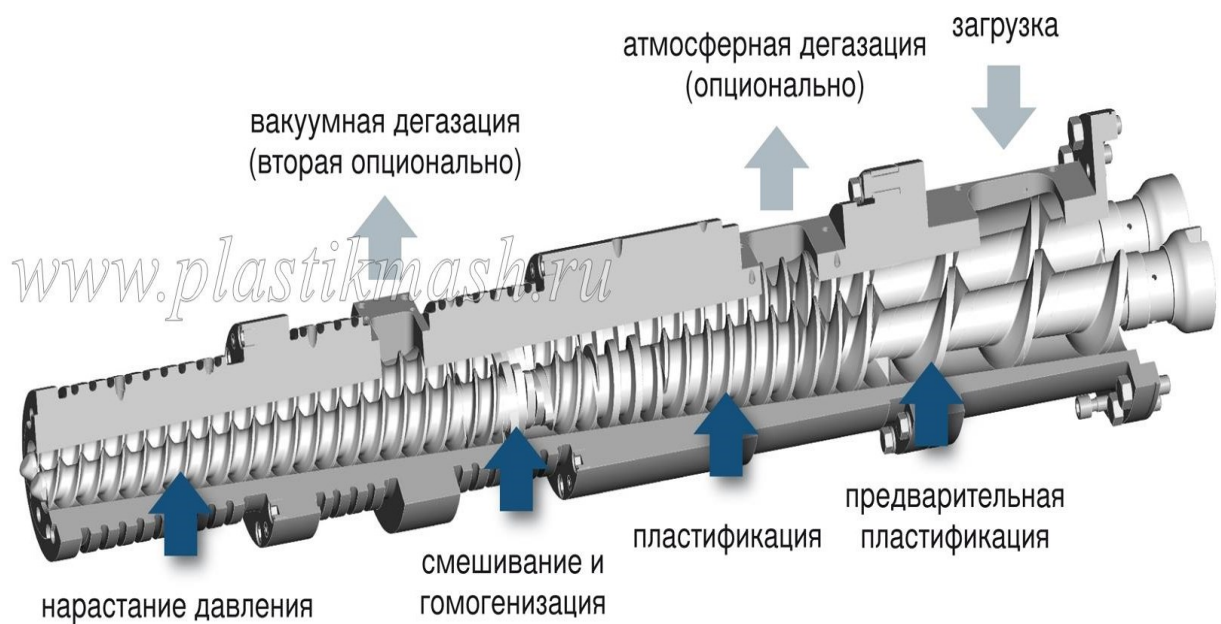


Рисунок 1.15 – Разрез двухшнекового экструдера с указанием основных технологических зон обработки сырья

Экструдеры фирмы «Апрель» и «ВЭС» предназначены для получения сухих завтраков, снеков, хрустящих хлебцев путем термомеханической обработки крахмалосодержащего сырья. Экструдеры оборудованы смесительными бункерами, в которых осуществляется замес обрабатываемых смесей. Шнек пресс экструдера «Штак-80» имеет диаметр 80 мм и его вращение осуществляется через редуктор. Частота вращения шнека составляет 354 об/мин.

На рисунке 1.16 видно, что шнековая камера экструдера оборудована системой регулирования температуры.



Рисунок 1.16 – Пресс-экструдер «Штак-80»

Установки ИТК «ВЭС» предназначены для производства легких закусок сухих завтраков, кондитерских изделий, снеков. Отличительной особенностью экструдеров ВЭС-ЭУ-1И (рисунок 1.17) и ВЭС-ЭУ-2-88 является независимость стабильности их работы от исходных параметров сырья (структурно-механических свойств, размера, влажности, состава и др.). Экструзионная установка оборудована регулируемым приводом основного двигателя, автоматической системой охлаждения и нагрева, поточным увлажнителем с дозированной подачей воды. В качестве основного сырья на экструдерах ВЭС используют различные виды круп, муки и побочные продукты пищевых производств (отруби, зародыш, шрот и т.п.).



Рисунок 1.17 – Экструдер пищевой одношнековый ВЭС-ЭУ-1

ООО «Алмаз» выпускает одношнековые (А-80МУ, А-80Р) и двухшнековые экструдеры (А-30, А-50М, А-72, А-82) для производства снеков (кукурузные палочки, колечки, шарики, чипсы и т.д.), коэкструзионных продуктов, продуктов с начинкой (трубочки с начинкой, подушечки и т.д.), производства хлебцев хрустящих, производства экструзионных крахмалов (наполнители кетчупов, майонезов, обойных клеев, реагенты для буровых скважин), производство кормов для кошек, собак, грызунов, соевых текстуратов, детского питания, экструзионного крахмала, а также массового выпуска традиционных экструзионных продуктов.

Двухшнековый экструдер А-92 (рисунок 1.18) спроектирован для массового выпуска традиционных экструзионных продуктов. Количество рабочих корпусов экструдера может изменяться от одного до пяти, в зависимости от требований заказчика под выбранную экструзионную технологию.

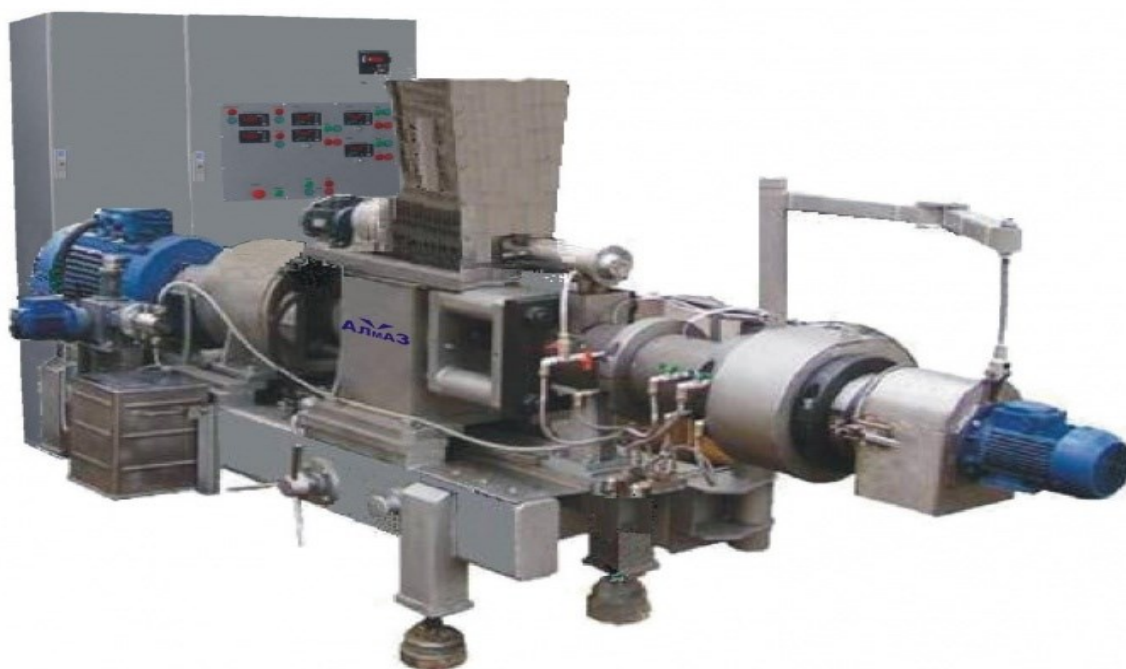


Рисунок 1.18 – Двухшнековый экструдер А-92

Экструдер может оснащаться самоочищающимися или трапецеидальными шнеками, навесным режущим устройством, ворошителем бункера сырья и различным набором матриц.

Фирма «Wenger» США выпускает одношнековые и двухшнековые экструдеры. Одним из лучших одношнековых экструдеров этой фирмы является Х-235 оснащенный двойным цилиндром для предварительного кондиционирования. Давление в предматричной зоне этого экструдера составляет 20 МПа, температура – 200 °С. Хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации двухшнековые экструдеры с коническими шнеками моделей ТХ-52, 80 и 138 производительностью от 100 до 6000 кг/ч фирмы Wenger США. Эти экструдеры проекти-

ровались для производства кормов для домашних животных и рыб.

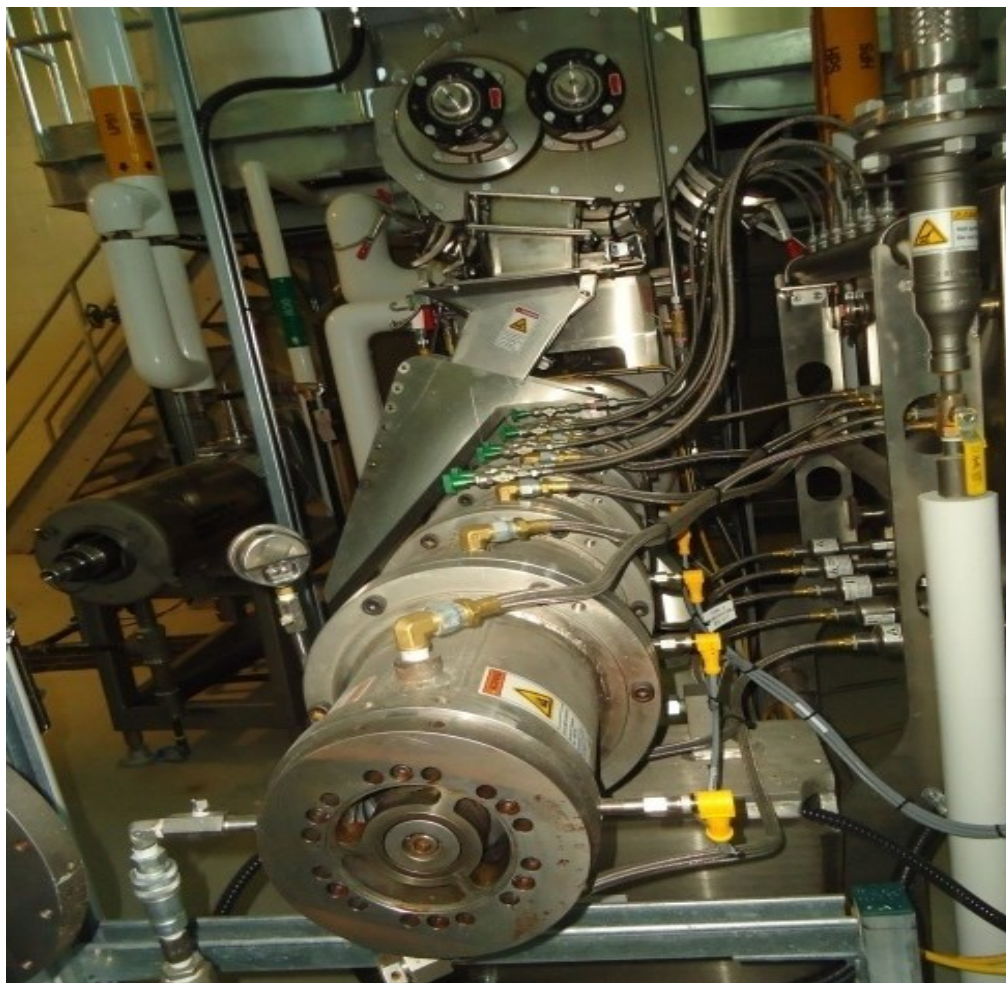


Рисунок 1.19 – Wenger X-115 с указанием форсунок для ввода вода или пара в каждую секцию экструдера

Их особенностью является секционный корпус, выполненный с возможностью легкого впрыска воды или пара под давлением в конкретную секцию для управления температурным режимом процесса. Сегментированные шнеки и система регулирования давления, показанные на рисунках 1.19, 1.20, позволяют достичь желаемых характеристик обработки для разнообразных изделий.

Производитель использует для работы только электричество, и продукт нагревается за счет сил трения. Экструдеры с кондиционером, то есть с камерой предварительной обработки сырья паром, - в этом случае для работы используется электричество и пар. Экструдеры выпускаются двух типов: производительностью от 590 до 910 кг/ч и от 900 до 1350 кг/ч.



Рисунок 1.20 – Экструдер Wenger X-200

Экструдеры фирмы «InstalPro» (США) подразделяются на «сухие» (продукт в которых разогревается за счет сил трения и электричества) и экструдеры, оснащенные кондиционером для предварительной обработки сырья паром. Экструдеры выпускают производительностью 590-910 кг/ч и 900-1350 кг/ч.

Двухшнековые экструдеры швейцарского производства фирмы «Бюллер» давно используются в нашей стране и находят широкое применение для переработки сои, зерна, рисовых отрубей, модификации крахмала, производства снеков, кормов для рыб животных и птиц. Производимые экструдеры этой фирмы выпускаются с прекондиционерами для предварительной обработки сырья паром и без них (сухая экструзия). С целью качественной обработки продукта температура контролируется в каждой секции рабочей камеры, которых

может быть от трех до двадцати. Новый экструдер фирмы «Бюллер» PRIO twin™ — это решение, ориентированное на изготовление сухих завтраков, пищевых ингредиентов и кормов для домашних животных (рисунок 1.21).



Рисунок 1.21 – Экструдер PRIO twin фирмы «Бюллер»

Экструдер создает рабочее давление до 150 бар, максимальный момент вращения $11,5 \text{ Нм/см}^3$ и максимальную температуру 200°C , и поэтому имеет широкий спектр применения. Благодаря новой конструкции перехода предварительный кондиционер-экструдер продукт попадает в экструдер без использования питающего шнека. Модули экструдера PRIO twin™ можно комбинировать с модулями экструдера других моделей. Благодаря этому пользователь может при необходимости расширить экструдер PRIO twin™ для производства дополнительных продуктов.

Широко известна итальянская фирма «Pavan Macimpianti», экструдеры и технологии получения экструзионных продуктов которой позволяют производить широкий ассортимент высококачественных изделий с минимальными за-

тратами на переналадку оборудования. Производительность двухшнековых экструдеров (рисунок 1.22) составляет от 100 до 1000 кг/ч.



Рисунок 1.22 – Двухшнековый экструдер TT92evo

Двухшнековый экструдер TT92evo может в непрерывном режиме автоматически желатинировать разные виды зернового и картофельного сырья. Он оснащен высокоскоростным предварительным миксером для обеспечения идеальной гидратации муки, большой емкостью для замеса, обеспечивающей правильное поглощение воды тестом, и вертикальным шнеком принудительной подачи для контроля подачи теста на шнек варки.

Экструдер TT92-evo представляет собой модульную машину с сегментированным цилиндром, различными системами подогрева и охлаждения. Они

могут быть оснащены входным отверстием, отверстием для подачи пара/жидкости или вентиляционным отверстием (при атмосферном давлении и под вакуумом в соответствии с конкретными потребностями).

Экструдеры формовщики используются для формования пеллет после "варки", для производства продуктов методом выпрессовки или для вытягивания листов или лент, которые будут сформованы и отрезаны на определенном расстоянии от матрицы. Когда сырье уже предварительно приготовлено, например, при производстве продуктов на основе картофеля, необходимость в этапе "варки" отсутствует: этот процесс производства пеллет называется холодной экструзией.

Все сырье, требующее "варки", обрабатывается на первом этапе экструзии, за которым следует этап формования приготовленной массы. Это может быть либо вышеупомянутая холодная экструзия, либо любая другая система, способная придавать правильную форму горячему тесту перед его сушкой.

Простой принцип увеличения в объеме снэков на основе пеллет позволяет использовать широкий выбор крахмального сырья. Наиболее распространенным сырьем является мука из злаковых, за которой следуют крахмалы из таких корнеплодов, как картофель и тапиока, а также зерновые крахмалы. Большое преимущество технологии снэков из пеллет заключается в возможности создания формул с такими специфическими характеристиками, как высокое содержание волокон, использование разных злаков или многоцветность. Хотя процесс производства пеллет обычно включает этап создания крахмальной решетки, позволяющий использовать дешевые и широко распространенные сырые и нативные (не обработанные) крахмалы, некоторые стандартные сырьевые материалы являются уже приготовленными. Это такие сырьевые материалы на основе картофеля, как картофельные хлопья и гранулы. Иногда используются также предварительно приготовленные или пропаренные сырьевые материалы на основе злаковых. Предварительно приготовленные сырьевые материалы, как правило, не нуждаются в этапе "варки", их сразу можно направлять на этапы формования и сушки.

В настоящее время исследования ученых и практиков нацелены на разработку и изучение новых сырьевых материалов и методов их переработки, изучение новых форм и текстур, а также на проведение качественных испытаний и получение новых продуктов с повышенной пищевой безопасностью.

2 Классификация, состав и свойства сырья, используемого для производства экструдированных продуктов

Для увеличения ассортимента, улучшения пищевых и функциональных свойств экструдированных продуктов в процесс производства вовлекают различные по составу и структуре виды сырьевых продуктов. Это в первую очередь традиционное крахмалосодержащее сырье (зерно, крупы, мука), источники белка (бобовые культуры, хмьихи, шроты), сахар, ароматизаторы, эмульгаторы, картофелепродукты, сухое молоко, молочные консервы, сырные и творожные порошки, отруби, зародыши, вторичное сырье мясной, молочной, рыбной промышленности, биологически активные добавки и микроэлементы.

2.1 Классификация зернового сырья

Зерновое сырье широко используется для производства экструдированных продуктов, так как содержит в своем составе уникальный набор питательных веществ заложенных природой. Классифицируют зерновое сырье по целям выращивания:

- злаковые культуры делятся на типичные хлеба (пшеница, рожь, тритикале, овес);
- просовидные хлеба (просо, кукуруза, рис, сорго);
- зерновые бобовые (горох, нут, чечевица, соя и другие);
- прочие незлаковые зерновые (гречиха).

По технологическому назначению зерновые культуры разделяют на: мукомольные (пшеница рожь), крупяные (просо, рис, гречиха), фуражные (овес, ячмень), технические (применяемое для производства различных продуктов: спирта, патоки, крахмала – ячмень, кукуруза). Такая классификация не объективна и носит условный характер, так как зерно одной культуры может использоваться в нескольких направлениях. Например, кукуруза является не только

фуражной, но и продовольственной и технической культурой.

По химическому составу зерно делится на следующие группы:

- 1) богатое углеводами;
- 2) богатое белками;
- 3) богатое жирами.

К 1 группе относится зерно, в котором содержание углеводов составляет 70-80 % и жира 10-15 %. (Это просовидные и гречишные злаковые культуры).

Во 2 группу входят семена бобовых культур, содержащих белков 25-30 % и углеводов 50-55 %.

В 3 группу объединяются масличные культуры, богатые жиром, содержание жира составляет 25-35 % , белков – 20-40 %.

Пшеница. Основная продовольственная культура, которая широко используется в пищевой промышленности. Мука из мягкой пшеницы является сырьем для хлебобулочных и кондитерских изделий. Мука из твердой пшеницы богата белками и является основным сырьем для производства макаронных изделий. Также из пшеницы вырабатывают крупу, которая делится на манную и шлифованную (Полтавская и Артек). Белки пшеницы образуют клейковину.

Овес. Крупа, получаемая из овса, занимает одно из ведущих мест по питательности. Зерновка овса содержит белки, углеводы и жиры. Овсяные продукты значительно снижают содержание холестерина в крови. Из овса вырабатывают недробленую и плющенную крупу, в том числе для производства продуктов детского питания.

Рис. Эндосперм риса бывает стекловидным, частично стекловидным и мучнистым. Белки риса не образуют клейковину и усвоение их очень высоко. Жир риса содержит ненасыщенные жирные кислоты.

Кукуруза. Ее используют при производстве кукурузных палочек, крупы, спирта, патоки, крахмала, муки. Из зародыша зерна вырабатывают полноценное пищевое масло. В зависимости от консистенции эндосперма зерна (мучнистая, роговиднo-стекловидная), степени развития роговидной части и внешнего вида кукуруза подразделяется на 7 подвидов:

- *Зубовидная кукуруза* – зерно имеет белый или желтый цвет и характеризуется высоким содержанием крахмала.

- *Кремнистая кукуруза* - цвет желтый содержит больше белка, чем зубовидный сорт.

- *Полузубовидная кукуруза* – занимает промежуточное положение между вышеуказанными сортами.

- *Крахмалистая кукуруза* – зерно белое, форма округлая, основная часть эндосперма мучнистая, используется для производства патоки и спирта.

- *Лопающаяся кукуруза* – при нагревании зерно лопается, и эндосперм выворачивается наружу. Используется для производства хлопьев и взорванных зерен.

- *Сахарная кукуруза* – этот подвид относится к овощным сортам и широко используется в консервном производстве.

- *Восковидная кукуруза* – форма зубовидная или полузубовидная.

Кроме основных компонентов (крахмала, белка, воды) в зерновом сырье содержатся в небольшом количестве жиры, клетчатка, минеральные вещества, ферменты, сахара. Эффекты компонентов при экструзии комбинируются, либо усиливая, либо ослабляя их.

Зернобобовые культуры. В России эта группа представлена следующими культурами: горох, нут, чечевица, чина, фасоль, арахис, соя. Они отличаются от злаковых высоким содержанием в них биологически полноценного протеина. По сравнению с ними зернобобовые содержат в 2-3 раза больше сырого протеина. Сравнительный состав белковой питательности и химического состава бобовых представлен в таблице 2.1.

Нут. Нут – это однолетняя бобовая культура, содержит 18-31 % белка, 6 % жира, 46-48 % крахмала, 84-86 % сухих веществ, 19,9 % азотистых веществ, 3,8 % золы. В зерне нута содержится жир, состоящий из полиненасыщенных жирных кислот омега-3, омега-6, которые не образуют кальциевые мыла, что свидетельствует о его высокой усвояемости. Нут является лидером среди бобовых по содержанию селена, который отвечает за репродуктивные функции ор-

ганизма. Клетчатка, содержащаяся в нуте, стимулирует работу желудка, улучшает его секреторную деятельность, способствующей выведению холестерина.

Недостатком бобовых культур является содержание антипитательных веществ, препятствующих полному усвоению белковых веществ.

Горох. Является сырьем для получения высококачественного крахмала и низкого по себестоимости белка. В соответствии с действующей нормативной документацией горох, заготавливаемый на продовольственные, кормовые цели подразделяется на следующие типы и подтипы:

1 тип – горох продовольственный с просвечивающимися семенными оболочками. Первый подтип горох желтый – сорт Казанский, Чишминский. Второй подтип горох зеленый – Уладовский, Льговский.

2 тип – горох кормовой (серый) с непросвечивающимися оболочками. Сорт Кормовая 50, Тверская, Надежда.

По химическому составу и пищевой ценности эта культура наиболее близка к источникам животного белка – мясу, рыбе, а также молоку. Белок гороха богат незаменимыми аминокислотами.

Чечевица, семена сплюснутые округлой формы. В пищевом отношении чечевица лучше гороха – она содержит больше белка, богата углеводами, витаминами группы В. переваримость белков составляет 88 %, а углеводов – 96 %.

Таблица 2.1 – Химический состав и питательная ценность зернобобовых

Содержание в 100 г продукта	Суточная потребность	Зернобобовые		
		Нут	Горох	Фасоль
1	2	3	4	5
Белки	80	20,1	20,5	21,0
Незаменимые аминокислоты, мг/100г:				
валин	4000	920	1010	1120
изолейцин	3000	1370	1090	1030
лейцин	4000	1520	1650	1740
лизин	3000	1539	1550	1590
метионин	2000	340	205	240
треонин	2000	790	840	870
триптофан	1000	222	260	260
фенилаланин	2000	1040	1010	1130

Продолжение таблицы 2.1

1	2	3	4	5
Жиры, г	80	4,3	2,0	2,0
В том числе: полиненасыщенные жирные кислоты	3	1,82	1,03	1,05
Моно- и дисахариды, г	50	3,2	4,6	3,2
Крахмал, г	400	43,2	44,0	43,2
Пищевые волокна, г	25	20,2	13,1	11,4
клетчатка		6,7	5,7	3,9
гемицеллюлоза		8,6	4,4	3,8
пектин		4,9	3,0	3,7
Минеральные вещества, мг:				
калий	2500	968	873	1100
кальций	800	193	115	150
магний	400	126	107	103
фосфор	1000	290	329	480
железо	15	18,7	2,8	5,9
йод	0,1	0,0079	0,0051	0,012
селен	0,5	0,0285	0,013	0,024
цинк	10	2,86	3,18	3,21
Витамин, мг				
В ₁	1,5	1,25	0,81	0,50
В ₂	2,0	0,51	0,15	0,18
В ₆	2,0	0,87	0,27	0,90
РР	15	2,25	2,20	2,10

Чечевицу в зависимости от цвета семян подразделяют на следующие типы:

- 1) темно-зеленая;
- 2) светло-зеленая;
- 3) неоднородная.

Соя содержит до 40 % белка, до 20 % жира и до 22-35 % углеводов. Характерно, что в составе сои почти полностью отсутствует крахмал. В сое много минеральных веществ она богата фосфором, кальцием, калием магнием, медью, железом, марганцем. Однако в сырых бобах сои содержится ингибитор трипсина (липоксидаза), ухудшающий использование протеина. Поэтому ее использование возможно после специальной тепловой обработки. Сою используют в виде муки концентрата и масла. Из сои делают молоко, творог, мясо, а также ис-

пользуют как источник белка в хлебопечении, кондитерском и других производствах для повышения биологической ценности продуктов.

2.2 Общая характеристика круп

Крупы традиционно используются в производстве экструдированных продуктов, так как являются уже подготовленными полуфабрикатами с большим содержанием белка и углеводов, но с низким содержанием клетчатки.

Крупа представляет собой выделенное в целом или крупнодробленом виде ядро зерна, освобожденное от примесей и неусвояемых человеком частей зерна – цветочных пленок, плодовых, семенных оболочек, а в некоторых случаях – алейронового слоя и зародыша. В зависимости от используемого сырья различают значительное количество видов крупы: пшено, гречневая, рис, овсяная, ячменная, кукурузная, пшеничная, гороховая и другие. Крупу каждого вида подразделяют на разновидности, отличающиеся строением частиц. Она может быть цельной (недробленное ядро), а также дробленной и расплющенной. Крупы и зернобобовые – основной компонент большинства пищевых концентратов первых и вторых обеденных блюд. В производстве пищевых концентратов применяют крупы: гречневую, перловую, ячневую, пшеничную (манную), кукурузную, рисовую, овсяную и пшено.

Гречневые крупы. К гречневым крупам относятся:

– ядрица – целое зерно, очищенное от лузги (плодовых оболочек), кремового цвета с желтоватым или зеленоватым оттенком;

– ядрица быстрорастворимая – ядрица обычная, но из пропаренного зерна гречихи, коричневого цвета разных оттенков;

– продел – расколотые ядра гречихи; по размеру дробленых частиц его сортируют на крупный и мелкий.

Гречневую крупу от остальных видов круп отличают высокая пищевая ценность и отличные вкусовые качества. В ней есть много крахмала (70 %),

белков (до 15 %). По сравнению с другими крупами ядрица имеет достаточно собственного устойчивого к окислению жира (до 3 %), поэтому готовые блюда из концентратов с гречневой крупой никогда не горчат. Крупа богата витаминами E, B₆, B₂, PP и особенно рутином. Гречневая крупа содержит большой набор макро- и микроэлементов, железа в 2 раза больше, чем в других крупах.

Ядрица обладает лучшими кулинарными достоинствами, в пищевых концентратах хорошо набухает, ее объем может увеличиваться в 5–6 раз. Прodel по своей питательности не уступает ядрице, но из него получаются не рассыпчатые, а более вязкие каши. Для улучшения кулинарных свойств гречневую крупу иногда предварительно обжаривают до коричневатого оттенка.

Перловая и ячневая крупы. Перловую крупу получают из ячменя, очищенного от цветных пленок, с последующей шлифовкой целых или дробленых зерен. По размеру частиц такую крупу делят на 5 номеров (№ 1–5), чем выше номер, тем мельче крупинки.

Ячневая крупа – это частицы дробленого ядра ячменя многогранной неправильной формы, не подвергнутые шлифовке; по размеру крупинок крупа делится на три номера (№ 1–3). Ячневые крупы богаты крахмалом (от 75 % до 80 %), белками (от 11 % до 14 %), весьма полноценны по аминокислотному составу. Ячневые крупы не отличаются высокими вкусовыми достоинствами, но пищевые концентраты с ячневой крупой питательны и хорошо сохраняются.

Пшеничные крупы. Сюда относят манную крупу разных марок, полтавскую крупу и крупу «Артек». Манная крупа вырабатывается при сортовом помоле пшеницы на муку. В зависимости от сорта пшеницы крупа делится на марки: М – из мягких сортов пшеницы (крупинки мучнистые, непрозрачные, белого цвета); Т – из твердых сортов пшеницы (крупинки полупрозрачные, ребристые, кремового или желтоватого цвета), МТ – из смеси мягких и твердых сортов пшеницы.

Манная крупа при размолу образуется из центральных частей эндосперма пшеницы (10 %), поэтому крупинки лишены оболочек, а, следовательно, и балластных неусвояемых веществ – клетчатки и полуклетчатки, минеральных ве-

ществ и витаминов. Однако манная крупа богата крахмалом и белками. Это однородная крупка тонкого помола. Пищевые концентраты с манной крупой часто становятся первой пищей ребенка после материнского молока, обеспечивая ему хорошее пищеварение.

Манная крупа марки М быстро разваривается и набухает, значительно увеличиваясь в объеме, имея однородную консистенцию. Крупа марки Т варится немного дольше, лучше сохраняя при этом крупянистую структуру. Вкус каши из такой крупы более полный и насыщенный. Крупа марки МТ менее однородна, поэтому из нее получают пищевые концентраты более низкого качества.

Полтавская крупа – это целое или дробленое шлифованное зерно твердой пшеницы, освобожденное от зародыша и частично от оболочек. По размеру крупинок такую крупу делят на четыре номера: № 1 – целое ядро удлиненной формы, № 2 – дробленое ядро овальной формы, № 3 и 4 – частицы ядра округлой формы.

Из пшеницы вырабатывают также крупу «Артек» – самое мелкое дробленое ядро твердой пшеницы, которое, однако, крупнее, чем манная крупа.

По химическому составу и пищевой ценности крупы полтавская и «Артек» сходны с пшеничной мукой. Из них получаются готовые блюда нежной консистенции, крупы развариваются быстро, хотя в объеме увеличиваются незначительно.

Кукурузная крупа. Она вырабатывается дроблением зерна кукурузы с последующей шлифовкой и закруглением крупинок.

Кукурузная крупа богата крахмалом (до 75 %), в составе белков недостает незаменимых аминокислот триптофана и лизина, поэтому она считается менее полноценной. Желтая окраска кукурузы свидетельствует о наличии в ней каротина (провитамина А).

Блюда из пищевых концентратов с кукурузной крупой тормозят процессы брожения и гниения в кишечнике, хотя в силу наиболее плотной структуры ядра они труднее усваиваются организмом.

Рисовая крупа. Она характеризуется высоким содержанием крахмала (до 85 %). По сравнению с другими крупами в рисе содержится меньше белков (от 8 % до 10 %) и минеральных веществ, которые удаляются во время шлифовки вместе с оболочками. Рис калорийный, но наименее биологически ценный продукт.

Овсяная крупа. Это шлифованные зерна пропаренного овса без цветочных пленок и опушения, с частично удаленными плодовыми оболочками и зародышем.

Овсяная крупа и пищевые концентраты из нее не только высокопитательны, но и обладают лечебными свойствами, так как являются наиболее полностью усвояемыми блюдами, не вызывающими раздражения пищеварительных органов. Она широко используется в диетическом питании людей, особенно тех, кто ослаблен после болезни, страдает желудочно-кишечными заболеваниями. Пищевые концентраты с этой крупой очень важны для укрепления здоровья детей.

По сравнению с другими крупами в овсяной крупе содержится меньше крахмала (65 %), поэтому блюда из овсяной крупы менее энергетически ценны. Однако в овсяной крупе есть достаточно полный состав белков и много жира (от 6 % до 7 %), минеральных веществ (до 2,3 %), витаминов В, В₂, РР. Особенностью химического состава овсяной крупы является наличие в ней слизистых (гумми) веществ.

К недостаткам овсяной крупы можно отнести сравнительно большое количество клетчатки (2 %) и пентозанов (полуклетчатки) (от 3 % до 5 %), которые сосредоточены в оболочках зерна. У здорового человека они будут лишь благоприятно влиять на перистальтику кишечника.

Пшено. Это ядра проса, освобожденные от цветочных пленок, плодовых, семенных оболочек и зародыша. Поверхность шлифованного зерна шероховатая, покрытая мучелью (омученная), имеет небольшое углубление на месте зародыша.

В нашей стране пшено издавна было самой распространенной и любимой крупой благодаря его большой энергетической ценности и легкой усвояемости.

Однако в составе белков пшеницы недостает таких незаменимых аминокислот, как лизин, метионин и триптофан, что снижает его биологическую ценность. Жиры (от 2 % до 3 %) и каротиноиды-пигменты придают зерну желтую окраску, легко окисляются, поэтому долго хранящиеся пищевые концентраты имеют неприятный горьковатый привкус.

У пшеницы хорошие кулинарные свойства: она быстро разваривается, хорошо набухает, увеличиваясь в объеме в 6–7 раз. Лучшим по качеству является ярко-желтое, стекловидное, хорошо выполненное зерно, из которого получают отличные рассыпчатые каши [3, 4, 5, 6].

2.3 Нетрадиционные сырьевые источники

Отруби пшеничные и ржаные широко применяют при производстве продуктов функционального назначения. Отруби представляют собой пленки зерна, сросшиеся с частицами эндосперма. Они богаты белком (15 %), клетчаткой (8,2 %) и имеют более низкую энергетическую ценность (1238 кДж/100 г), чем зерно. В отрубях много фосфора, калия, магния, железа и витаминов группы В, а кальция в отрубях в 4 раза больше чем зерне пшеницы. Состав отрубей зависит от состава исходного продукта размола. Для предотвращения комков отруби при хранении необходимо контролировать и влажность, которая не должна превышать 15 %.

Жмыхи и шроты – вторичные высокобелковые продукты, получаемые при переработке семян масличных культур: сои, арахиса, хлопка, подсолнечника. Жмых получают при отжиме масла из семян масличных культур в прессах. Шрот при экстрагировании масла из семян органическими растворителями (бензином, дихлорэтаном). Содержание жира в жмыхах – 10 %, а в шротах – 3,5 %. Критическая влажность, при которой начинается разрушение питательных веществ 8-9 %. Соевый шрот содержит до 42 % белка, подсолнечный – до 34 %.

Сухое обезжиренное молоко также широко используется при производстве продуктов функционального назначения. Его получают сушкой на распылительных или вальцевых установках из свежего обезжиренного молока. Оно содержит до 38 % белка и богато калием, кальцием, фосфором, рибофлавином и отличается хорошими вкусовыми качествами.

Сухая сыворотка вырабатывается из свежей сыворотки, получаемой при производстве сыра, брынзы, творога и технического казеина. Сухая сыворотка содержит 15,8 % белка, а также кальций, фосфор, калий и рибофлавин.

Рыбная мука – белковый продукт, характеризуется высоким содержанием белка до 50 % (лизина, метионина), богат кальцием, фосфором, витаминами группы В. Содержание лизина в 10 раз выше, чем в зерне. Питательные вещества муки имеют высокую переваримость.

Солодовые экстракты получают путем осоложивания кукурузы (кукурузно-солодовый экстракт) или ячменя (ячменно-солодового экстракта). В процессе производства солодовых экстрактов накапливаются продукты частичного гидролиза крахмала: декстрины, мальтоза и глюкоза. Кукурузно-солодовый экстракт вырабатывают из кукурузного солода.

В последнее время среди новейших сырьевых источников получили распространение продукты переработки фруктов и овощей, в том числе нут, амарант, якон, топинамбур и другие продукты питания, в том числе экструдированные, обладающие функциональными свойствами.

2.4 Основные компоненты сырья и их функциональные свойства

Крахмал относится к полисахаридам – высокомолекулярным углеводам, представляющим собой продукты конденсации моносахаридов, соединенных гликозидными связями. Наиболее крупные крахмальные зерна у картофеля, самые – мелкие у риса и гречихи. Мелкие зерна набухают медленнее, температура их клейстеризации выше, они плохо подвержены амилолизу. В холодной во-

де крахмальные зерна лишь набухают, но не растворяются. Под действием тепловой энергии структура крахмальных зерен разрушается, крахмальная суспензия переходит в вязкий коллоидный раствор. Температура клейстеризации разных культур неодинакова и находится в пределах 55-80 °С. Полисахаридная фракция крахмала состоит из амилозы и амилопектина. Амилоза легко растворима в теплой воде и дает нестойкие растворы со сравнительно низкой вязкостью. Амилопектин растворяется в воде при кипячении, особенно при температуре 120 °С. Большинство крахмалов злаковых растений содержат 15-25 % амилозы и 75-85 % амилопектина. Амилопектин расщепляется в-амилазой на 70-80 % и полностью расщепляется а-амилазой.

Поэтому важнейшими свойствами крахмала при производстве пищевых продуктов являются: температура клейстеризации и устойчивость крахмала к действию амилаз. Культуры, из которых производят крахмал, – кукуруза, картофель, маниока, пшеница, рис, ячмень и рожь.

Целлюлоза (клетчатка) – другой полисахарид, являющийся составной частью зерновых культур. Молекулы целлюлозы отличаются высокой прочностью и не усваиваются организмом человека. Она способна связывать воду до 0,4 г на 1 г клетчатки. Целлюлоза является самым распространенным органическим соединением, а также неисчерпаемым источником для получения питательных веществ (сахаров, белков, жиров).

Белки – высокомолекулярные природные полимеры, необходимая составная часть всех организмов. В организме человека мономерами белков являются аминокислоты. При параметрах экструзии особое значение приобретает процесс денатурации белков. При денатурации белок изменяет свои физические, химические, свойства и теряет биологическую функцию. Гидрофильность белков зависит от их набухания, растворимости денатурации.

Вода – важнейший компонент всех пищевых продуктов, оказывающий влияние на их качественные показатели, сроки и условия хранения. Вода в пищевых продуктах может находиться в свободной или связанной форме.

Связанная влага по своим свойствам значительно отличается свободной: она не замерзает при низких температурах (вплоть до -40°C), не растворяет электролиты, имеет плотность, вдвое превышающую плотность свободной воды, не всегда удаляется из продукта при высушивании (химически связанная). Она также недоступна микроорганизмам в отличие от свободной. Поэтому для подавления микрофлоры в пищевых продуктах свободную влагу полностью удаляют или переводят в связанную, добавляя влагосвязывающие компоненты (соли, функциональные добавки, полисахариды и так далее).

Свободная влага (влага смачивания, макропор) свободно удаляется отжатием, вымораживанием, высушиванием. Она является растворителем органических и неорганических соединений, участвует во всех биохимических процессах протекающих при хранении и переработке пищевого растительного сырья.

Витамины. Экструзионные технологии позволяют более рационально использовать весь комплекс полезных свойств зерна. Хотя полностью избежать потерь витаминов не удастся. На степень сохранности или разрушения витаминов оказывают влияние: температура обработка, качество сырья, его влажность, давление, частота вращения шнека, диаметр отверстия матрицы. Установлено, что сохраняемость витаминов B_1 и B_2 возрастает с уменьшением продолжительности и температура обработки сырья и увеличением его влажности. Сохранность витамина B_1 возрастает с увеличением диаметра отверстий матрицы.

Минеральные вещества выполняют пластическую функцию в процессах жизнедеятельности человека, участвуют в важнейших обменных ферментативных процессах. Минеральные вещества в зависимости от содержания в организме делятся на макро- и микроэлементы. Элементы, содержание которых в организме и пище превышает 1 %, называют макроэлементами – кислород, углерод, азот, водород. Остальные макроэлементы имеют содержание менее 3 %. Это кальций, фосфор, калий, сера, натрий, магний и хлор. Элементы, суточная доза которых составляет от нескольких микрограммов до десятых долей грамма, называются микроэлементами: железо, медь, марганец, йод, цинк, хром, кобальт, фтор, молибден, никель, стронций, селен, ванадий, кремний. Они стиму-

лируют биохимические процессы, но в больших количествах могут оказывать токсическое действие на организм. Содержание микро- и макроэлементов не должно быть произвольным при поступлении в организм с пищей, так как их обмен взаимосвязан. Так обмен кальция тесно связан с обменом фосфора, и считается, что их оптимальное соотношение при питании взрослого человека должно составлять 1:1,5 [2, 3].

3 Классификация и характеристика экструдированных продуктов питания из растительного сырья

3.1 Классификация экструдированных продуктов

Экструдированные продукты, выпускаемые промышленностью, могут состоять как из одного компонента, так и включать в свой состав различные по питательности и структуре сырьевые источники, которые формируют заданные функциональные свойства конечного продукта. Поэтому по виду и составу сырья все виды экструдированных продуктов можно разделить на:

- простые однокомпонентные (состоящие из одного компонента – зерна, муки, крупы и других);
- сложные многокомпонентные состоящие из смеси (состоящие из смеси крупы, муки, зерна, сахара, соли, жировых компонентов, обогатительных и ароматических добавок, красителей, орехов, пищевых волокон и других).

Ассортимент используемых в производстве экструдированных продуктов видов сырья постоянно растет, но несмотря на это при различных режимах обработки получают изделия с плотной однородной, пористой и волокнистой структурой.

Изделия с плотной однородной структурой формируются при холодном, теплом экструдировании в процессе формования макаронных, хлебных изделий, полуфабрикатов вспученных экструдатов на основе смеси белка с полисахаридами.

Экструдированные продукты с волокнистой (анизатропной) структурой получают путем горячей экструзии на основе смеси белка с полисахаридами или на основе чистого растительного белка.

Экструдированные продукты с взорванной, пористой структурой изготавливают путем обработки крахмалосодержащего сырья в режиме горячего экструдирования.

Основными компонентами, которые формируют структуру экструдиро-

ванных продуктов, являются белки и углеводы. На процесс образования структуры экструдатов оказывают влияния и добавки (соль, сахар, жир, химические добавки), которые могут изменять реологические свойства сырья и тем самым влиять на структуру конечного изделия.

В процессе экструзионной обработки под действием структурно-механических, тепловых воздействий в сырье происходит ряд биохимических и физических процессов, которые формируют аромат и вкус готовых изделий. Такие процессы как карамелизация, клестеризация, денатурация, меланоидинообразование формируют структуру, вкус, аромат и запах экструдатов. Но решающее значение на формирование органолептических показателей экструдированных продуктов оказывает состав сырья, используемого для их получения. В связи с этим экструдированные продукты по составу сырья классифицируют на три группы по происхождению:

- получаемые на базе крахмала и полисахаридов;
- получаемые на основе растительных белков;
- получаемые на основе белков животного происхождения.

В состав группы на основе крахмала и полисахаридов входят различные взорванные продукты, получаемые путем экструзии крахмалосодержащего сырья: сухие завтраки (хлопья, палочки); модифицированный крахмал на базе зерновых продуктов; продукты на основе смешивания сахара, сухого молока, какао; быстрорастворимые блюда и напитки; продукты на базе картофеля; диетические продукты с повышенным содержанием пищевых волокон и продукты типа «мюсли»; детское питание.

Группа на основе растительных белков включает: продукты, получаемые при переработке семян бобовых культур – текстураты; сою-протеин, семечки масляных культур грубого помола.

Группа на основе белков животного происхождения включает: протеин молока, протеин сыворотки, протеин крови, продукты на базе экструдированной смеси мяса, субпродуктов, зернопродуктов и крахмала.

В зависимости от режимов обработки внутри этих групп выделяют про-

дукты на прямоэкструдруемые продукты (горячая экструзия) и на косвенно-экструдруемые продукты (холодная экструзия – снеки, пелетты).

Прямоэкструдруемые продукты – это продукты, полученные с помощью горячей экструзии и не требуют дополнительной кулинарной обработки перед употреблением.

Косвенно-экструдруемые продукты требуют перед употреблением дополнительной тепловой обработки для дополнительного расширения и добавления ароматических веществ.

Продукты, получаемые с помощью экструзии достаточно разнообразны по форме (шарики, колечки, трубочки, колесики с зубчиками, звездочки, рожки и так далее), они могут быть взорванными, обжаренными или подсушенными, глазированными, дражированными, начиненные начинкой.

Соотношение в составе сырья белка или крахмала определяет структуру конечного продукта, учитывая это, выделяют следующие группы продуктов:

- сырье с содержанием крахмала до 60 % позволяет получать экструдаты, структура которых близка к структуре экструдатов, полученных на основе только одного компонента – белка;

- сырье с содержанием крахмала в пределах 60 до 80 % позволяет получать экструдаты, коэффициент вспучивания которых минимальный. Свойства экструдатов в этом диапазоне определяются как крахмальной, так и белковой фазами, то есть получается продукт, обладающий признаками и пористой, и волокнистой микроструктуры. При этом достигается максимальная неоднородность экструдата, что сказывается на некотором снижении механической прочности;

- сырье с содержанием крахмала от 80 до 100 % позволяет получать экструдаты, структура которых близка к структуре экструдатов, полученных на основе только одного компонента – крахмала.

Характер образующейся микроструктуры экструдатов определяет глубину преобразований биополимеров в процессе их переработки. Так экструзионные продукты питания, содержащие преимущественно крахмал, могут иметь

изотропную или анизотропную (**пористую**) микроструктуру, а продукты, основным компонентом которых являются белки, характеризуются анизотропной (**волокнистой**) структурой (рисунок 3.1).

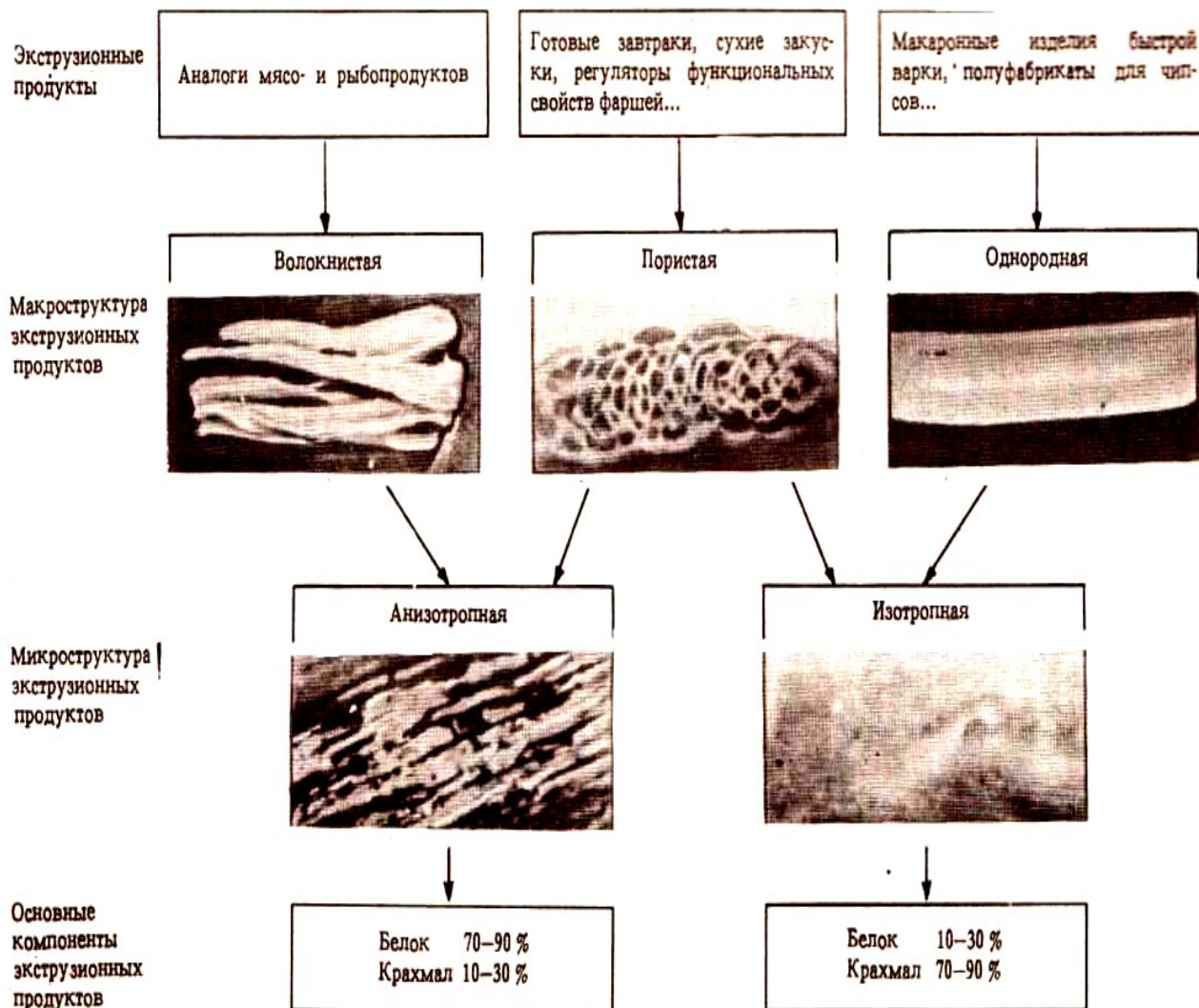


Рисунок 3.1 – Классификация экструдатов по макро- и микроструктуре

Величина коэффициента вспучивания экструдатов, полученных на основе крахмалосодержащего сырья, в два раза больше, чем у белковых экструдатов. Такое поведение коэффициента вспучивания обусловлено тем, что при содержании от 60 до 80 % крахмала в экструдатах происходит переход от непрерывной фазы крахмала, наполненной дисперсными частицами белка, к непрерывной белковой фазе, наполненной дисперсными частицами крахмала. То есть

при содержании от 60 до 80 % крахмала в исходной смеси биополимеров происходит инверсия фаз, что является характерным для расплава биополимеров. Причем область составов, отвечающая инверсии фаз биополимеров, практически не зависит от частоты сдвига при течении расплава в диапазоне 50-2700 с.

3.2 Характеристика экструдированных продуктов питания

Изменяя состав сырья, используя добавки, можно изменять структуру, пищевую ценность и назначение экструдированных продуктов.

На основе зернопродуктов и крахмалосодержащего сырья (муки, крупы, отрубей, зерна) получают экструдированные продукты:

- на зерновой основе без дополнительной обработки с покрытием или без покрытия (крупяные палочки, колечки, спиральки и другие);
- экструзионные хлебные сухарики, хлебцы;
- коэкструдруемые продукты на зерновой основе с различными начинками и покрытиями (подушечки, палочки);
- продукты из зерновых культур в виде хлопьев с дополнительным обжариванием в тостере;
- продукты на базе зерновых отрубей;
- продукты на основе зерновых с добавлением какао;
- продукты на основе зерновых, обогащенных протеином и витаминами группы В;
- продукты на базе зерновых и фруктов;
- косвенноэкструдированные продукты в горячем масле или обработкой горячим воздухом с покрытием или без покрытия (типа «пелетты»);
- макаронные продукты;
- диетические зерновые продукты без добавления соли, природно-обедненные сахаром, обогащенные витаминами с добавлением диетических волокон;

- модифицированные крахмалы для пищевых нужд;
- полуфабрикаты продукции для кондитерской и мясной промышленности;
- детское питание;
- продукты типа «мюсли» – зерновые хлопья с различными добавками (лесной орех, миндаль, сухофрукты, мед, сахарный сироп, шоколадные добавки, глюкоза, жиры);
- бисквиты;
- сухие суповые основы;
- плоские хрустящие хлебцы;
- изделия с начинкой;
- текстурированные продукты (текстурированная мука, текстураты круп).

Легкие зерновые лакомства для детей. Снековая продукция данной категории представляет собой сладкие разноцветные воздушные изделия на зерновой основе, полученные путем горячего экструдирования. Для привлекательности в них добавляют различные цветовые гаммы, а сами изделия имеют различную конфигурацию (шарики, звездочки, животные) с фруктовым, ягодным и молочным вкусом. Однако, несмотря на все разнообразие ассортимента, полностью сохраняется основополагающий принцип снекового изделия – натуральная зерновая основа и сбалансированный низкокалорийный состав (рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 – Экструдированные продукты для детского питания

Легкие закуски к пиву – наиболее прогрессивно развивающееся направление снекового производства, что, безусловно, объясняется постоянно растущим потреблением слабоалкогольных напитков. Изделия этой категории продукции характеризуются широким разнообразием форм. Вкусовой ассортимент при всех возможностях производства все же достаточно специфичен – остросоленые вкусы, копченые, рыбные и мясные ароматы.



Рисунок 3.3 – Экструдированные закуски к пиву

Экструзионные хлебные сухарики. Экструдированные сухарики (рисунок 3.4) – популярный и востребованный отечественным потребителем продукт с различным и вкусовыми добавками. Экструзионные хлебные сухарики при сохранении привычного вкуса и состава качественно превосходят традиционные по основным потребительским характеристикам: нежная хрустящая фактура, сбалансированный состав, низкая калорийность. Сухарики используются как продукты для легкого и быстрого перекуса, а также в качестве гарнира для супов и салатов. Получают сухарики путем горячего экструдирования зернового крахмалосодержащего сырья. Кратковременная экструзионная обработка позволяет максимально сохранить основные питательные вещества.



Рисунок 3.3 – Экструдированные сухарики

Низкокалорийные фитнес-закуски – сравнительно новое, но уже достаточно популярное и перспективное направление снековой индустрии. Основой для фитнес-закусок являются низкокалорийные натуральные компоненты злаковых культур, строго сбалансированные по минеральному и витаминному составу. К фитнес-закускам, получаемым с помощью экструзии, следует отнести хлопья, хлебцы, мюсли.

Основным сырьем при производстве хлебцев являются зерно, мука, белковые и вкусовые добавки. В настоящее время хлебцы наиболее востребованы при диетическом спортивном и здоровом питании (рисунок 3.4).



Рисунок 3.4 – Зерновые хлебцы, полученные из зерна ржи с помощью экструзии

Самый традиционный и востребованный потребителями продукт быстрого питания – хлопья. Их производят уже более века, однако спрос на хлопья среди населения не снижается, а для жителей Северной Америки этот продукт стал столь же незаменимым как хлеб, масло, молоко. Внедрение экструзионной техники позволило частично отказаться от традиционного, достаточно трудоемкого и затратного процесса производства хлопьев. Экструзионные хлопья по своим вкусовым характеристикам и сбалансированному составу превосходят традиционный продукт, а высокоэффективная технология производства при постоянно растущем спросе делает их, безусловно, перспективным для произво-

дителя продуктом (рисунок 3.5).



Рисунок 3.5 – Хлопья, шарики, зерна, полученные с помощью экструзии

Текстурированные продукты. Текстураты получают путем экструзионной обработки муки и крупы с высоким содержанием белка. Мука текстурированная и текстураты круп имеют высокие функциональные свойства и широко используются при производстве мясных изделий, молочных продуктов. Использование текстуратов позволяет создавать стабильные жировые и водные эмульсии при производстве пищевых продуктов, тем самым заменяя более дорогостоящие продукты животного происхождения. К примеру, использование текстуратов полностью заменяют крахмалы, яичный порошок в производстве майонезов (рисунок 3.6).



Рисунок 3.6 – Текстураты, полученные с помощью экструзии

Пеллеты. Пеллеты – это полуфабрикат вспученных экструдатов. Пеллеты представляют собой сухой полуфабрикат длительного хранения, полученный желатинизацией крахмала сырья с использованием экструзионных технологий, отформованный и высушенный до влажности 12 % и менее. Достоинством полуфабриката является его высокая транспортабельность, так как он достаточно компактен и по насыпной массе (насыпная плотность – от 300 до 450 г/дм³) в 10 раз превосходит готовый продукт. Низкая влажность полуфабриката обеспечивает длительный срок хранения до года и более, без использования специальной упаковки. Доводят до готовности и придают пористую структуру пеллетам путем погружения их в масло или путем обработки их горячим воздухом.

Для обработки в экструдерах применяются следующие виды сырья: кукурузная крупка, мука, крахмал; пшеничная мука, крупка, крахмал, отруби; ржаная мука, шрот, цельное зерно; овсяная мука, соевая крупка, соя, протеин; картофельный крахмал, хлопья; солод и солодовая мука; сыворотка сухая; льняные семечки, шрот льняных семечек; просо, крупка, цельное зерно; мед, сухое молоко, пищевые дрожжи, ароматические вещества, приправы; сахарный сироп, мальтозный сироп [1, 2, 3].

4 Трансформация основных компонентов экструдированного сырья в процессе экструзии

4.1 Физико-химические изменения в пищевых продуктах при экструдировании

Экструзия – это достаточно сложный высокотехнологичный процесс обработки пищевого сырья, в течение которого происходят различные по глубине физико-химические изменения, формирующие качество конечного продукта. Основными компонентами зернового сырья, которые подвергаются наибольшему воздействию и формируют качественные показатели готового продукта, являются белки и углеводы. Кроме основных компонентов в зерновом сырье содержатся в небольшом количестве клетчатка, жиры, минеральные вещества, моно- и дисахариды. Превращения этих элементов в процессе экструдирования не являются определяющими в изменении физико-химических свойств основных компонентов.

Полученные путем термопластической экструзии продукты характеризуются высокой пищевой ценностью, так как в процессе экструзии инактивируются антипитательные вещества, уничтожаются микроорганизмы. Все это происходит при высокотемпературной (от 110 до 200 °С), кратковременной обработке (от 30 до 60 с.) В процессе экструзии происходит варка увлажненного сырья, вследствие чего она именуется как варочная экструзия.

В процессе экструзии крахмалосодержащего вещества наибольшие изменения происходят с углеводным комплексом, идет интенсивная декстринизация и желатинизация крахмала с образованием крахмального геля, декстринов и сахаров.

Крахмал – высокомолекулярный полисахарид, состоящий из двух различающихся структурой, молекулярной массой, физико-химическими свойствами компонентов: амилозы и амилопектина. Крахмал подобно белкам обладает гид-

рофильными свойствами. Хотя в холодной воде крахмальные зерна лишь набухают, но не растворяются. Под действием тепловой энергии возрастает набухание зерен и разрушение их структуры. Они увеличиваются в размерах и при определенной температуре разрушаются (от 55 до 80 °С). Крахмальная суспензия превращается в вязкий коллоидный раствор крахмальный клейстер. При повышении температуры его вязкость снижается, при понижении до комнатной температуры он превращается в упругий гель с трехмерной структурой.

В средах пониженной влажности с повышением температуры крахмал переходит в вязко-текучее (клейстеризованное) состояние, образуя так называемый расплав, охлаждение которого приводит к образованию трехмерной сетки геля. Существенная роль при этом отводится содержанию в крахмалах амилозы и амилопектина. На степень расширения в первую очередь оказывает содержание количества амилозы. Расширенный, богатый амилозой крахмал имеет белый цвет, его текстура тонкая и равномерная.

Амилопектин расширяется, начиная с более низкой температуры (170 °С для продукта), однако это расширение быстро снижается с увеличением температуры. Измерение молекулярной массы и вязкости показали, что амилоза и амилопектин частично гидролизуются до мальтодекстринов в результате сильного сдвига при экструзии.

Составляющие крахмала в зерновой или бобовой муке могут легче гидролизываться, чем в очищенных крахмалах, потому что эндогенные амилозы активны во время первых этапов экструзии. Из-за желатинизации крахмала и частичного его гидролиза экструзия используется для приготовления муки, крахмалов с различными функциональными и реологическими свойствами (пониженная вязкость, повышенная растворимость и другое).

Во время обработки крахмала, при высоких температурах от 180 до 200 °С начинается разложение крахмала с выделением газообразных продуктов, включая диоксид и оксид углерода, а также следы летучих кислот и альдегидов. При этом около 5 % крахмала превращается в газообразные продукты.

Также в растительном сырье представлен такой полисахарид как клетчатка. Под действием экструзии заметно изменяются физико-химические свойства и физиологические качества – заметно возрастает содержание диетической клетчатки, что очень важно с позиции физиологической роли экструдированных продуктов. Так известно, что пищевые волокна выводят из организма некоторые метаболиты пищи и загрязняющие вещества, регулируют процессы пищеварения и обеспечивают профилактику заболеваний человека (сахарного диабета, атеросклероза и других). Перевариваемость пищевых волокон существенно возросла после экструзии. Это связывается с их химической модификацией.

Белок-компонент, чувствительный к теплу и сдвигу, может вступить в реакцию с различными составляющими продукта. Влажная температурная обработка и механическое воздействие вызывают структурное разворачивание белка с разрывами ионных, дисульфидных и водородных связей естественной третичной структуры. Денатурация белка приводит к увеличению количества пептидов и свободных аминокислот. Следствие этого процесса – повышение перевариваемости белка и частичное или полное разрушение антипитательных факторов, таких, как ингибиторы трипсина. При экструзионной обработке обезжиренной соевой муки большая часть этих веществ разрушается при температуре 140 °С. Температура экструзии также влияет на белковые компоненты экструдатов. Ее повышение приводит к увеличению водосвязывающей способности, к снижению жиропоглощительной способности, доли растворимых азотсодержащих веществ и белков, растворимых в воде и солевом растворе.

Качественный состав растворимых белков также изменяется. При исследовании белковых фракций экструдированной соевой муки установлено, что количество водорастворимых белков уменьшается, тогда как соле- и щелочерастворимых – увеличивается. Это свидетельствует об увеличении водородных и гидрофобных связей после экструзии.

Экструзионная обработка белковых материалов широко используется для изменения их структуры. В частности, обезжиренный соевый белок может быть

реконструирован в экструдере, чтобы получилась сложная пористая структура, похожая на мясо. В связи с тем, что сырьевые материалы подвергаются высокотемпературной обработке, а также то, что белковые вещества используются для изготовления продуктов, сбалансированных по основным пищевым компонентам, особое внимание уделяется исследованию пищевой ценности экструдатов. Практически во всех работах, посвященных этому вопросу, отмечается повышение пищевой ценности после экструзии. Это связано главным образом с повышением перевариваемости белка в результате тепловой денатурации белков и инактивации ингибитора трипсина. Большинство экструдированных зерновых продуктов содержит менее 6-7 % липидов сразу после экструзии, так как их высокий уровень мешает экспандированию. Напротив, небольшие уровни липидов (менее 5 %) обеспечивают ровную экструзию и улучшают структуру. Экспандированные экструдаты, таким образом, могут считаться низкокалорийными продуктами. Исследование влияния липидов на свойства экструдированных продуктов показало, что усилие среза увеличивалось при снижении содержания липидов с 3,9 до 1,8 % , но снова возрастало при концентрации последних 0,2 %. Водоудерживающая способность и коэффициент расширения возрастали при снижении содержания липидов. Концентрация их не влияла на насыпную плотность готового продукта. Инактивация экструзией липазы и липоксигеназы помогает предупреждать окисление во время хранения, хотя пористость экспандированных продуктов способствует окислительной порче. Зерновые – важные источники витаминов группы В. Между показателем разрушения большинства термочувствительных витаминов группы В (фолиевая кислота, В, В₆, В₁₂) и подачей энергии было установлено линейное соотношение.

Во время экструзии постоянно наблюдается 20-40 %-ная потеря витамина С, вероятно, в результате повышенного окисления при высокой температуре. Содержание железа в смеси катализирует этот процесс.

Каратиноиды довольно хорошо противостоят экструзии, но некоторые затем окисляются во время хранения. Перспективный способ улучшения витаминного состава – напыление витаминов на экструдаты.

Недостаток диетической клетчатки в питании (балластных веществ, пищевых волокон), отмечаемый сегодня во всех развитых странах мира, вызвал бурный рост работ по созданию высоковолокнистых продуктов. Особое внимание уделяется производству экструдированных продуктов на зерновой основе, так как зерновые сами по себе являются важным источником диетической клетчатки. Существенных изменений в соотношении растворимых и нерастворимых пищевых волокон в экструдатах не обнаружено. Перевариваемость пищевых волокон существенно возросла после экструзии. Это связывается с их химической модификацией. Гетерофазный характер систем, образующихся при внесении биополимеров балластных веществ, влияет на свойства расплавов при экструзионной обработке и обуславливает качество готовых продуктов. Присутствие некрахмальных полисахаридов, таких как пищевые волокна, снижает растяжимость и способность материала, стенок ячейки удерживать газ при образовании пузырьков пара на выходе из фильеры. Механизм действия пищевых волокон представляется следующим образом. На первом этапе экструзии под влиянием нагревания в присутствии воды крахмал теряет свою нативную молекулярную структуру, которая поддерживается в основном водородными связями. В этот период пищевые волокна увеличивают механическую энергию, что способствует большей молекулярной дезорганизации крахмала и уменьшению размеров молекул амилопектина. Возрастание количества молекул с меньшей молекулярной массой подтверждается увеличением растворимости экструдатов при введении пищевых волокон почти в 2 раза. Такие крахмалы характеризуются меньшими когезионностью и экспандированием преимущественно в радиальном направлении, образуя продукты с более мелкими порами и структурами.

4.2 Механизм и основные концепции формирования структуры экструдатов

При экструзионной обработке крахмалосодержащего растительного сырья происходят изменения в составе и свойствах компонентов, определяющие органолептические, физико-химические, структурно-механические свойства готовых продуктов, их пищевую и биологическую ценность. Глубина этих изменений определяется параметрами экструзии.

В ходе экструдирования исходный крахмалсодержащий материал, подвергающийся термомеханической деструкции, переходит из дисперсного сыпучего состояния в упруго-вязкопластичную массу (гель), характерную для крахмальных клейстеров высоких концентраций и денатурированных белков. Эти превращения происходят при действии на сырье, с необходимым количеством влаги (до 40 %), высоких температур (до 200 °С) и давления (до 25 МПа).

Если продукт, уплотняясь, прогревается за счет сил трения частиц о поверхности вращающихся рабочих органов и деформаций сдвига, то такой режим работы называется автогенным. Если же присутствует дополнительный регулируемый нагрев от внешнего источника тепла (электрообогрев), то режим работы – политропный. Образующаяся масса перемещается шнеком к матрице и при определенном давлении выпрессовывается через ее отверстия.

Величина давления в значительной мере обусловлена сопротивлением отверстий матрицы и структурно-механическими свойствами обрабатываемой массы. После выхода продукта из отверстий матрицы в результате резкого перепада температуры и давления (между зонами высокого от 6 до 25 МПа) и атмосферного давления) происходит мгновенное ($1,2 \cdot 10^{-4}$ с) испарение влаги. Аккумулированная продуктом энергия высвобождается со скоростью, примерно равной скорости взрыва, что приводит к образованию пористой структуры и увеличению объема экструдата (расширению). При этом в результате «взрыва» продукта (или «декомпрессионного шока») происходят глубокие преобразования его структуры: разрыв клеточных стенок, деструкция и гидролиз.

Доказано, что расширение продукта на выходе из отверстий матрицы непосредственно является следствием физических свойств воды. При таких термических условиях (температура в экструдере может изменяться в пределах от 110 до 200 °С) и под очень большим давлением вода существует только в жидком состоянии. Когда пластифицированный материал выходит из фильер и достигает атмосферного давления, вода из состояния перегретой жидкости мгновенно превращается в пар, выделяя значительное количество энергии. Под действием давления пара в продукте образуются поры, а оставшиеся целыми крахмальные зерна разрываются. Резкое понижение температуры обеспечивает затвердевание крахмала и фиксирует альвеолярную структуру, образовавшуюся под действием водяного пара.

В процессе экструдирования при высоких давлениях и температурах создаются условия для так называемой «сухой клейстеризации» или желатинизации крахмала. Молекулы крахмала подвергаются максимальной деструкции в процессе выхода продукта из экструдера. Вода из состояния перегретой жидкости мгновенно превращается в пар, разрушая при этом молекулы амилозы и амилопектина до декстринов и сахаров. В результате гидротермической обработки в экструдатах резко снижается содержание крахмала с соответствующим увеличением содержания водорастворимых сахаров и декстринов, улучшается атакуемость крахмала глюкоамилазой, что обеспечивает высокую питательную ценность готовых продуктов.

Вспучивание полуфабриката происходит следующим образом. Желатинизация крахмала приводит к образованию крахмального геля, который, попадая в горячую среду, размягчается, приобретая упруго-эластичные свойства, а влага, превращаясь внутри геля в пар, образует в нем мельчайшие пузырьки и поры. Происходит насыщение геля множеством пузырьков, то есть вспучивание.

Общая схема процесса термопластической экструзии биополимеров представлена на рисунке 4.1. Слежение за процессом экструзии биополимеров осуществляется путем контроля, как минимум, трех параметров: влажности экструдруемого сырья, температуры в различных зонах экструдера, а также ско-

рости вращения шнека экструдера. При этом в экструдере, как правило, выделяют несколько основных зон – зону питания, зоны плавления и дозирования, а также головку экструдера с фильерой.

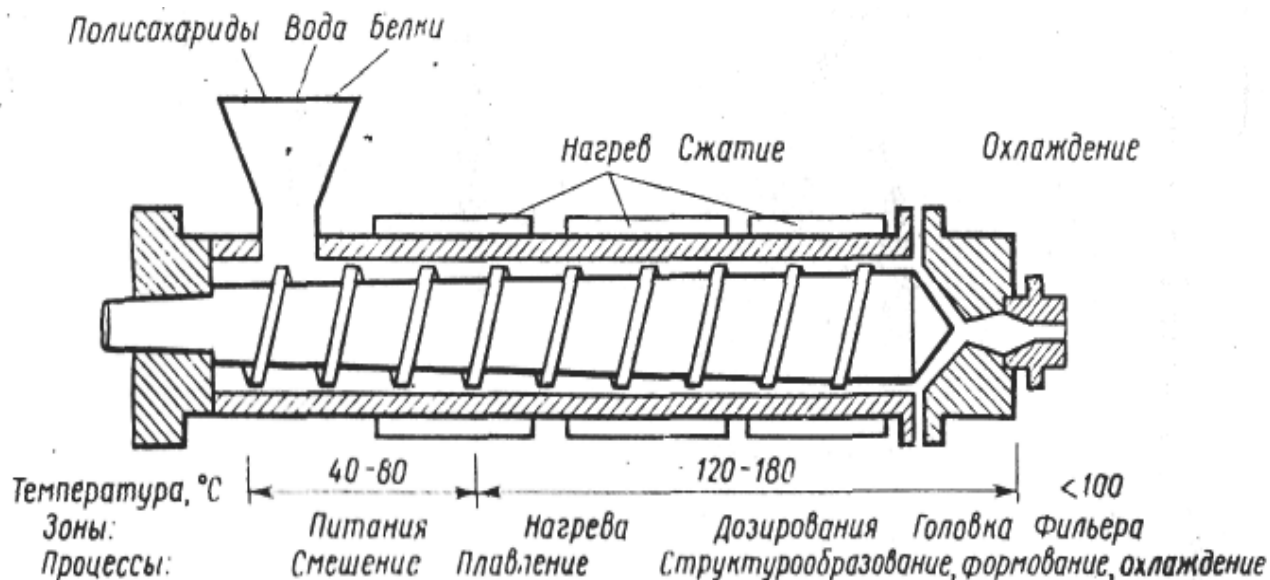


Рисунок 4.1 – Общая схема процесса термопластической экструзии

При использовании одношнековых машин предварительно увлажненное и перемешанное сырье попадает в зону питания, где оно дополнительно перемешивается и сжимается с помощью шнека. Следует отметить, что при использовании двухшнековых машин увлажнение экструдруемого сырья может осуществляться путем впрыскивания воды непосредственно в канал экструдера. В зоне питания осуществляется нагрев экструдруемого сырья до температуры 60-80 °C. При такой температуре и содержании воды до 30 % биополимеры пластифицируются и переходят из стеклообразного состояния в высокоэластичное.

В зоне плавления, в которой температура обычно поддерживается 120-190 °C, материал переходит в вязко-текучее состояние, образуя расплав биополимеров. В этих условиях происходит денатурация нативных белков и желатинизация крахмалов. При этом кристаллические области способных к кристаллизации биополимеров, например амилозы и амилопектина в составе крахмала,

плавятся, а аморфные переходят из неупорядоченного высокоэластического состояния в вязко-текучее. В зоне дозирования завершаются процессы перехода биополимеров в вязко-текучее состояние. Наиболее интенсивно структурообразование расплавов биополимеров протекает под действием сил сдвига и растяжения в головке экструдера и фильере. Это обусловлено изменением реологических условий течения в этих зонах. В зависимости от конструкции фильеры можно получать экструдаты всех трех типов структур: пористой, волокнистой и однородной макроструктуры. Последние две получают, используя охлаждаемые фильеры, в которых происходит постепенное охлаждение расплава биополимеров и понижение давления, что предотвращает "взрывное" испарение воды на выходе расплава биополимеров из фильеры. При получении экструдатов пористой макроструктуры, наоборот, используют короткие неохлаждаемые фильеры. При выходе расплава биополимеров через такую фильеру происходит резкий сброс давления, что приводит к "взрывному" испарению воды и образованию пористой макроструктуры.

Таким образом, общий анализ процесса показывает, что необходимыми условиями получения экструзионных продуктов питания являются: увлажнение и пластификация сырья, получение расплава биополимеров, денатурация белков и клейстеризация крахмалов, структурирование расплава под действием сил сдвига и растяжения, его охлаждение и формование. Следует отметить, что наиболее важным из перечисленных условий является получение расплава биополимеров, то есть переход биополимеров в условиях экструзии в вязко-текучее состояние. Способность биополимеров переходить в вязко-текучее состояние обеспечивает проведение самого процесса и отражено в названии процесса экструзии как термопластической.

4.3 Факторы, влияющие на процесс экструзии

Установлено, что характер и интенсивность протекания процесса экструзии и глубину физико-химических изменений экструдата определяют основные технологические параметры:

- температура и давление экструдированного материала перед матрицей;
- влажность сырья;
- гранулометрический состав;
- химический состав и свойства сырья;
- продолжительность нахождения продукта в рабочей зоне экструдера;
- конструкция матрицы;
- частота вращения прессующего шнека;
- конструкция шнековой части экструдера.

Выбор гранулометрического состава экструдированного сырья – важное условие получения качественного продукта, так как использование сырья различного гранулометрического состава сопровождается неустойчивостью процесса экструзии. Неравномерность частиц по размеру в процессе экструзионной обработки ведет к получению палочек с неразвитой по сечению пористостью. Поэтому, обращая внимание на однородность размера частиц, необходимо контролировать также содержание крупных и мелких частиц. Содержание мелких частиц может привести к запеканию выходного отверстия матрицы, что остановит процесс экструдирования. Размер и гранулометрический состав частиц может изменяться в зависимости от вида и качества конечного продукта.

К примеру, согласно исследованиям Острикова А.Н., Магомедова Г.О., экструдированные продукты (крупяные палочки) с наилучшими качественными показателями могут быть получены из зерновой смеси с размером частиц от 0,16 до 0,63 мм [1, 2, 3].

5 Методы оценки качества экструдированных продуктов и процесса экструзии

5.1 Органолептическая оценка качества экструдатов

Органолептическая оценка качества – это оценка, при которой информация о качестве воспринимается органами чувств человека. Органолептический анализ основан на применении научно обоснованных методов и условий, гарантирующих точность и воспроизводимость результатов.

Органолептический метод быстро и при правильной постановке анализа объективно и надежно дает общее впечатление о качестве продуктов.

Разновидностью органолептического метода является сенсорный, дегустационный метод.

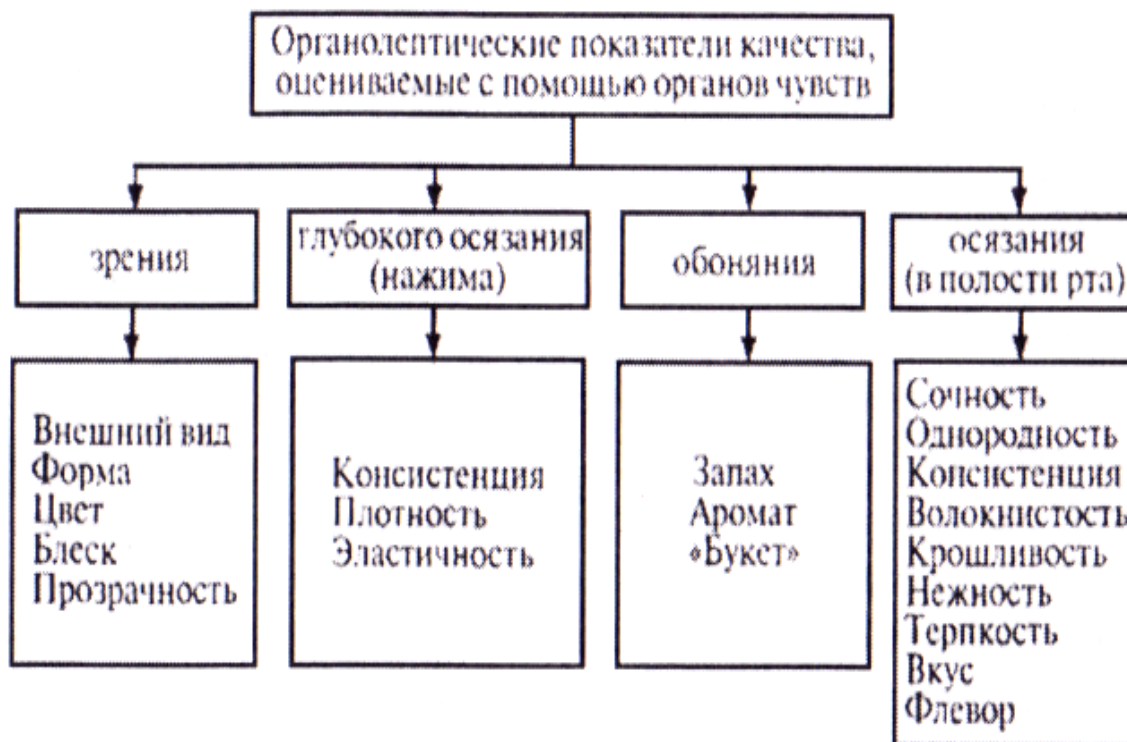


Рисунок 5.1 – Классификация органолептических показателей качества пищевых продуктов

Показатели качества, определяемые с помощью зрения:

- внешний вид – общее зрительное ощущение, производимое продуктом;
- форма – соединение геометрических свойств (пропорций) продукта;
- цвет – впечатление, вызванное световым импульсом, определенное доминирующей длиной световой волны и интенсивностью;
- блеск – способность продукта отражать большую часть лучей, падающих на его поверхность (в зависимости от гладкости поверхности продукта);
- прозрачность – свойство жидких продуктов, определяемое степенью пропускания света через слой жидкости некоторой толщины.

Восприятие цвета зависит от субъективных факторов: физиологических особенностей дегустатора, возраста, квалификации, нарушения цветового зрения, цели дегустаций.

Влияние различных факторов на зрительное восприятие необходимо учитывать при организации дегустационного контроля качества продукции. Помещение должно быть хорошо освещено, предпочтительно рассеянным дневным светом без проникновения прямых солнечных лучей. Освещенность рабочих мест должна быть равномерной и составлять не менее 500 лк. Из искусственных источников света предпочтительны люминесцентные лампы. Стены лаборатории следует окрашивать в белый, кремовый или светло-серый цвет, мебель должна быть белого цвета.

Показатели качества, исследуемые с помощью глубокого осязания (нажима):

- консистенция – свойство продукта, обусловленное его вязкостью и определяемое степенью деформации во время нажима;
- плотность – свойство сопротивления продукта нажиму;
- эластичность – способность продукта возвращать первоначальную форму после нажима, не превышающего критической величины (предела эластичности).

При оценке консистенции особое внимание следует уделять размерам образцов и их температуре.

Показатели качества, определяемые обонянием:

- запах – впечатление, возникающее при возбуждении рецепторов обоняния, определяемое качественно и количественно;
- аромат – приятный естественный характерный запах исходного сырья (молока, фруктов, специй и других);
- «букет» – приятный запах, развивающийся под влиянием сложных процессов, происходящих во время созревания, брожения и ферментации (например, «букет» выдержанного вина).

Впечатлительность обоняния и других сенсорных восприятий изменяется в зависимости от индивидуальных различий порогов чувствительности, возраста, умения запоминать и распознавать известный запах, цвета, вкуса продукта, а также внешних условий. Из них особенно важны степень очистки воздуха, температура, относительная влажность воздуха, освещенность помещения.

Показатели качества, определяемые осязанием (в полости рта):

- сочность – впечатление, возникающее под действием соков продукта во время разжевывания (например, продукт сочный, малосочный, суховатый, сухой);
- однородность – впечатление, вызванное размерами частиц продукта (однородность начинок экструдированных продуктов);
- консистенция – осязание, связанное с густотой, клейкостью продукта, силой нажима (консистенция жидкая, сиропообразная, густая, плотная); она чувствуется при распределении продукта на языке; часто консистенция продукта воспринимается потребителем как сумма вкуса, запаха и ощущений.

Консистенция не только взаимосвязана с вкусовыми свойствами и запахом продукта, но также влияет на усвояемость или характеризует его свежесть.

- волокнистость – впечатление, вызываемое волокнами, оказывающими сопротивление при разжевывании продукта, которое можно ощущать ка-

чественно и количественно (например, текстурированные продукты с тонкими волокнами);

- крошливость – свойство твердого продукта крошиться при раскусывании и разжевывании, обусловленное слабой степенью сцепления между частицами;
- нежность – условный термин, оценивается как сопротивление, которое оказывает продукт при разжевывании (например, нежные);
- терпкость – чувство, вызванное тем, что внутренняя поверхность полости рта стягивается и при этом появляется сухость во рту;
- вкус – чувство, возникающее при раздражении рецепторов и определяемое как качественно (сладкий, соленый, кислый, горький), так и количественно (интенсивность вкуса);
- флевор, или вкусность, – комплексное впечатление вкуса, запаха и осязания при распределении продукта в полости рта, определяемое как качественно, так и количественно.

5.2 Физико-химические показатели экструдированных продуктов

Физико-химические показатели экструдатов, в большинстве случаев нормируемые нормативными и техническими документами, включают: массовую долю влаги, сахарозы, жира, поваренной соли, металлических примесей, постороннюю примесь, зараженность вредителями хлебных запасов. В зависимости от вида экструдированных изделий дополнительно определяют размеры – для палочек, массовую долю мелочи и стекловидных хлопьев – для хлопьев, насыпную плотность зерен – для воздушных зерен и другие показатели.

Определение этих показателей осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ 15113:

- **массовая доля влаги** – высушиванием до постоянной массы, основанном на способности исследуемого продукта отдавать гигроскопическую влагу

при температуре 100-105 °С; методом ускоренного высушивания, осуществляемым в сушильном шкафу при 130 °С; определением влаги на приборе ВЧ, основанным на обезвоживании продукта с помощью тепловой энергии инфракрасного излучения, которая, проникая внутрь тонкого слоя (2-3 мм) продукта, быстро удаляет имеющуюся в нем влагу;

- **массовая доля сахарозы** – перманганатометрическим методом, основанным на объемном определении закисного соединения меди, образующегося при восстановлении окисной меди редуцирующими сахарами; рефрактометрическим методом, использующим установленную зависимость между концентрацией и показателем преломления водных растворов сахарозы;

- **массовая доля жира** – по обезжиренному остатку путем экстрагирования жира из исследуемого продукта этиловым спиртом или петролейным эфиром в экстракционном аппарате Сокслета и последующим гравиметрическим определением добавленного жира по разности между массой навески исследуемого продукта до экстракции и массой той же навески после экстракции;

- **массовая доля поваренной соли** – аргентометрическим методом, основанным на титровании хлористого натрия в нейтральной среде раствором азотнокислого серебра в присутствии хромовокислого калия в качестве индикатора;

- **массовая доля металлических примесей** – выделением металломагнитных примесей с помощью подковообразного магнита и металлических немагнитных примесей путем механического разбора;

- **зараженность вредителями хлебных запасов** – осмотром транспортной и потребительской тары, вспомогательных упаковочных средств и последующим разбором продукта с целью выделения вредителей хлебных запасов;

- **размер палочек** – измерением линейкой, микрометром или штангенциркулем;

- **массовая доля мелочи** – просеиванием пробы на лабораторном рассеве или вручную через сита с отверстиями диаметром, определенным для каждого вида экструдированных продуктов;

- **массовая доля посторонних примесей и стекловидных хлопьев** разбором и выделением посторонних примесей и стекловидных хлопьев из испытуемой навески;

- **насыпная плотность** – взвешиванием сосуда вместимостью 1 дм³, наполненного воздушными зёрнами.

Набухаемость экструдатов: для определения этого показателя навеску измельченного образца массой 5 г смешивают в мерном цилиндре с дистиллированной водой, доводят объем смеси до 100 см³ и оставляют на 24 часа для набухания, после чего измеряют объем набухшего продукта (в см³). Набухаемость, см³/г, рассчитывается по формуле:

$$H = \frac{V}{m} \quad (1)$$

где V – объем набухшего материала в цилиндре, см³; m – масса навески, г.

Влагоудерживающую способность, %, определяют центрифугированием набухшей навески измельченных гранул при 3000 об/мин в течение 15 минут по формуле:

$$B = \frac{100(b - c)}{a} \quad (2)$$

где c – масса центрифужной пробирки, г; b – масса центрифужной пробирки с набухшей навеской, г; a – навеска образца, г.

Насыпную массу экструдатов получают путем заполнения исследуемым образцом специального мерного стакана объемом 1 дм³. Избыток экструдата удаляют сухой плоской металлической пластинкой и взвешивают. Насыпную массу вычисляют по формуле:

$$M = \frac{(c - t)}{V} \quad (3)$$

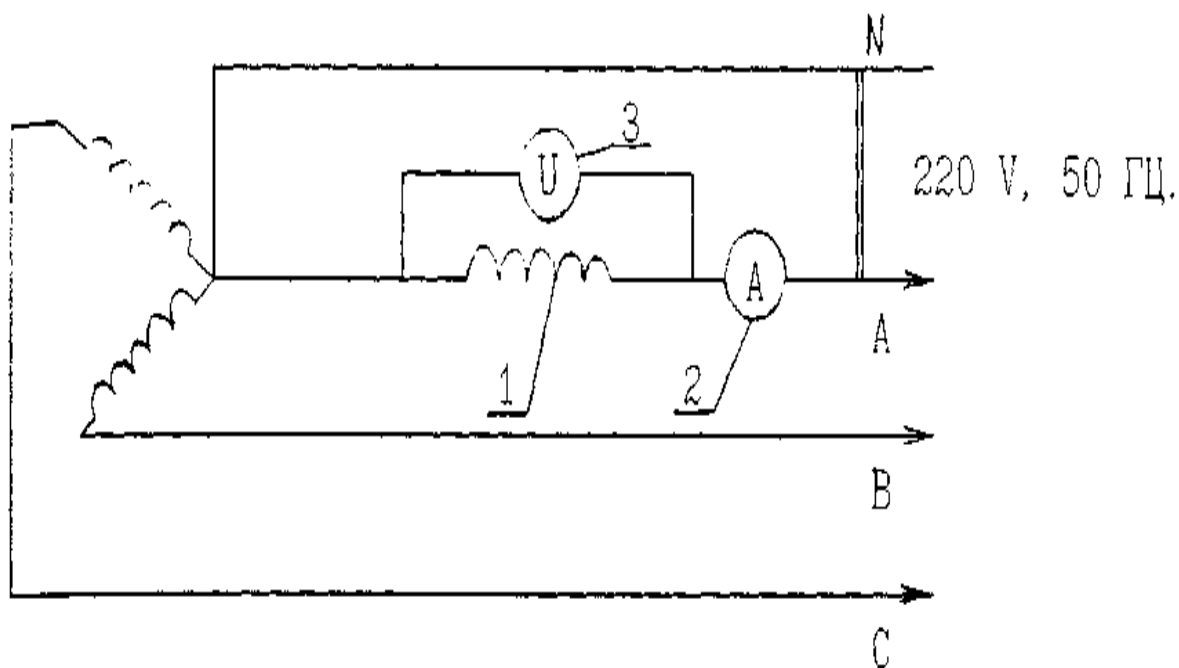
где c – масса мерного стакана, заполненного экструдатом, г; t – масса пустого мерного стакана, г; V – объем мерного стакана, дм³. Метод аналогичен определению объемной массы по ГОСТ 15113.1.

Физико-химические показатели сухих завтраков – хлопьев кукурузных и пшеничных.

5.3 Удельный расход энергии на проведение процесса экструдирования

Для контроля процесса экструдирования и определения затрат на производство экструдированных продуктов определяют удельный расход электроэнергии по таким показателям, как сила тока и напряжение в цепи электродвигателя. Для измерения силы тока используют амперметр, а для измерения напряжения подключают вольтметр.

Схема подключения приборов для измерения силы тока и напряжения на электродвигателе экструдера представлена на рисунке 5.2.



1 – обмотка электродвигателя; 2 – амперметр; 3 – вольтметр

Рисунок 5.2 – Схема подключения измерительных приборов

Удельный расход электроэнергии определяется по формуле:

$$\Theta = \frac{3800 \cdot N}{Q} \quad (4)$$

где N – мощность, потребляемая электродвигателем, кВт/сек; Q – производительность, кг/ч.

Мощность электродвигателя определяется по формуле:

$$N = \frac{3 \cdot I \cdot U}{1000} \cos \varphi \quad (5)$$

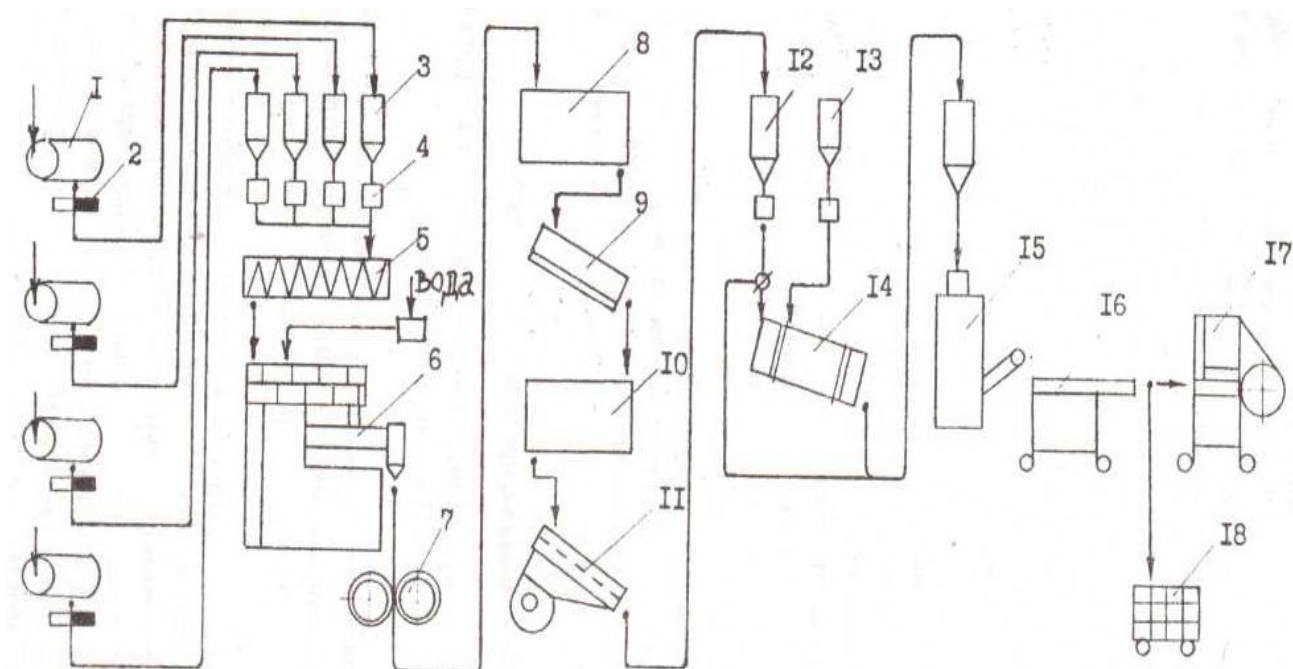
где I – сила тока в цепи электродвигателя; U – напряжение в цепи электродвигателя; $\cos \varphi$ – коэффициент смещения фаз.

Удельный расход энергии на подготовку крупы и другие процессы, связанные с обработкой сырья определяется аналогично.

6 Технологии экструдированных продуктов

6.1 Производство кукурузных хлопьев с использованием экструзии

Производство кукурузных хлопьев осуществляют с использованием кукурузной крупы, которую могут обогащать пищевыми волокнами, витаминами и пищевыми добавками. Хлопья могут производиться как в чистом, так и в глазированном виде. Для получения необходимого вкуса и цвета конечного продукта кукурузные зерна смешиваются с сахаром, солью и солодовым экстрактом (рисунок 6.1).



1 – бурат; 2 – магнитное ограждение; 3 – наддозаторный бункер; 4 – дозатор;
5 – смеситель; 6 – пресс-экструдер; 7 – плющильный станок; 8 – сушилка;
9 – кондиционер; 10 – тостер; 11 – охладитель; 12 – бункер для готовых хлопьев;
13 – бункер для добавок; 14 – дражировщик; 15 – фасовочный автомат; 16 – стол инспекционный; 17 – обандероливающий аппарат; 18 – тара оборудование.

Рисунок 6.1 – Технологическая схема получения кукурузных хлопьев с помощью экструзии

Эта смесь непрерывно дозируется в смесительную емкость с водой, чтобы получить тесто с влажностью около 30 %. Процесс смешивания, как и последующий процесс экструзионной варки, протекает непрерывно. Экструзионная обработка осуществляется с применением одношнекового экструдера, отличительной особенностью которого является низкоскоростное вращение шнека, что вызывает малую скорость сдвига материала. Этот тип экструдера был специально разработан для обработки муки и крупы зерновых культур для того, чтобы обеспечить минимальные разрушения структуры крахмала в зерне и получить при этом необходимую степень проваривания материала.

Процесс варки в экструдере происходит при температуре 150 °С примерно в течение 1 минуты. Поддержание температуры на заданном уровне осуществляется за счет подогреваемого кожуха камеры экструдера и саморазогрева материала, возникающего в результате механического воздействия на тесто в виде сил трения и сжатия.

На последней стадии обработки в экструдере проваренное тесто подвергается сжатию и формованию, проходя через специальное выходное отверстие (фильеру), которое расположено в конце варочной секции камеры и обеспечивает сброс давления и частичное охлаждение экструдированного материала.

Для получения кусочков, необходимых для формования хлопьев, близких по размерам традиционным зернам, экструдированное тесто на выходе из экструдера разрезается специальными вращающимися ножами для того, чтобы получить из горячего, компактного теста небольшие шарики с диаметром, близким к традиционному зерну размером около 5-6 мм. Полученные шарики поступают на плющильный станок, где из них получают хлопья. Для предупреждения прилипания продукта в процессе плющения вальцы плющильного станка охлаждают. Размер зазора на плющильных станках не должен превышать 3,0 мм. Далее хлопья подвергают сушке горячим воздухом на вибрационной сушилке в течение нескольких минут, что приводит к подсушиванию их поверхности и предотвращает последующее слипание.

Заключительная тепловая обработка полуфабрикатов осуществляется с использованием тостера, куда продукт поступает на ленточный транспортер. Транспортер из металлической сетки перемещает хлопья в камере тостера со скоростью, обеспечивающей их нахождение в рабочей зоне в течение 15-20 секунд. Этого периода времени достаточно для доведения хлопьев до готовности. В процессе движения хлопьев в тостере они обдуваются горячим воздухом с температурой от 240 до 300 °С. Нагрев воздуха осуществляется с использованием газовых горелок. Обжаренные хлопья поступают на охлаждение, а затем – на дражиратор, где на них наносят вкусовые добавки или карамель. Обработанные хлопья подаются на фасовочные автоматы. Срок хранения упакованных хлопьев при относительной влажности воздуха 70-75 % и температуре не выше 20 °С составляет 6 месяцев и более в зависимости от используемых в их составе добавок [10].

6.2 Производство крупяных и хлебных палочек

Крупные палочки давно известны населению нашей страны, пионером среди этих продуктов являются кукурузные палочки, вкус которых всем известен с детства. Сегодня в производстве крупяных палочек используют различные виды круп и крахмалосодержащего сырья, поэтому ассортимент и название палочек достаточно большой.

Экструдированные крупяные палочки вырабатывают из крупы или смеси круп путем термической обработки при высоком давлении в экструдере с добавлением или без добавления сахара, соли, пищевых красителей, вкусоароматических добавок, а также других компонентов. Крупяные палочки предназначены для употребления в пищу без дополнительной кулинарной обработки в качестве сухого завтрака, гарнира к различным блюдам, закуски к напиткам (соку, молоку, пиву и другим). Экструдированные крупяные палочки в за-

висимости от используемых компонентов выпускают следующих наименований:

- крупяные палочки;
- крупяные палочки сладкие – сладкие;
- крупяные палочки сладкие – сладкие, с красителем;
- крупяные палочки сладкие с кокосовой стружкой – сладкие, с нанесением кокосовой стружки;
- крупяные палочки сладкие с кокосом – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «кокос»;
- крупяные палочки сладкие с маком – сладкие, с нанесением мака;
- крупяные палочки сладкие с ароматом кокоса и кокосовой стружкой – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «кокос», с нанесением кокосовой стружки;
- крупяные палочки с солью – соленые;
- крупяные палочки с солью – соленые, с красителем;
- крупяные палочки с солью с бета-каротином – соленые, с бета-каротином.

Крупяные палочки с вкусо-ароматическими добавками:

- сладкие с ароматом вишни – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «Вишня», с красителем;
- сладкие с ароматом корицы – сладкие, с вкусо-ароматической добавкой «Корица»;
- сладкие с ароматом шоколада – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «Шоколад», с красителем;
- сладкие с ароматом яблока – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «Яблоко», с красителем;
- сладкие с ароматом ананаса – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «Ананас», с красителем;
- сладкие с ароматом ванили – сладкие, с ароматизатором, идентичным натуральному «Ваниль»;

– соленые с ароматом бекона – соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Бекон»;

– соленые с ароматом сыра – соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Сыр»;

– соленые с ароматом паприки – соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Паприка»;

– соленые с ароматом сметаны и укропа - соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Сметана - укроп»;

– соленые с ароматом сыра и лука - соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Сыр - лук»;

– соленые с ароматом крабов - соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Крабы»;

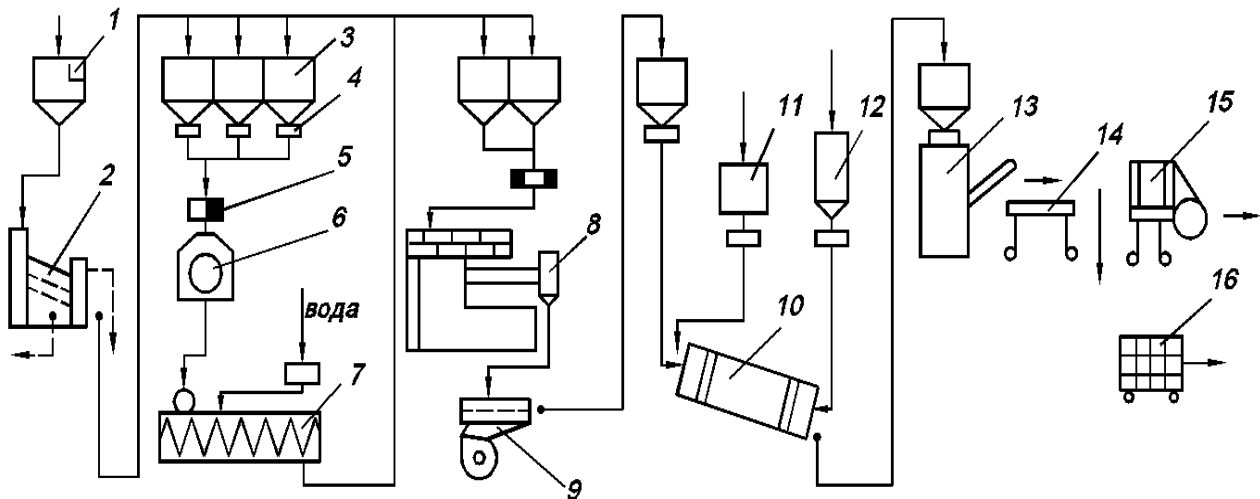
– соленые с ароматом креветок - соленые, с ароматизатором, идентичным натуральному «Креветки».

Получают крупяные палочки с помощью горячей экструзии при давлении в пресс-экструдере 3-7 МПа и температуре продукта на выходе из фильеры 130-170 °С. При таких высоких температурах и давлении перерабатываемый материал подвергается глубочайшим физико-механическим изменениям, преобразуясь из дисперсной сыпучей массы в упруго-вязко-пластичную (гель), которая на выходе из фильеры вспучивается в результате резкого перепада температуры и давления, что ведет к взрывному испарению влаги из экструдата и образованию пористой структуры. Резкое понижение температуры обеспечивает затвердевание крахмала и фиксирует альвеолярную трехмерную структуру, образовавшуюся под действием водяного пара. В процессе экструдирования при высоких давлениях и температурах создаются условия для так называемой «сухой клейстеризации», или желатинизации, крахмала. Молекулы крахмала подвергаются максимальной деструкции в процессе выхода продукта из экструдера. Вода из состояния перегретой жидкости мгновенно превращается в пар, разрушая при этом молекулы амилозы и амилопектина до декстринов и сахаров. В результате в экструдатах резко снижается содержание крахмала с соот-

ветствующим увеличением содержания водорастворимых сахаров и декстринов, улучшается атакуемость крахмала глюкоамилазой, что обеспечивает высокую питательную ценность готовых продуктов. При получении экструдатов происходит реакция меланоидинообразования, которая образует целый ряд продуктов, формирующих вкус, аромат и цвет полученного изделия.

Технологический процесс производства крупяных палочек включает в себя подготовку крупы (очистку, измельчение, увлажнение, отволаживание), экструдирование, охлаждение, дражирование, фасовку и упаковку готовых изделий. Технологическая схема производства крупяных палочек представлена на рисунке 6.2. Перед запуском в производство крупу предварительно взвешивают, очищают от минеральных и металломагнитных примесей и направляют в накопительный бункер. Далее крупу измельчают в молотковой дробилке в два этапа с контролем крупности до размера частиц не более 2 мм. Измельченную крупу (или смесь круп) увлажняют до массовой доли влаги 14-20 % в увлажнительной машине и подают для отволаживания в бункер над пресс-экструдером. Время отволаживания крупы не менее 30 минут. Затем крупу экструдировать на ПЭШ-30/4 при температуре 130-170 °С и давлении от 3-7 МПа. Полученный экструдат охлаждают и направляют в бункер над дражиратором. Дражирование осуществляется в дражираторе, куда одновременно с палочками подают растительное масло и добавки. После дражирования изделия фасуют и упаковывают в полиэтиленовые пакеты массой 50-200 г.

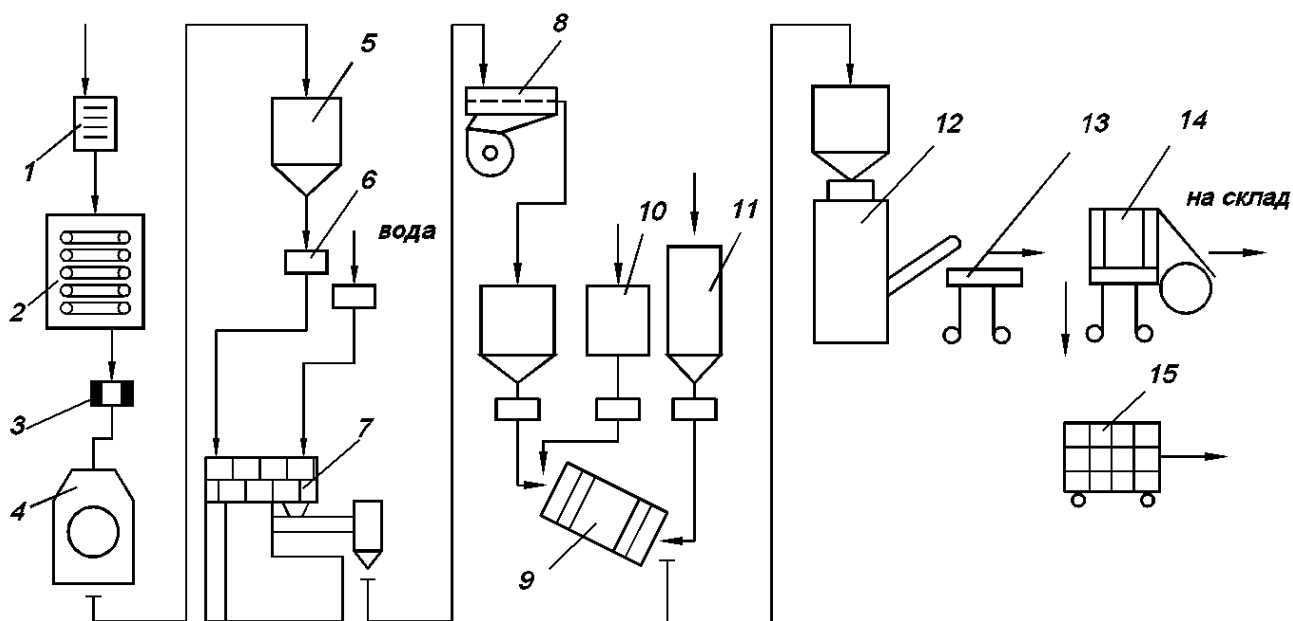
Технологический процесс производства крупяных палочек включает подготовку сырья, экструдирование, дражирование, фасовку и упаковку (рисунок 6.2).



- 1 – автоматические весы; 2 – воздушно-ситовой сепаратор; 3 – бункер;
 4 – дозатор; 5 – магнитное заграждение; 6 – дробилка;
 7 – увлажнительная машина; 8 – экструдер; 9 – охладитель;
 10 – дражирователь; 11 – емкость для масла; 12 – бункер для добавок;
 13 – фасовочный аппарат; 14 – стол; 15 – упаковочный аппарат;
 16 – тара-оборудование

Рисунок 6.2 – Схема производства крупяных палочек

Технология получения хлебных палочек. Процесс экструзии может быть эффективным решением проблемы переработки черствого и деформированного хлеба (ЧДХ). Технологический процесс получения хлебных палочек с помощью экструдирования включает следующие технологические операции: приготовление хлебной крошки, экструдирование, охлаждение и нарезку экструдата, дражирование и фасовку готовой продукции. Машинно-аппаратурная схема производства хлебных палочек с помощью экструзии представлена на рисунке 6.3.



- 1 – хлебрезка; 2 – ленточная сушилка; 3 – магнитное заграждение;
 4 – дробилка; 5 – бункер; 6 – дозатор; 7 – экструдер; 8 – охладитель;
 9 – дражировщик; 10 – емкость для масла; 11 – бункер для добавок;
 12 – фасовочный аппарат; 13 – стол; 14 – упаковочный аппарат;
 15 – тара-оборудование

Рисунок 6.3 – Схема производства хлебных палочек

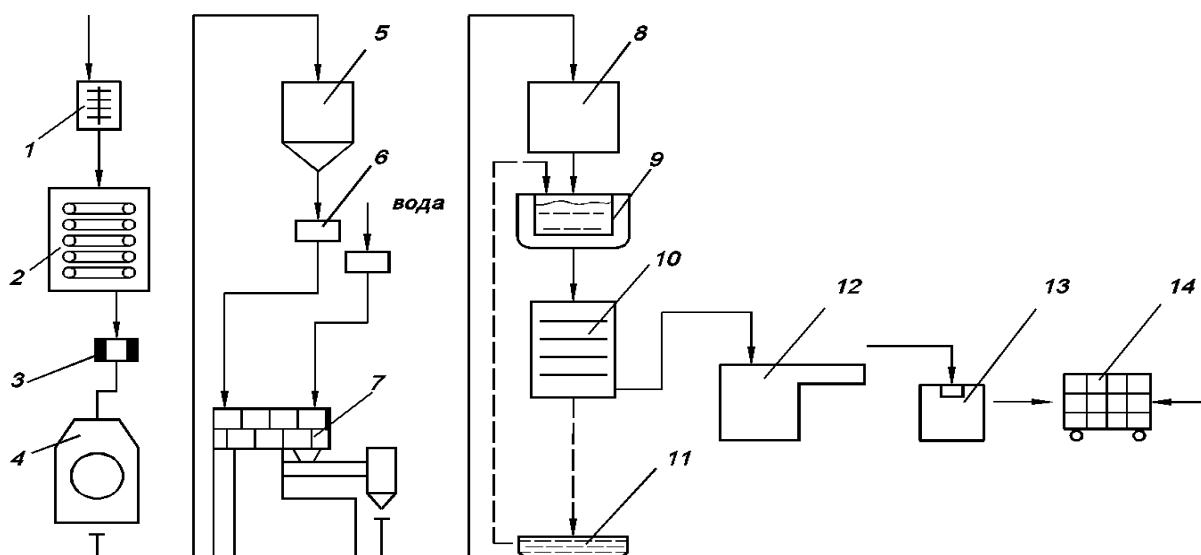
Технологический процесс производства хлебных палочек начинается с подготовки некондиционного хлеба, который измельчают на хлебрезке, затем сушат в конвейерных сушилках до массовой доли влаги не более 12 % и доизмельчают в дробилке до частиц размером не более 2 мм. Затем готовую крошку направляют в накопительный бункер. Увлажнение крошки осуществляется в тестомесителе до влажности 13 %. Далее увлажненную хлебную крошку экструдируют в пресс-экструдере при температуре 120-150 °С, используя фильеру диаметром 3 мм. После экструдирования продукт охлаждают и направляют в дражировщик, куда согласно рецептуре подают растительное масло и вкусовые добавки. Далее продукт фасуется, инспектируется и отправляется на хранение или реализацию.

6.3 Производство хлебных крекеров

Процесс производства хлебных крекеров включает подготовку хлебной крошки, замес теста, экструдирование, сушку изделий, фритирование и упаковку готовой продукции.

Буханки некондиционного хлеба измельчают на хлеборезке, затем высушивают в конвейерных сушилках до массовой доли влаги 12-14 % и доизмельчают в дробилке до частиц размером не более 2 мм. Готовую крошку подают в накопительный бункер.

Замес теста осуществляют в тестомесителе, куда с помощью дозаторов подают воду и хлебную крошку. Массовая доля влаги в хлебной крошке из ржано-пшеничного хлеба «Дарницкий», пшеничного из муки высшего и второго сортов от 32 до 33 %, первого сорта 28 %. Экструдировать хлебную крошку при температуре 80 °С. Формование полуфабрикатов осуществляют в виде лапши, вермишели, макарон. Сырой полуфабрикат нарезают на изделия необходимого размера и высушивают до влажности 11-13 %. Высушенный полуфабрикат называется пеллеты. Пеллеты по мере необходимости подвергают вспучиванию в горячей среде (растительном масле, с температурой от 180 °С до 200 °С; воздухом – с температурой до 300 °С) в течение 5-20 секунд, получая пористые продукты. Продукт, полученный путем фритирования, размещают на стеллаж для удаления излишков масла и охлаждения. По окончании охлаждения проводят фасовку и упаковку (рисунок 6.4).



- 1 – хлебрезка; 2 – ленточная сушилка; 3 – магнитное заграждение;
 4 – дробилка; 5 – бункер; 6 – дозатор; 7 – экструдер; 8 – сушилка;
 9 – фритюрница; 10 – стеллаж; 11 – емкость для масла;
 12 – инспекционный стол; 13 – напольные весы; 14 – тара-оборудование

Рисунок 6.4 – Схема производства хлебных крекеров

Главным фактором, определяющим получение хлебных крекеров высокого качества с мелкопористой структурой, является обеспечение в данном способе формования полуфабриката с полностью гелезированной структурой за счет полного желатинирования крахмальных зерен хлебной крошки. Последнее достигается в результате полной термомеханической деструкции крахмальных зерен, происходящей во время формования смеси в шнековой камере экструдера под действием сдвиговых, истирающих усилий вращающегося шнека, воздействующих на нагреваемую формируемую смесь. Оптимальная величина сдвиговых усилий в шнековой камере обеспечивается выбором соответствующих температурно-влажностных режимов формования хлебной смеси. Если доля влаги в смеси будет больше 28 %, величина сдвиговых усилий в шнековой камере будет недостаточна для полного истирания крахмальных зерен вследствие увеличения степени текучести массы, увеличения ее пластичности. Поэтому, если исходный черствый хлеб имеет долю влаги более 28 %, его надо выдерживать для усушки до доли влаги менее 28 %. При доле влаги в смеси менее 26 %

вязкость ее и сопротивление формоизменению увеличиваются настолько, что возрастающие сдвиговые усилия приводят к разогреву формуемой массы до такой степени, что выпрессовываемый полуфабрикат начинает вспучиваться непосредственно при выходе из отверстий матрицы. Это значительно ухудшает качество конечного продукта, поскольку снижается способность полуфабриката к вспучиванию и ухудшается структура пористости вспученных крекеров.

6.4 Производство чипсов путем экструзии

В отличие от традиционной технологии приготовления картофельных чипсов из целого картофеля, который моется, чистится, нарезается ломтиками и после удаления влаги обжаривается в масле, процесс приготовления чипсов путем экструзии начинается с производства полуфабрикатов. Производство полуфабрикатов включает подготовку сухих компонентов, их смешивание, увлажнение и получение теста. Полученное тесто подается в экструдер, где, проходя через матрицу, оно приобретает определенные формы от классических круглых и овальных до оригинальных конфигураций типа «ракушка», «облачко», «спиралька» и так далее. Последние принято обычно называть картофельными снеками, так как под термином чипсы (от английского «chips» – ломтик, кусочек) следует понимать те продукты, которые по форме являются плоскими, полученными отрезанием от целого. Поэтому приготовленные традиционным способом («хрустящий картофель») и сделанные из порошкового сырья («восстановленные») продукты могут называться чипсами, если они получены методом нарезки, либо имитируют ее. Прочие же продукты, получаемые по схожей экструзионной технологии, но имеющие объемные формы, являются снеками, причем сырьем для них могут служить не только производные картофеля, но и зерновых (при этом необходима дополнительная желатинизация) либо их смеси.

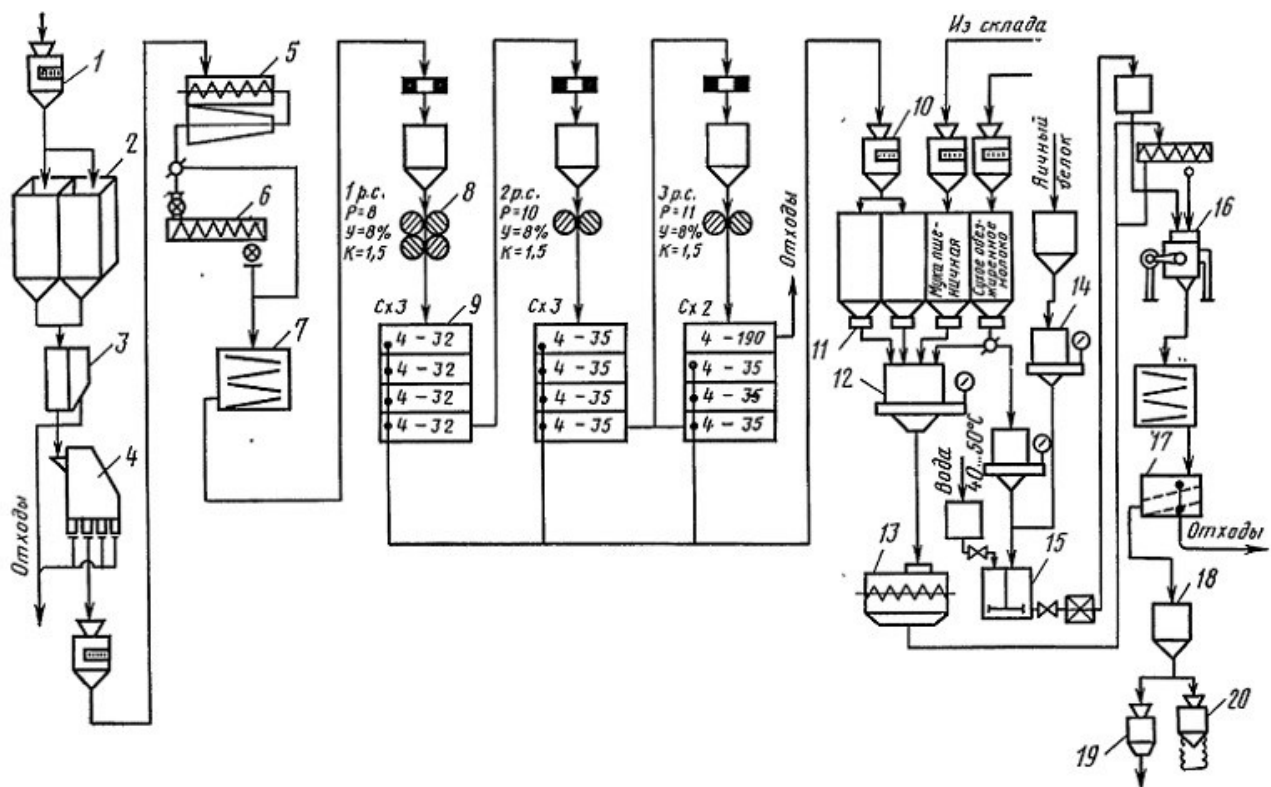
Способ получения картофельных чипсов путем экструзии. Получение полуфабриката для приготовления картофельных чипсов характеризуется тем, что в прогретом от 45 °С до 55 °С смесителе увлажняют картофельный крахмал до содержания массовой доли влаги 30-50 % сахарно-солевым раствором с температурой 52-54 °С. Увлажненный крахмал перемешивают не менее 10 минут, затем согласно рецептуре добавляют в смеситель зерновой компонент (полученный путем варки в экструдере молотого зерна) и картофельный продукт (картофельные хлопья или гранулы). Полученную смесь экструдуют при одновременном охлаждении варочной зоны охлаждающей жидкостью. Данный способ позволяет улучшить органолептические свойства приготовленных из полуфабриката картофельных чипсов и снизить их себестоимость.

Перед пуском пресс-экструдера ПЭШ-30/4 необходимо подготовить компоненты для замеса теста согласно предложенной рецептуре (согласно заданию). Контроль крупности сырья проводится просеиванием через сито с диаметром 2 мм. Затем замешивается тесто ($W = 30-50 \%$) на части картофельного крахмала и сахарно-солевого раствора (температура раствора – 52-54 °С) в течение 10 минут. В полученное тесто добавляют зерновой (2-45 % от общей массы сухих компонентов смеси) и картофельный компонент (10-50 % от общей массы сухих компонентов смеси) и проводят теплую экструзию при температуре от 70 °С до 90 °С, используя щелевые фильеры размером 15×0,4-0,6 мм. При этом наблюдают, чтобы не происходило вспучивание полуфабриката на выходе из фильеры, так как это снизит качество получаемых продуктов. Полученный полуфабрикат режут на пластины и подвергают вспучиванию в растительном масле при температуре 180-200 °С. После охлаждения проводится оценка качества полученных продуктов [11, 12].

6.5 Производство круп повышенной питательной ценности и оценка их качества

Большая часть натуральных круп имеет недостаточно высокую пищевую ценность, в них содержится ограниченное количество незаменимых аминокислот, минеральных веществ и витаминов. Поэтому, если рационально объединить крупы с различным белковым и витаминным комплексом, то в смеси можно получить новый белково-витаминный комплекс, более ценный, чем взятый в каждой отдельной крупе. Для повышения пищевой ценности круп их обогащают сухим обезжиренным молоком и сухим яичным белком. Кроме того, в состав таких комбинированных круп повышенной питательной ценности входят от 2 до 4 видов муки или дробленой крупы из различных злаков. Обогащенные крупы имеют улучшенный состав аминокислот, более высокое содержание белка, минеральных веществ, витаминов группы В. Они не содержат посторонних примесей, быстро развариваются (от 15 до 20 мин), не требуют сортировки и мойки перед приготовлением, дают массовый и объемный привар, имеют хорошие вкусовые качества, удобны для приготовления различных первых и вторых обеденных блюд.

Технологический процесс производства круп повышенной питательной ценности включает подготовку крупы, размол крупы, дозирование и смешивание, прессование, сушку, просеивание, фасовку, упаковку и выбор. Технологическая схема представлена на рисунке 6.5.



- 1 – автоматические весы; 2, 18 – бункера; 3 – аспирационная колонка;
 4 – пневмосортировальный стол; 5 – моечная машина; 6 – пропариватель;
 7 – сушилка; 8 – вальцовый станок; 9 – рассев; 10 – автоматические весы;
 11 – питатель; 12 – многокомпонентный весовой дозатор; 13 – смеситель;
 14 – автоматический весовой дозатор; 15 – сахарожирорастворитель;
 16 – макаронный пресс; 17 – крупосортировщик; 19, 20 – фасовочные автоматы

Рисунок 6.5 – Технологическая схема производства крупы повышенной питательности с помощью экструзии

Подготовленную крупу взвешивают по рецептуре, а затем измельчают на вальцовых станках путем повторительного помола. При просеивании продуктов размола осуществляют на капроновом сите № 35. При этом остаток на сите должен быть не более 2 %. После определения влажности сырья рассчитывают количество воды на замес теста. (Массовая доля влаги в тесте для приготовления крупы «Здоровье» и «Юбилейная» должна быть от 27 % до 29 %, а для остальных круп – от 31 % до 34 %).

Согласно расчетам проводят дозирование компонентов и замес теста. Замес теста, осуществляемый в течение 15 минут, и его формование проводят с

помощью макаронного прессы. При формировании на прессе используют нарезное устройство, которое позволяет регулировать размер гранул, представленных в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Форма и размеры матриц для формирования крупы

Крупа	Форма отверстий	Размеры отверстий, мм
Здоровье, Юбилейная	Соответствует профилю рисовой крупы	Длина – 6,0÷7,0; Ширина – 3,0÷3,2
Спортивная	Соответствует профилю овсяной крупы или чечевицеобразная	Длина – 8,0÷9,0; Ширина – 2,0
Союзная, Флотская, Южная	Чечевицеобразная	Диаметр круга – 2,0
Сильная, Пионерская	Чечевицеобразная	Диаметр круга – 3,5

Полученный отформованный полуфабрикат направляют на сушку (массовая доля влаги в крупе после высушивания должна быть не более 13 %), по окончании которой осуществляют варку полученной крупы. Затем оценивают потребительские качества крупы по показателям: развариваемости – времени, затраченному на варку крупы, способности крупы поглощать влагу при варке (увеличиваться в весе и объёме) и по качеству сваренной каши (цвет, запах, вкус, консистенция). Развариваемость крупы определяют продолжительностью варки (в минутах), необходимой для доведения крупы до готовности к употреблению. Крупу перед определением развариваемости не моют. Продолжительность варки (время в минутах) считают с момента погружения стакана с крупой в кипящую водяную баню до окончания варки – момента готовности каши.

Для определения развариваемости крупы в водяную баню наливают до 2/3 объёма воды, баню включают в сеть и доводят воду до кипения.

В два стеклянных химических стакана ёмкостью от 100 до 150 мл наливают по 50 мл горячей воды и добавляют по 0,2 г предварительно взвешенной

поваренной соли. Стаканы помещают в кипящую водяную баню, их содержимое перемешивают до полного растворения соли. Когда вода в стаканах нагреется до температуры от 95 °С до 96 °С, в них высыпают по 10 г анализируемой крупы и закрывают часовым стеклом. Уровень воды в бане должен быть немного выше уровня крупы в стаканах, – такой уровень поддерживают до окончания варки. Пробы для установления готовности крупы отбирают через 20 минут от начала варки и при необходимости повторяют через каждые 3 минуты. Для этого ложкой из середины стакана (на глубину ложки) на предметное стекло отбирают от 5 до 6 крупинок, накрывают сверху другим стеклом и раздавливают вручную крупинки между стёклами. Сваренной считается совершенно мягкая, но не деформированная, крупа, которая при раздавливании между стёклами не имеет мучнистых непроваренных частиц. После определения времени варки из другого стакана устанавливают весовой и объёмный привар. Для этого содержимое стакана выкладывают в сито и дают стечь жидкости (от 2 до 3 минут), взвешивают крупу и, разделив вес варёной крупы на 10, рассчитывают весовой привар.

Затем определяют объём каши и рассчитывают объёмный привар. Для определения первоначального объёма крупы в цилиндр на 100 см³ наливают 50 см³ воды, погружают в воду сырую крупу и по увеличению объёма воды рассчитывают объём крупы. Объём сваренной крупы рассчитывают аналогично.

Запись результатов оформляется в следующем виде:

Вид крупы _____

Продолжительность варки, мин. _____

Вес сырой крупы, г _____

Весовой привар _____

Объём сырой крупы, мл _____

Объём сваренной крупы, мл _____

Объёмный привар _____

Органолептические показатели каши:

Цвет _____

Запах _____

Вкус _____

Консистенция _____

Суммарная оценка качества каши _____

Заключение _____

Таблица 6.2 – Ассортимент и состав круп повышенной питательной ценности

Вид крупы	Состав, %
1	2
Юбилейная	Мука рисовая – 75, Мука макаронная первого сорта (полукрупка) – 15, Обезжиренное сухое молоко - 10
Спортивная	Мука овсяная – 90, Обезжиренное сухое молоко – 10
Пионерская	Мука гречневая – 90, Обезжиренное сухое молоко – 10
Флотская	Мука гречневая – 70, Мука ячневая – 30
Сильная	Мука гороховая – 70, Мука ячневая – 15, Мука макаронная первого сорта (полукрупка) – 15
Здоровье	Мука рисовая – 73, Мука макаронная первого сорта (полукрупка) – 15, Обезжиренное сухое молоко – 10, Сухой яичный белок или яичный продукт в натуральном и замороженном виде (белок, меланж) – 2
Союзная	Мука гречневая – 70, Мука ячневая – 28, Сухой яичный белок или яичный продукт в натуральном и замороженном виде (белок, меланж) – 2
Южная	Мука кукурузная – 50, Мука ячневая – 10, Мука гороховая – 20, Мука макаронная первого сорта (полукрупка) – 20

6.6 Производство гороховых гренок и готовых завтраков

Технологическая схема производства гороховых гренок и завтраков представлена на рисунке 6.6. Технология гороховых гренок включает следующие технологические операции: подготовку основного компонента (горох, рис, кукуруза), подготовку добавок (морковь сушеная, бульон сухой, соль, сахар - песок), экструдирование, дражирование, сушку, фасовку и упаковку готовой продукции.

Подготовка основного компонента. Крупу после очистки от примесей (мучели, случайных примесей) на сепараторе, камнеотборнике, магнитном заграждении измельчают в дробилке и подают в наддозаторные бункера.

Подготовка добавок. Морковь сушеную при необходимости подсушивают, после чего измельчают в дробилке и через просеиватель подают в наддозаторный бункер.

Сухой бульон через просеиватель и магнитное заграждение попадают в наддозаторный бункер.

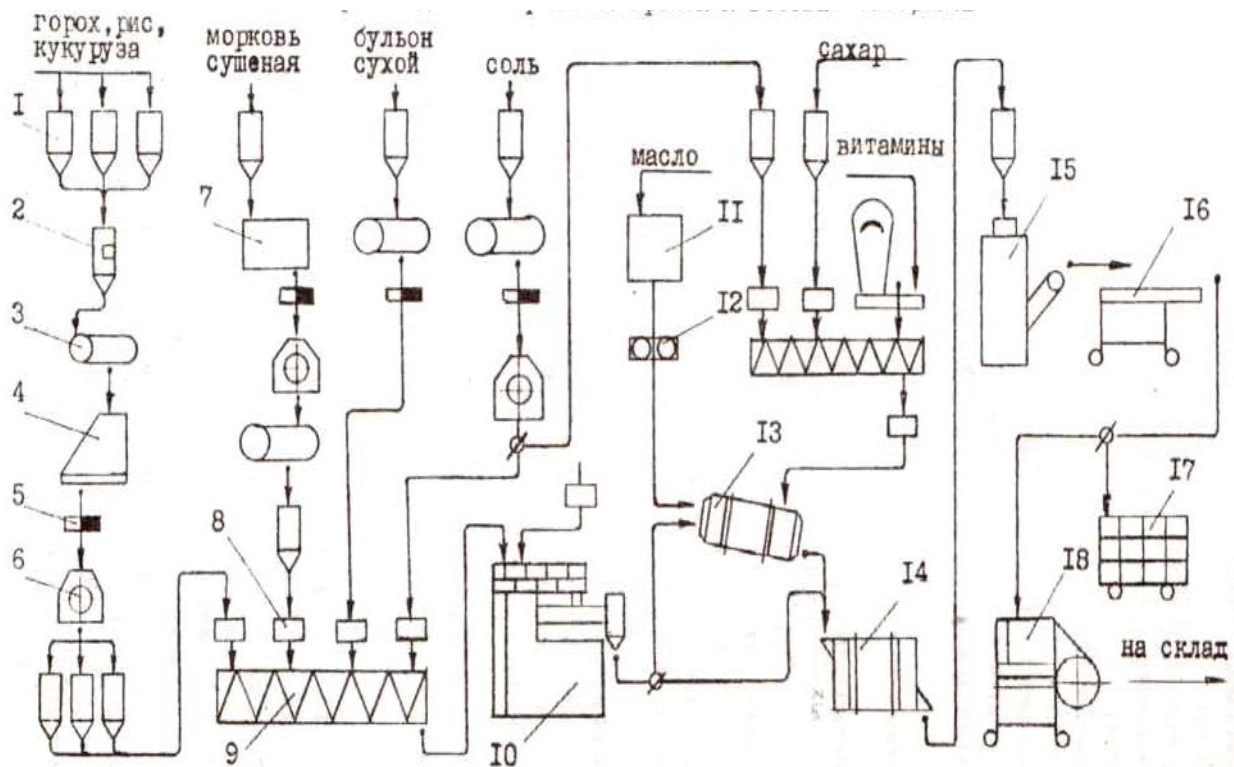
Соль просеивают, измельчают и подают в бункер над дозатором.

Сахар-песок просеивают, после чего измельчают в дробилке и через магнитное заграждение подают в наддозаторный бункер.

Витаминную смесь, ввиду незначительного количества, загружают в смеситель вручную.

Экструдирование. При производстве гренок экструдировать смесь, состоящую из основного компонента (горох) и добавок: сушеная морковь, сухой бульон, соль.

При производстве готовых завтраков экструдировать основной компонент, либо смесь компонентов (рис, кукуруза).



- 1 – бункер; 2 – весы автоматические; 3 – бурат; 4 – камнеотборник;
 5 – магнитное заграждение; 6 – дробилка; 7 – сушилка; 8 – дозатор;
 9 – смеситель; 10 – экструдер; 11 – бачек для масла; 12 – насос дозатор хлопьев;
 13 – дражиратор; 14 – барабанная сушилка; 15 – фасовочный автомат;
 16 – стол инспекционный; 17 - тара оборудование; 18 – упаковочный аппарат

Рисунок 6.6 – Технологическая схема получения кукурузных хлопьев с помощью экструзии

Дражирование. Экструдат направляют либо в дражиратор для нанесения добавок, а затем на сушилку и далее на фасовку и упаковку, либо на сушилку и дальнейшую фасовку и упаковку [13].

Список использованных источников

1. Термопластическая экструзия: научные основы, технология, оборудование / Под ред. А.Н. Богатырева, В.П. Юрьева. – М.: Ступень, 1994. – 200 с.
2. Остриков А. Н. Экструзия в пищевой технологии / А. Н. Остриков, О. В. Абрамов, А. С. Рудометкин – СПб.: ГИОРД, 2004. – 288 с.
3. Технология экструзионных продуктов / А. Н. Остриков, Г. О. Магомедов, Н. М. Дерканосова, В. Н. Василенко, О. В. Абрамов, К. В. Платов. – СПб: «Перспект Науки», 2007. – 202 с.
4. Асатуллоев И., Карпиленко Г., Витол И. Белково-протеиназный комплекс семян нута // Хлебопродукты. – 2007. – №7. – С. 50-51.
5. Магомедов Г.О., Рудась П.Г., Шевякова Т.А. Экструдированные продукты повышенной пищевой ценности // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2006. – №9. – С. 32-36.
6. Ваншин В. В. Технология пищевого концентратного производства: учебное пособие / В. В. Ваншин, Е. А. Ваншина. – Оренбург : Университет, 2012. – 181 с. - ISBN 978-5-4417-0064-1.
7. Раувендааль К. Экструзия полимеров = Polymer Extrusion / К. Раувендааль; пер. с англ. А. Я. Малкина. – 4-е изд. – СПб.: Профессия, 2008. – 768 с. – ISBN 978-5-93913-102-5. – ISBN 3-446-21774-6. – ISBN 1-56990-321-2.
8. Раувендааль К. Выявление и устранение проблем в экструзии = Troubleshooting the Extrusion Process / К. Раувендааль, М. д. Пилар Норвега Е., Х. Харрис; пер. с англ. В. П. Володина. – Санкт Петербург: Профессия, 2008. – 328 с. – ISBN 978-5-93913-154-4. – ISBN 1-56990-320-4. – ISBN 1-56990-363-8.
9. Бурцев А.В. Современная техника и технология термопластической экструзии в производстве «сухих завтраков» / А.В. Бурцев, В.А. Грицких, Г.И. Касьянов. – Краснодар: Экоинвест, 2004. – 112 с. – ISBN 5-94215-033-8
7. Дегтяренко Г. Н. Пищевое концентратное производство: учеб. пособие / Г. Н. Дегтяренко, Е. Я. Челнокова. – Оренбург : ОГУ, 1997. – 80 с.

8. Ваншин В. В. Экструзионные технологии в пищевой промышленности: методические указания / В. В. Ваншин. – Оренбург : ГОУ ОГУ, 2011. – 32 с.

9. Ваншин В. В. Технологии производства экструдированных продуктов: методические указания / В. В. Ваншин, Е. А. Ваншина. – Оренбург : ОГУ, 2013. – 40 с.

10. Лопатинский С. Н. Крупы повышенной питательной ценности / С. Н. Лопатинский. – М. : Колос, 1978. – 144 с.

Приложение А

(обязательное)

Творческие задания

Творческие задания выдает и корректирует преподаватель к определенной производственной ситуации или продукту.

Задача 1. Подобрать экструдер для производства конкретного ассортимента пищевой продукции.

Задача 2. Изучив химический состав сырья, дать рекомендации о возможности его использования в экструдированных продуктах.

Задача 3. На основе анализа структуры трансформация экструдированных продуктов дать рекомендации по ведению технологического процесса.

Задача 4. Разработать рекомендации по производству конкретного вида экструдированных продуктов.

Задача 5. Разработать предложения по оптимизации существующих технологий производства экструдированных продуктов.

Задача 6. На примере конкретного пищевого предприятия разработать предложение о возможности использования экструдирования для переработки побочных продуктов производства.

Задача 7. Определить причины нарушения процесса экструзии и дать рекомендации по их ликвидации.

Задача 8. Дать обоснование возможности использования предложенных видов сырья для получения комбинированных продуктов.

Задача 9. Изучив качество сырья, дать рекомендации по получению из него полуфабрикатов вспученных экструдатов (варианты сырья определяет преподаватель).

Задача 10. Изучив качество сырья, дать рекомендации по получению из него вспученных экструдатов (варианты сырья определяет преподаватель).