

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации  
Красноярский государственный аграрный университет

В.А. Самойлов, В.Н. Невзоров, А.И. Ярум

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

*Методические указания для самостоятельной работы  
студентов*

Красноярск 2014

## Рецензент

В.Н. Холопов, доктор технических наук, профессор кафедры АТЛМ  
Сибирского государственного технического университета

### **Самойлов, В.А.**

Технологическое оборудование: метод. указания для самостоятельной работы студентов / В.А. Самойлов, В.Н. Невзоров, А.И. Ярум; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2014. – 44 с.

Предназначено для студентов специальности 151000.62 «Технологические машины и оборудование» по дисциплине «Технологическое оборудование».

Печатается по решению редакционно-издательского совета  
Красноярского государственного аграрного университета

# **ОГЛАВЛЕНИЕ**

<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>4</b>
1. Машины и аппараты – составные части технологических комплексов.....	6
1.1. Классификация технологического оборудования.....	6
1.2. Современные формы организации производства в АПК.....	15
1.3. Основные требования к технологическому оборудованию...	16
1.4. Машино-аппаратурные варианты пищевых производств...	19
2. Машины и аппараты-преобразователи пищевых сред.....	25
2.1. Технологическое оборудование для переработки пищевых сред .....	25
2.2. Технологическое оборудование проведения процессов тепло- и массообмена для обработки сырья и полуфабрикатов...	29
<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>43</b>

## **ВВЕДЕНИЕ**

Самостоятельная работа студента в вузе – планируемая учебной программой работа, выполняемая во внеаудиторное время при методическом руководстве преподавателя.

Самостоятельная работа студентов играет значительную роль в рейтинговой технологии обучения. Государственным стандартом отводится около 50% часов из общей трудоемкости дисциплины на самостоятельную работу студентов (далее СРС). Поэтому СРС должна стать эффективной и целенаправленной работой студента, а это невозможно без повышения роли самостоятельной работы над учебным материалом, усиления ответственности преподавателей за развитие навыков самостоятельной работы, стимулирование профессионального роста студентов, воспитание творческой активности и инициативы.

К современному специалисту общество предъявляет достаточно широкий перечень требований, среди которых немаловажное значение имеет наличие у выпускников определенных способностей и умения самостоятельно добывать знания из различных источников и систематизировать полученную информацию. Формирование такого умения происходит в течение всего периода обучения через участие студентов в практических занятиях, выполнение контрольных заданий и тестов, написание курсовых и выпускных квалификационных работ. При этом самостоятельная работа студентов играет решающую роль в ходе всего учебного процесса.

В последнее время в нашей стране и за рубежом ведется интенсивный поиск приемов, методов и форм организации учебного процесса в вузе, способствующих стимулированию познавательной активности и самостоятельности студентов. Формирование творческой личности будущего специалиста является актуальной проблемой не только для высшей школы, но и важнейшей социально-экономической задачей всего общества. Решение этой задачи заключается, прежде всего, в развитии творческих способностей студентов на всех этапах обучения, повышении их интеллектуального потенциала, активности и самостоятельности. Современный профессионал должен обладать такими качествами, как целеустремленность, деловитость, предприимчивость, инициативность, самостоятельность, т. е. быть конкурентоспособным на рынке труда. Вследствие этого в системе высшего образования стоит задача не просто научить студентов специальным наукам, а научить их пополнять свои знания на протяжении всей жизни. Достигнуть этих целей можно в ходе самостоя-

тельной работы. Новые подходы к профессиональной подготовке обозначили необходимость пересмотра содержания образования, которое отражено в Государственных образовательных стандартах высшего профессионального образования. Постоянно увеличивающийся поток информации, развитие науки и практики потребовали включения в стандарт как аудиторной, так и внеаудиторной самостоятельной работы. Образовательные стандарты обязывают преподавателей учить студентов работать самостоятельно, добывать знания, расширять свой научный кругозор, стремиться к истине в науке и практике. Положение о необходимости самостоятельной работы студентов в учебном процессе высшей школы давно уже является общепризнанным. Но именно сейчас этой важной составляющей процесса обучения в вузе уделяется особое внимание не только на локальном уровне, но и на федеральном. Концепцией модернизации российского образования определены основные задачи профессионального образования: подготовка квалифицированного работника соответствующего уровня и профиля, конкурентоспособного на рынке труда, компетентного, ответственного, свободно владеющего своей профессией и ориентирующегося в смежных областях деятельности, способного к эффективной работе по специальности на уровне мировых стандартов, готового к постоянному профессиональному росту, социальной и профессиональной мобильности; удовлетворение потребностей личности в получении соответствующего образования. Решить все эти задачи можно только, увеличив долю внеаудиторной самостоятельной работы студентов. Это связано с тем, что в ходе самостоятельной работы решаются задачи воспитания личности. Самостоятельная работа – составная часть процесса обучения, одной из ее функций является воспитательная, которая состоит в том, что в ходе самостоятельной работы, так же как и во всем процессе обучения, формируются нравственные и эстетические представления, система взглядов на мир, потребности личности, мотивы социального поведения, ценностная ориентация, мировоззрение.

Познавательная самостоятельность студента связана со становлением его как профессионала в своей области. Поэтому показателем уровня его познавательной самостоятельности будут профессиональное умение, готовность к приобретению и пополнению профессиональных знаний, умение творчески ставить и решать возникающие проблемы в профессиональной деятельности без помощи других.

# **1. МАШИНЫ И АППАРАТЫ – СОСТАВНЫЕ ЧАСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ**

## **1.1. Классификация технологического оборудования**

При формировании групп оборудования различных линий основным объединяющим признаком является общность функций, выполняемых в процессе переработки сырья или полуфабрикатов. По этому признаку можно выделить три укрупненные группы оборудования:

- 1) для подготовительных операций;
- 2) основных операций переработки и обработки продукта;
- 3) выполнения отделочных и финишных операций.

По характеру воздействия на обрабатываемый продукт можно выделить оборудование для механической, тепловой или электрофизической обработки продуктов, а также группы оборудования для ведения массообменных, химических и биологических процессов.

Исходя из функционально-технологического принципа, целесообразна следующая систематизация оборудования, входящего в состав линий пищевых производств и преобразующего технологический поток.

Совокупность процессов в машинах и аппаратах технологической линии есть, по существу, один большой процесс (поток). Несмотря на разнообразие технологий машинно-аппаратурного оформления, общим для различных линий является то, что в них организован и функционирует непрерывный технологический поток преобразования исходного сырья в продукт. Такой поток имеет свои закономерности, которые необходимо знать, чтобы создавать высокоэффективные технологические линии. Конструкторское решение линии в целом должно определять конструкции отдельных машин и аппаратов. Отвлекаясь от конкретных технологий, рассмотрим строение и форму технологической операции и технологического потока.

Технологический поток состоит из различных технологических операций преобразования исходного сырья и процессов транспортирования его и промежуточных продуктов между операциями. Собственно технологические операции выполняют две функции: обработку объекта (технологический процесс) и подачу объекта обработки в рабочую зону (транспортный процесс). Комбинация технологического и

транспортного процессов приводит к формированию четырех классов операций.

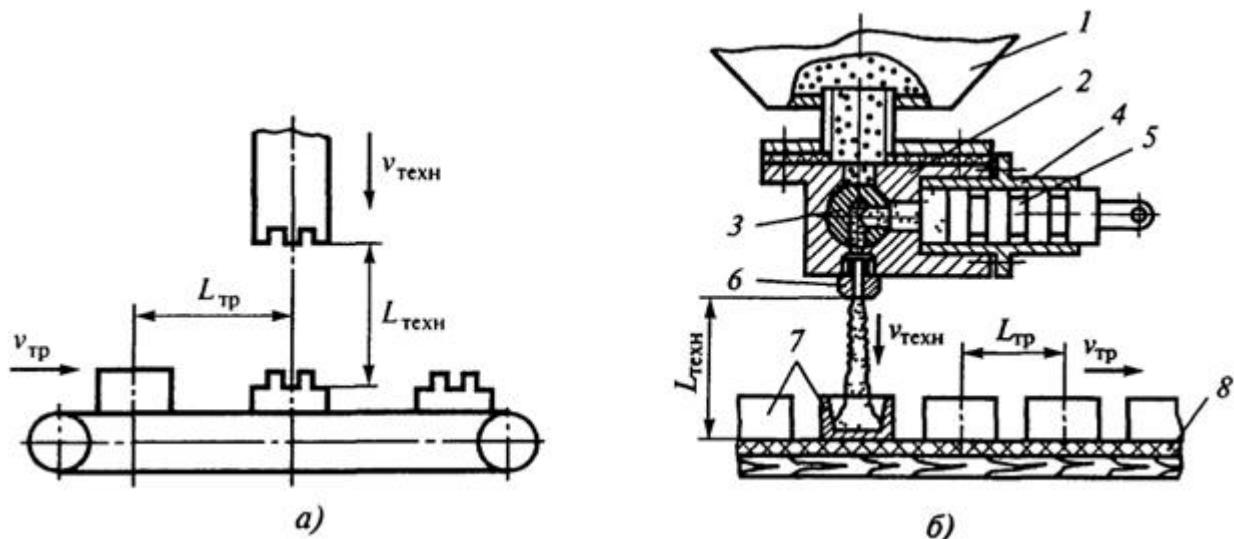


Рисунок 1 – Операция I класса: *а* – схема операции; *б* – устройство для дозирования и формования массы в отливочной машине: 1 – бункер; 2 – корпус отливочной головки; 3 – золотник; 4 – мерный цилиндр; 5 – поршень; 6 – насадка; 7 – форма; 8 – ленточный конвейер

**В операциях I класса** (рис. 1 *а, б*) технологическая обработка массы происходит только после завершения транспортной операции (подачи заготовки в рабочую зону) и, наоборот, т.е. один процесс прерывается другим. Это операции дискретного действия.

Производительность  $\Pi_1$  машин этого класса операций определяется длительностью  $T_{\text{ц}}$  всего технологического цикла обработки объекта.

Цикл включает в себя продолжительности технологического  $T_{\text{техн}}$  и транспортного  $T_{\text{тр}}$  процессов

$$\Pi_1 = 1/T_{\text{ц}} = 1/(T_{\text{техн}} + T_{\text{тр}}) = 1/(L_{\text{техн}}/v_{\text{техн}} + L_{\text{тр}}/v_{\text{тр}}),$$

где  $L_{\text{техн}}$  и  $L_{\text{тр}}$  – значения технологического и транспортного перемещений;

$v_{\text{техн}}$  и  $v_{\text{тр}}$  – технологическая и транспортная скорости.

Чтобы повысить производительность машин, предназначенных для выполнения операций I класса, необходимо сократить продолжительность как технологического, так и транспортного процессов, т.е. как  $T_{\text{техн}}$ , так и  $T_{\text{тр}}$ . Значения технологического и транспортного перемещений полностью определяются геометрическими размерами заготовок, поэтому уменьшение времени на выполнение технологическо-

го и транспортного процессов может быть достигнуто только увеличением соответствующих скоростей. Повышение же транспортной скорости ограничивается допустимыми значениями ускорений движения исполнительных органов машин, а увеличение технологической скорости – ее допустимыми значениями, определяемыми физико-механическими, теплофизическими и биохимическими свойствами, т.е. технологическими свойствами обрабатываемого материала. Эти обстоятельства и являются тормозом в повышении выпуска изделий машинами, реализующими операции I класса.

Таким образом, производительность машин, реализующих операции I класса, определяется продолжительностью  $T_{\text{техн}}$  технологического процесса, продолжительностью  $T_{\text{тр}}$  транспортирования обработанного продукта в машине.

Следовательно, длительность цикла  $T_{\text{ц}}$  обусловлена технологическими параметрами операции и динамическими возможностями механизма перемещения продукта в зону обработки и из нее. Таким образом, производительность в каждом конкретном потоке для каждой конкретной операции задана однозначно и не может быть выбрана из условий экономической окупаемости производительности. По этой причине на базе операций I класса нецелесообразно компоновать машины и аппараты в автоматические линии (линии будущего). Другими словами, при компоновке таких линий обязательно окажется, что значение технологических  $L_{\text{техн}}$  и транспортных  $L_{\text{тр}}$  перемещений, а также технологических  $v_{\text{техн}}$  и транспортных  $v_{\text{тр}}$  скоростей разных операций в потоке будут различны. Неодинаковыми окажутся и циклы операций  $T_{\text{ц}}$ , что обусловит различную производительность машин и аппаратов в потоке. Поэтому условие равной производительности, необходимое для объединения различных операций I класса в единый поток, не выполняется. Однаковая производительность машин в таких линиях может быть лишь результатом случайного совпадения значений технологических параметров на разных операциях. Вероятность такого совпадения при более или менее значительном числе операций чрезвычайно мала. Итак, технологические операции I класса не могут служить основой для создания высокоэффективных линий.

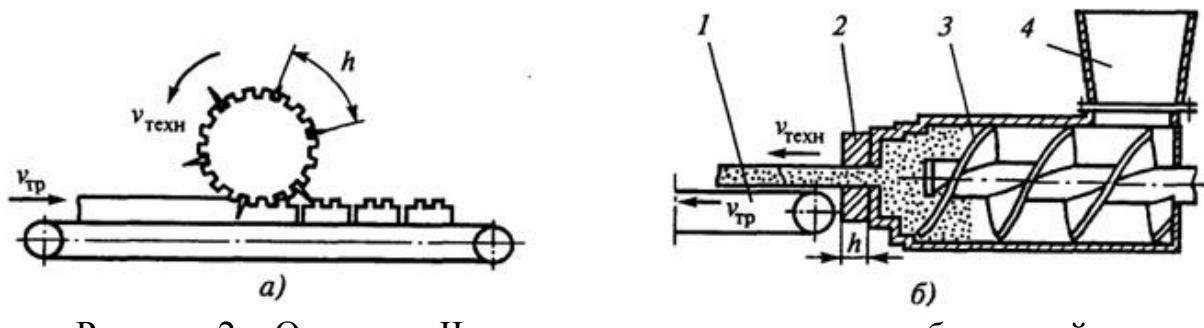


Рисунок 2 – Операция II класса: *а* – схема операции; *б* – устройство для формования массы шнековым нагнетателем; *1* – ленточный конвейер; *2* – матрица; *3* – шнек; *4* – бункер

**Для операций II класса** (рис. 2 *а, б*) характерно совпадение во времени транспортного и технологического процессов. Транспортный процесс становится непрерывным, а транспортная  $v_{tp}$  и технологическая  $v_{техн}$  скорости равны между собой.

Производительность  $\Pi_{II}$  машин, реализующих операции II класса, определяется длительностью цикла  $T_{ц}$  обработки сырья рабочими органами. Этот цикл равен отношению размера матрицы  $h$  к технологической или транспортной скорости

$$\Pi_{II} = 1/T_{ц} 1/(h/v_{техн}) = 1/(h/v_{tp}).$$

Чтобы повысить производительность машин, предназначенных для создания операций II класса, необходимо увеличить транспортную скорость, но, поскольку транспортная скорость ограничена (а в пределе равна) технологической, повышение производительности ограничивается допустимыми значениями технологической скорости, которая в свою очередь, обусловлена технологическими свойствами обрабатываемой пищевой среды.

Таким образом, условием одинаковой производительности машин и аппаратов в линии, где реализуются только операции II класса, также является равенство продолжительности технологических циклов. Такое условие обеспечивается лишь в частных случаях, поэтому вероятность совпадения значений производительности оборудования таких линий весьма мала. Существенным отличием операции II класса является то, что вследствие совмещения технологического и транспортного процессов во времени эти процессы не прерывают один другого и могут происходить непрерывно с постоянной скоростью. Значения скоростей технологического и транспортного процес-

сов не ограничиваются предельными ускорениями деталей транспортирующих механизмов. Производительность операции II класса лимитируется лишь допустимым значением скорости течения технологического процесса. Поэтому высокая производительность сопряжена с жестким технологическим скоростным режимом, но в отличие от операций I класса высокая производительность уже совместима с оптимальными динамическими условиями работы механизмов. В этом заключается важное преимущество операций II класса, существенное с точки зрения коэффициента использования оборудования.

**Операции III класса** (рис. 3 *a, б*) отличаются от операций II класса самостоятельностью транспортного и технологического процессов. В этих операциях обработка объектов осуществляется при их непрерывном транспортировании совместно с рабочими органами через рабочую зону по какой-либо замкнутой траектории. Машины, созданные по этому принципу, получили название роторных, поскольку транспортный процесс первоначально был реализован как вращательное движение.

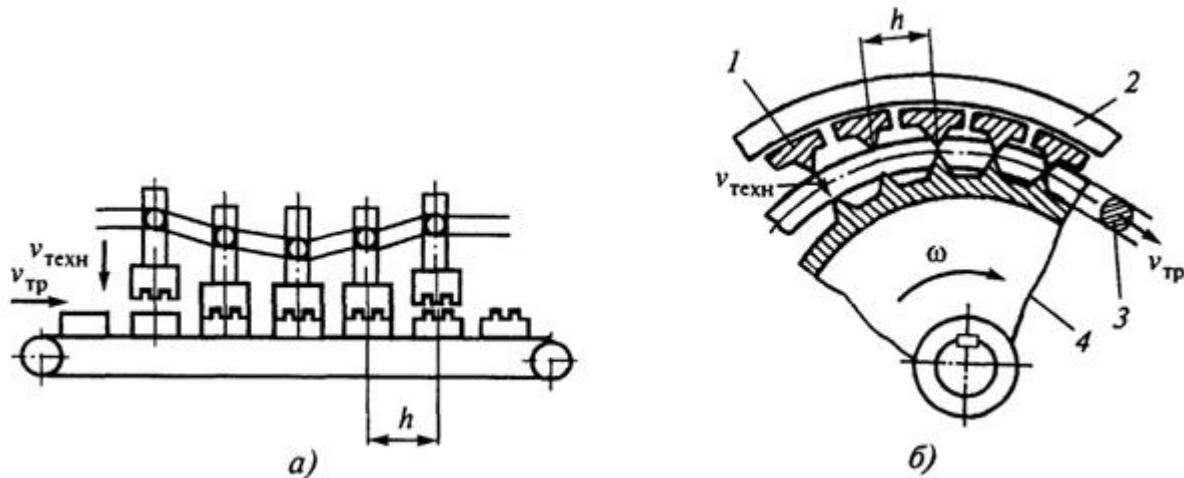


Рисунок 3 – Операция III класса: *а* – схема операции; *б* – устройство для дозирования массы продукта в виде жгута круглого сечения в роторной режущей машине: 1 – откидной нож; 2 – неподвижная направляющая, 3 – жгут продукта; 4 – ротор

Производительность  $\Pi_{III}$  машин для операций III класса, как и для операций II класса, определяется длительностью цикла  $T_{ц}$ , равного отношению шага  $h$  выхода изделий к транспортной скорости  $v_{tp}$

$$\Pi_{III} = 1/T_{ц} = 1/(h/v_{tp}).$$

В отличие от операций II класса скорость транспортирования в операциях III класса не ограничивается технологической скоростью, поэтому при создании машин, реализующих операции III класса, повышение производительности теоретически связано только с увеличением транспортной скорости. Практически же повышение производительности этих машин влечет увеличение длины технологической зоны, что необходимо для сохранения необходимой продолжительности технологической обработки объекта.

В операциях III класса, имеющих важное значение при организации автоматических линий, также важен характер соотношения между производительностью, динамическим режимом работы машин и технологическим режимом процесса. Если в операциях I класса высокая производительность несовместима с оптимальными технологическими и техническими режимами, в операциях II класса – с оптимальными технологическими режимами, а в операциях III класса можно достичь высокой производительности без использования больших ускорений в механизмах привода и большой скорости технологического процесса. Иначе говоря, как бы ни была велика заданная производительность, она может быть достигнута в результате увеличения скорости транспортного процесса при сохранении любой достаточно малой или достаточно большой (оптимальной) скорости технологического процесса. Следовательно, возможности операций III класса с точки зрения производительности машин не ограничиваются как технологическими свойствами обрабатываемого сырья и промежуточного продукта, так и динамикой привода и рабочих органов машин. Это означает, что производительность машин, в которых осуществляются операции III класса, определяется лишь скоростью процесса транспортирования.

В автоматических линиях использование операций III класса весьма перспективно, поскольку при высокой (в пределе неограниченной) производительности могут быть сохранены оптимальные технологические и динамические режимы, которые обусловливают и технологическую, и конструктивную надежность. При этом, безусловно, обеспечиваются стабильное качество продукции, минимум простоев оборудования по разным причинам и максимальный коэффициент использования машин и аппаратов в технологической линии. Вот почему операции III класса наиболее пригодны для организации технологического потока.

**Операции IV класса** (рис. 4 *a, б*) также не зависят от скорости транспортного процесса и технологической скорости. В операциях IV класса заготовки обрабатываются при транспортировании через рабочую зону. Понятие «рабочий орган» заменяется понятием «рабочая среда», которая осуществляет технологическое воздействие непосредственно на весь поток, проходящий через рабочую зону. Более точно машины этого класса операций следует называть аппаратами.

Производительность машин  $P_{IV}$  для операций IV класса определяется длительностью цикла  $T_{Ц}$  выхода одного объекта и количеством  $n$  объектов в сечении потока

$$P_{IV} = n(1/T_{Ц}) = n[1/(h/v_{тр})],$$

где  $h$  – шаг объектов в направлении вектора скорости.

При создании машин для операций IV класса повышение производительности может быть достигнуто как в результате увеличения транспортной скорости (при соответствующем удлинении зоны обработки), так и увеличения в поперечном сечении потока количества объектов.

Таким образом, с помощью операций IV класса также можно создавать машины и аппараты любой производительности. Однако в этом случае повысить производительность оборудования можно не только интенсификацией транспортного процесса, но и увеличением числа обрабатываемых объектов в поперечном сечении потока. Следовательно, одинаковая производительность различных операций технологического потока может быть достигнута как путем соответствующего изменения скорости процесса транспортирования в этих операциях, так и путем соответствующего изменения поперечного сечения потока.

Операции IV класса, как и операции III класса, обеспечивают оптимальные условия объединения машин и аппаратов соответствующих конструкций в технологические комплексы, автоматические системы машин.

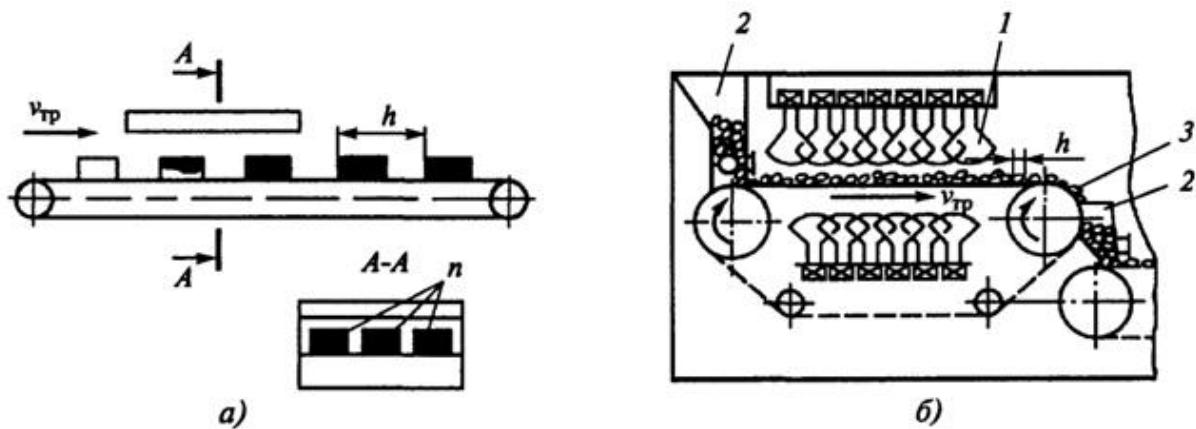


Рисунок 4 – Операция IV класса: *а* – схема операции; *б* – устройство для сушки продукта: 1 – генератор инфракрасного излучения; 2 – воронка; 3 – продукт

Итак, только два последних способа выполнения технологических и транспортных процессов, т.е. III и IV классы операций, могут быть в общем случае инженерной основой для создания высокоэффективных потоков в линиях. При этом только операции IV класса в наиболее полной мере соответствуют требованиям высшей формы автоматизма и непрерывности потока, т. е. поток, образованный из операции IV класса, наиболее близок к идеальному.

Однако далеко не все технологические превращения исходного продукта возможно осуществить в операциях IV класса. Прежде всего это касается формообразования, а также ориентирования, дозирования и других процессов.

Принципиальной основой для широкого осуществления комплексной автоматизации в перерабатывающих отраслях АПК являются операции III класса. Теоретически многие технологические процессы возможно реализовать в операциях этого класса.

Вместе с тем технологии, предусматривающие операции III класса, все еще занимают скромное место даже в производствах, имеющих все предпосылки для этого. Поэтому важнейшей задачей комплексной автоматизации являются ускорение создания широкого ряда машин для операции III класса и распространение их хотя бы на отдельные части линий.

Машины для операций III класса могут быть выполнены по двум конструктивным схемам – роторной и роторно-конвейерной. По роторной схеме рабочие органы закрепляют на жестких роторах, которые сообщают им необходимые транспортные перемещения, по роторно-конвейерной схеме рабочие органы монтируют на гибких замкнутых транспортных системах-конвейерах.

Необходимо подчеркнуть, что современные технологии разрабатывают без учета того, операции каких классов будут в них реализованы. В результате этого технологический поток представляет собой набор операций разных классов. С этой точки зрения развитие такой технологии носит тупиковый характер. По-видимому, целесообразно еще на первых этапах разработки технологии предусматривать возможность ее реализации в операциях III и IV классов. Таким образом, речь идет о разработке роторных технологий или частей технологий, которые могут быть названы роторными. Признаками таких роторных технологий и роторных потоков должны быть несложность структуры; малооперационность; стабильность свойств сырья и промежуточных продуктов, а также параметров окружающей среды; относительная простота рецептуры и формы изделия.

Можно утверждать, что роторная технология и роторный поток не содержат в своей природе противоречие, присущее всем остальным технологиям и потокам: производительность – качество. Это техническое противоречие раскрывается следующим образом: рост производительности ведет к снижению качества продукта и наоборот. Именно в этом заключается препятствие к повышению производительности современных линий, как правило, базирующихся на операциях I и II классов.

## **Контрольные вопросы**

1. Что вы понимаете под показателями технологических свойств пищевых сред?
2. Что собой представляют типовые процессы пищевых технологий?
3. Какие классификационные признаки положены в основу систематизации машин и аппаратов пищевых производств?
4. В чем принципиальное различие технологических линий для первичной, вторичной и комбинированной переработки сельскохозяйственного сырья?
5. Какие функционально-технологические задачи решают технологические комплексы линий?
6. Что такое производительность технологической линии, какие ее виды вы знаете?
7. Как определяется коэффициент использования технологической линии?

8. В чем различие, что собой представляют регламентированные и нерегламентированные потери сырья, материалов и времени при расчете эксплуатационной производительности линии?

9. Какие требования предъявляются к технологическим процессам при создании прогрессивной машинной технологии пищевых продуктов?

10. Какие требования предъявляются к оборудованию и комплексам при создании прогрессивной машинной технологии пищевых производств?

11. В чем состоит принципиальное различие четырех классов технологических операций?

12. В чем заключается непреодолимое препятствие в росте производительности машин, реализующих технологические операции I и II класса?

13. Какова перспектива использования операций III и IV класса в создании автоматических линий?

## **1.2 Современные формы организации производства в АПК**

Одной из форм агропромышленного производства является агропромышленный комплекс. Основным признаком, позволяющим говорить об образовании агропромышленного комплекса, является высокий уровень межотраслевых связей. Для современного этапа развития АПК характерны углубление общественного разделения труда, совершенствование производственно-технологической и организационной структуры, появление новых отраслей и видов деятельности.

В составе АПК выделяют:

1) сферы производства первичного и конечного продукта (растениеводство и животноводство и отрасли промышленности, перерабатывающие их продукцию);

2) ресурсообразующую сферу (промышленные отрасли, создающие средства труда для всех сфер АПК, и система подготовки кадров);

3) производственную инфраструктуру АПК;

4) систему товарного и денежного обращения и информационного обеспечения.

В сельском хозяйстве существует две ведущие отрасли – растениеводство и животноводство, которые в свою очередь делятся на значительное число подотраслей. В состав сельскохозяйственного

производства входит множество относительно мелких предприятий, занимающихся промышленным производством, в частности, ремонтом машин и оборудования, производственным строительством, изготавлением комбикормов из сырья собственного производства.

### **1.3 Основные требования к технологическому оборудованию**

Прежде чем подбирать и проектировать оборудование поточных линий, необходимо определить не только типоразмеры предполагаемой к выпуску продукции, но и уровень специализации или универсальности линий, от которых в значительной мере будут зависеть конструкции машин. На предприятиях небольшой мощности, по-видимому, целесообразно устанавливать универсальные переналаживаемые линии. Крупные предприятия, напротив, желательно оснащать специализированными линиями, на каждой из которых можно будет выпускать изделия определенных типоразмеров. Необходимо принять во внимание, что стоимость переналаживаемой линии значительно выше, чем специализированной.

Среди действующего парка машин имеется большое число таких, которыми можно комплектовать поточные линии при условии присоединения к ним специальных питающих и транспортирующих устройств. Целесообразно максимально использовать имеющиеся автоматы и полуавтоматы, а также другие машины, увеличив степень их автоматизации и снабдив соответствующими загрузочными и разгрузочными устройствами, а также приборами контроля.

При проектировании поточных линий серьезное внимание должно быть уделено соблюдению условий безаварийной работы, удобству обслуживания и технике безопасности. Выполнение этих требований может сказаться на компоновке линии.

Для синхронизации работы машин поточной линии длительность отдельных технологических операций должна быть одинаковой или кратной, а производительность машин – выровненной.

Если машины, входящие в линию, имеют примерно одинаковую производительность, можно применять сквозную однопоточную компоновку с транспортными устройствами, передающими полуфабрикат от одной машины к другой. Если же машины по производительности существенно отличаются друг от друга, то следует применять многопоточные линии с параллельной работой однотипных малопроизводительных машин в сходящихся или расходящихся потоках.

Для этого необходимо применять специальные перегружающие и распределительные устройства и осуществлять специальную компоновку оборудования. В данном случае вследствие технологических причин возникнут независимые участки поточных линий. Каждый из участков должен иметь систему управления, связанную с другими участками, а также независимые системы автоматической транспортировки изделий и их ориентации. Таким образом, линия с различной в отдельных ее участках продолжительностью рабочего цикла по существу представляет собой несколько последовательных поточных линий, связанных друг с другом лишь общим для этих линий автоматическим управлением.

Помимо технологических факторов на компоновку линии часто влияет конфигурация цеха или здания, в которой предполагается размещение линий. Возможные повороты потока также вызывают необходимость введения дополнительных перегружающих устройств и деления линии на отдельные участки.

Разделение линии на участки усложняет и удорожает ее, так как вызывает необходимость установки перегружающих устройств, увеличение числа приводов конвейеров, электроаппаратуры и т.д. Однако многие технологические и строительные причины делают такое деление неизбежным.

Возможны отдельные случаи, когда разделение поточных линий на участки целесообразно, хотя это и сопряжено с усложнением и не является конструктивной неизбежностью. Так, при жесткой связи между машинами простой одной из них вызовут остановку всей линии; чем больше машин входит в линию, тем больше потерь производительности будет из-за простоев. Поэтому при большом числе взаимосвязанных машин иногда целесообразно создавать линию с нежесткой связью между машинами, разделив ее на независимые участки, и предусмотреть работу этих участков или в виде единого автоматизированного потока, или независимо друг от друга. Поместив между участками бункерные устройства или накопители с запасом полуфабрикатов или изделий, можно частично компенсировать простой участков, так как при простое одного участка остальные могут работать некоторое время за счет изделий, имеющихся в бункерах. Однако эффективность такого разделения линии на участки уменьшается вследствие усложнения и удорожания ее механизмов, поэтому деление линий на большое количество участков не всегда целесообразно.

При большом числе взаимосвязанных машин линию следует делить на участки с промежуточными накопителями так, чтобы время простоев, а, следовательно, и потери производительности на этих участках, были одинаковыми. Количество, частота и причины простоев могут быть различными. Они зависят от конструктивного совершенства машин и степени надежности их работы, технического состояния, уровня организации производства и целого ряда случайных причин.

Эксплуатационная производительность поточной линии определяется эксплуатационной производительностью последнего участка или последней машины, которые помимо собственных простоев могут иметь простоя, вызываемыеостоями предыдущих участков линии.

Здесь следует отметить, что под временем простоя последнего участка следует понимать не только продолжительность его фактической остановки, но и время работы вхолостую, когда участок не останавливается, но продукции не дает. Например, при случайной остановке тестоделителя конвейерную печь останавливать нельзя, так как в пекарной камере находятся тестовые заготовки. Таким образом, печь некоторое время будет работать вхолостую, не давая продукции. При этом время холостой работы печи будет зависеть от продолжительности простоя тестоделительной машины.

Для того чтобы определить время простоя последней машины линии с гибкой связью между машинами, необходимо провести длительные эксперименты для получения статистических данных о частоте простоев оборудования и законе их распределения.

В поточных линиях с жесткой связью между машинами продолжительность простоя линии равна продолжительности простоя любой машины.

Таким образом, технологические линии состоят из комплексов оборудования. Функциональная структура линий просматривается настолько четко, что часто комплексы А, В и С называют самостоятельными линиями, например, линия для упаковки молока, линия для получения шоколадных масс и т.д.

Компонование линии – это прежде всего корректировка технологии, модернизация оборудования, создание средств управления технологическими процессами, связующими их в один большой процесс (технологическую систему), а не простое соединение машин и аппаратов в цепочку с помощью конвейеров разных типов.

## **1.4. Машино-аппаратурные варианты пищевых производств.**

### ***МАС производства короткорезанных макаронных изделий***

Для производства макаронных изделий используется обычно специальная мука-крупка, выработанная из твердых сортов пшеницы имеющая наивысшее содержание клейковины. Мука на макаронные фабрики доставляется с помощью автомуковозов и пневмотранспортом перегружается в силоса 3 (рис. 5.) В соответствии с рецептурой мука разных сортов смешивается в шнековом смесителе 2 и роторным питателем 1 пневмотранспортной установки заправляется в циклон 4, где отделяется от воздуха. Далее мука с помощью дозатора 5 проходит просеиватель 6 и магнитный уловитель 7, где отчищается от крупных, мелких и ферромагнитных примесей, взвешивается на весах 8 и передается в расходный бункер 9 макаронного цеха. Подготовленная мука из бункера 9 роторным дозатором 10 направляется в тестомеситель 14 шнекового пресса. Туда же насосом-дозатором 11 подается вода, а из расходного резервуара 12 и смесителя 13 подаются другие ингредиенты: яичный порошок, вкусовые добавки, витамины и т.д. Полученное тесто в виде мелкокомковатой структуры поступает в шнековую камеру 15 пресса, спрессовывается и выпрессовывается через формующие фильеры матрицы при давлении от 7 до 12 МПа в виде заданной формы макаронных изделий. Отформованные изделия при выходе из матрицы обдуваются подогретым воздухом для предотвращения слипания, режутся соответствующим устройством по матрице или в 0,2÷0,3 м от нее многолезвенным ножом и поступают вначале в предварительную 16, а затем в окончательную 17 сушилку, где поддерживается заданный тепловой режим с помощью нагревателя в калориферах воздуха. После сушки макаронные изделия поступают в накопитель-стабилизатор 18, где медленно охлаждаются воздухом цеха с целью релаксации напряжений, возникающих при интенсивной сушке. Готовые изделия поступают в автомат 19 для фасовки и упаковки в тару, которая непосредственно изготавливается в автомате.

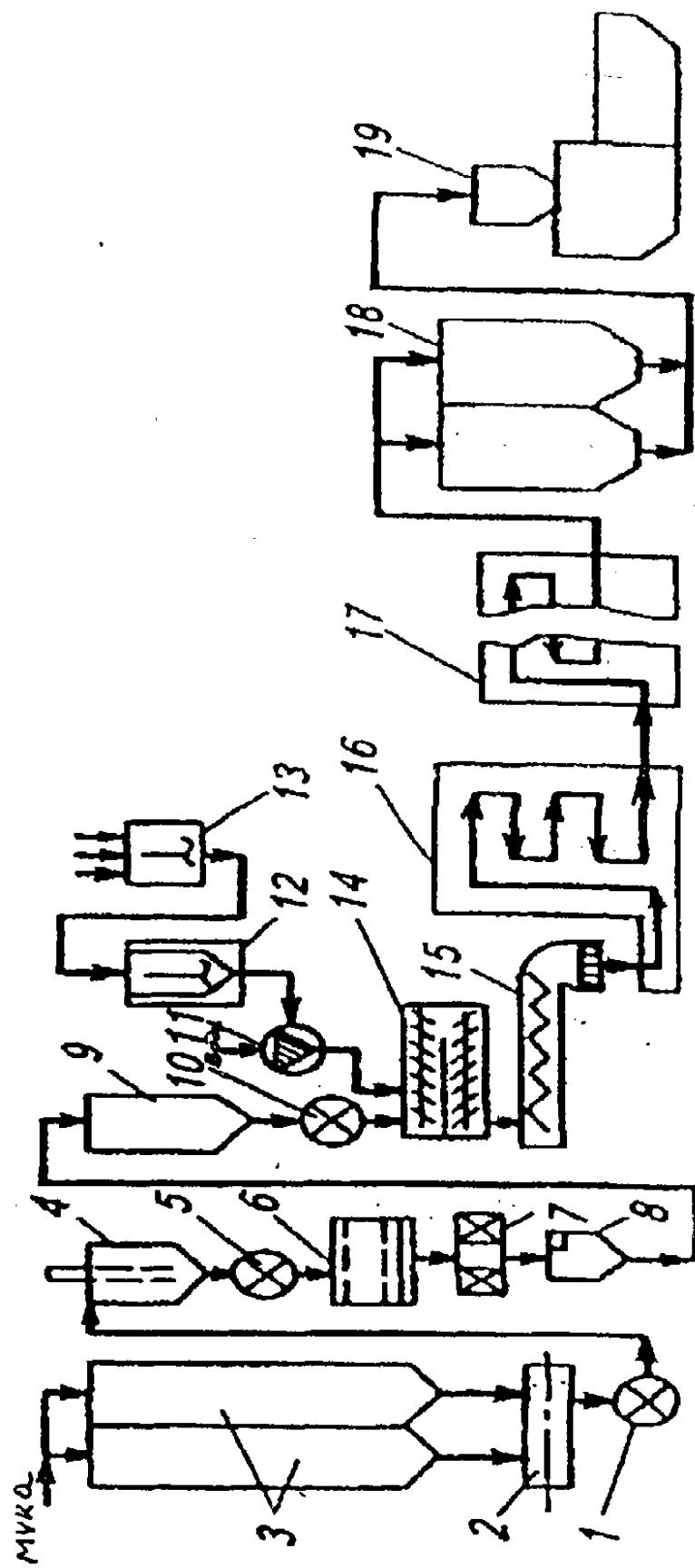


Рисунок 5 – MAC производства короткорезанных макаронных изделий:  
 2 – шнековый смеситель; 3 – силосы; 4 – циклон; 6 – просеиватель; 1, 5, 10 – роторные дозаторы (питатели);  
 7 – магнитный уловитель; 8 – весы; 9 – бункер; 11 – бункер; 12 – насос-дозатор; 14 – расходный резервуар;  
 14, 15 – макаронный пресс; 16 – предварительная сушилка; 17 – окончательная сушилка;  
 18 – накопители-стабилизаторы; 19 – фасовочно-упаковочный автомат

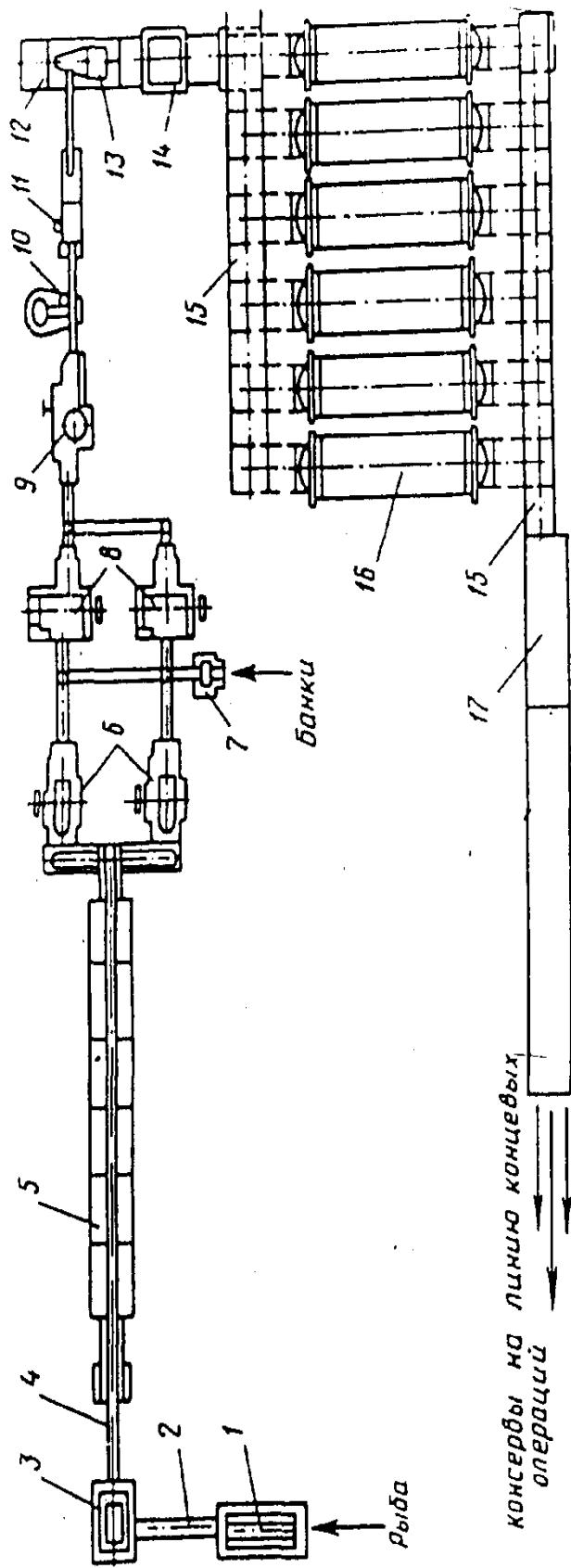


Рисунок 6 – МАС производства натуральных консервов из лососевых рыб:

- 1 – головоотсекающая машина;
- 2, 17 – конвейеры; 3 – рыборазделочный автомат; 4 – инспекционный конвейер; 5 – столы для зачистки рыбы;
- 6 – порционирующие машины; 7 – машины для шпарки банок; 8 – набивочные автоматы;
- 9 – клинчер (предварительная закатка); 10 – вакуум-закаточный автомат; 11 – машина для мойки закатанных банок; 12 – однорядные сетки; 13 – банкоукладчик (твистер); 14 – вагонетки; 15 – машина для мойки закатанных банок; 16 – горизонтальные автоклавы; 17 – конвейерный охладитель

## *MAC производства натуральных консервов из лососевых рыб*

Такого типа линии могут устанавливаться на консервных заводах, а также на плавучих рыбоперерабатывающих комплексах. Размороженная или свежевыловленная рыба поступает в головоотсекающую машину 1 (рис. 4), а затем по конвейеру 2 направляется в рыборазделочный автомат 3. У тушки рыбы отрезаются плавники, хвост, надрезается брюшная полость, вынимаются внутренности, и тушка промывается. Далее тушка рыбы поступает на инспекционный конвейер 4, который проходит между доразделочными столами 5, где вручную дозачищается рыба. Готовая к разделке рыба направляется на порционирующие машины 6, где разрезается на куски. Куски рыбы поступают в банконабивочные автоматы 8, туда же, после стерилизации острым паром, в машине для ошпарки банок 7 поступают консервные банки. В автоматах 8 происходит укладка кусков рыбы в консервную тару, после чего банки с рыбой предварительно закатываются в клинчере 9, а затем окончательно закрываются без доступа воздуха в вакуум-закаточном автомате 10. Затем отмываются от масла, которое подается при закатке, в машине для мойки банок 11. Укладываются в сетки, которые подаются из магазина 12, в автомате 13 и загружаются в вагонетки 14. По рельсовым путям 15 вагонетки заполняют автоклавы 16, где проходит стерилизация консервов. Далее вагонетки с консервами по рельсовым путям 15 поступают в конвейерный охладитель 17, после которого поступают на склад для двухнедельной контрольной отлежки и далее на этикетировку и укладку консервов в транспортную тару.

## *MAC производства пива*

Поступающее на предприятие зерно ячменя направляется в бункера 1 (рис. 6), с помощью переключателя потока 2 направляется сначала в промежуточный бункер 3, потом на весы 4. Затем зерно очищается в воздушно-ситовом сепараторе 5, взвешивается на весах 6 и направляется на хранение в бункера 7. Зерно при поступлении на производство очищается на воздушно-ситовых сепараторах 8, проходит электромагнитную очистку на электромагнитных сепараторах 9, отбор куколя и овсянки в триерах 10 и 11. Далее на ситовых машинах 12 происходит фракционирование зерна на I, II и III сорт. I и II сорт идет в бункера 13, а III сорт направляется на корм скоту. Далее с по-

мощью распределителя потока 14 и шлюзового питателя 15 ячмень поступает в замочный чан 16, где отмывается и дезинфицируется. Вымытое зерно поступает в следующий замочный чан 17, где его влажность повышается до 41–42%. После этого ячмень попадает в солодорастительный аппарат 18 (солодовню). Время выращивания солода примерно 7 суток. Далее продукт питателем 19 направляется на подвяливание в аппарат 20 и на сушку в сушилки 21. Сухой солод очищается от ростков в росткоотбойной машине 22. Ростки собираются в бункере 23, а солод в – бункере 24, где происходит процесс отволаживания. Затем солод поступает в полировочную машину 25, а далее на дробилку 26. Дробленый солод взвешивается на весах 27, поступает в бункер 28, где выдерживается 4–5 недель и доводится до влажности 5–6%. Далее дробленый отлежавшийся солод проходит магнитную очистку в электромагнитном сепараторе 29 и поступает в заторный чан 30, куда наливается вода с температурой 60  $^{\circ}\text{C}$ , и перемешивается. По окончании перемешивания (затирания) около 40% перекачивается в другой заторный чан 31, где нагревается до температуры осахаривания (68–70  $^{\circ}\text{C}$ ), а по окончании осахаривания доводится до кипения, после чего первую отварку возвращают в заторный чан 30. Температура в чане повышается до 70  $^{\circ}\text{C}$ , и затор оставляют в покое до осахаривания. После этого опять часть затора перекачивают во второй заторный чан 31 и проводят второе кипячение. Затем снова возвращают вторую отварку в заторный чан 30. После смешивания общая температура затора уже составляет 75–80  $^{\circ}\text{C}$ , после чего всю массу затора перекачивают в фильтрационный аппарат 32. Прозрачное сусло затем попадает в сусловарочный котел 33. В кotle сусло кипит с хмелем. Горячее охмеленное сусло попадает в хмелеотделиль 34, а сусло собирается в сборник 35. Далее сусло очищается в сепараторе 36, затем охлаждается в пластинчатом теплообменнике 37 (до 5–6  $^{\circ}\text{C}$ ) и закачивается в бродильные чаны 38, куда задаются дрожжи из емкости 39. После главного брожения пиво отделяют от дрожжей и перекачивают в лагерные танки 40, где оно выдерживается в течение 11–80 суток. Далее пиво осветляется в сепараторе-осветителе 41 и фильтре 42. Осветленное пиво охлаждают рассолом в теплообменнике 43, насыщают диоксидом углерода в карбонизаторе 44 и заполняют расходные танки для хранения пива 45. Далее пиво направляется в линию розлива.

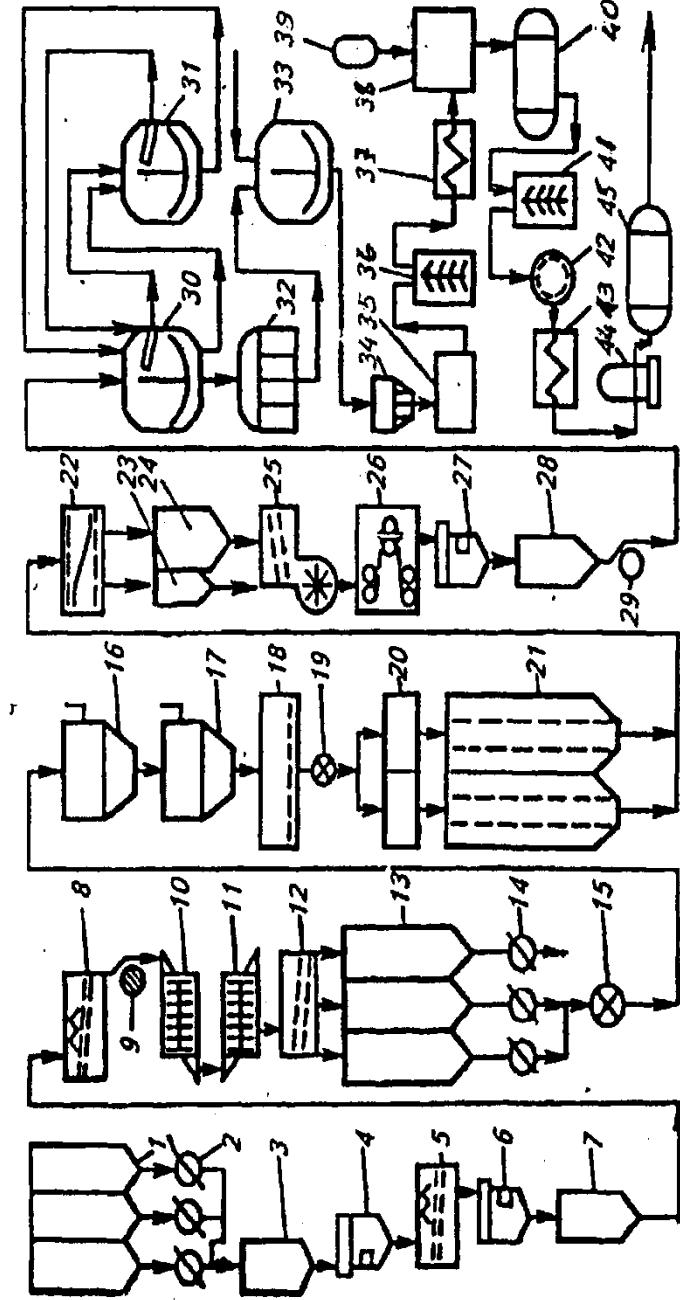


Рисунок 7 – МАС производства пива:

- 1 – бункера; 2 – переключатель потока; 3 – промежуточный бункер; 4 – весы; 5 – воздушно-ситовой сепаратор; 6 – весы; 7 – промежуточный бункер; 8 – воздушно-ситовой сепаратор; 9 – магнитный сепаратор; 10 – куколятборник; 11 – овсягоотборник; 12 – ситовая машина; 13 – бункера;
- 14 – переключатель потока; 15 – ротационный дозатор; 16 – замочный чан; 17 – заторный чан; 18 – солодкобойная машина; 19 – роторный питатель; 20 – камера подвяливания; 21 – сушилки; 22 – бункер для ростков; 23 – бункер для очищенного солода; 24 – бункер для очищенного солода; 25 – полираспределительный аппарат; 26 – дробилка; 27 – весы; 28 – промежуточный бункер; 29 – магнитный сепаратор; 30 – заторный чан; 31 – заторный котел; 32 – фильтрационный аппарат; 33 – супловарочный котел; 34 – хмелеотделитель; 35 – сборник горячего сусла; 36 – сепаратор; 37 – теплообменник; 38 – бродильный чан; 39 – емкость для дрожжей; 40 – лагерный танк; 41 – сепаратор-осветлитель; 42 – фильтр; 43 – танк для пива
- 44 – карбонизатор; 45 – танк для пива

## **2. МАШИНЫ И АППАРАТЫ-ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ПИЩЕВЫХ СРЕД**

### **2.1. Технологическое оборудование для переработки пищевых сред**

Аппараты, в которых осуществляется диффузия сахаров из свекловичной стружки при помощи экстрагирующей жидкости, называют *диффузионными*. Процесс извлечения сахара из свекловичной стружки осуществляют в колонных вертикальных аппаратах типа КДА с выносным ошпаривателем, в наклонных двухшнековых типа ДДС и ПДС, а также в горизонтальных ротационных аппаратах типа РДА.

Процесс экстракции растительных масел ведут либо *способом погружения* экстрагируемого материала в противоточно движущийся растворитель, либо *способом ступенчатого орошения* растворителем противоточно перемещающегося обрабатываемого материала (ленточные экстракторы типа МЭЗ и роторные карусельные).

Классификация диффузионных и экстракционных аппаратов представлена на рисунке 8.

Диффузионные и экстракционные аппараты, применяемые в свеклосахарном и маслоэкстракционном производстве, могут быть периодическими и непрерывнодействующими. Диффузионные и экстракционные аппараты непрерывного действия подразделяются:

на вертикальные одноколонные или двухколонные без транспортирующего органа;

со шнековым, цепным или лопастным транспортирующим органом.

Установки для экстракции настоек и морсов бывают с интенсивным движением водно-спиртового раствора через слой сырья, а также с испарением под вакуумом высококонцентрированного слоя жидкой фазы в пограничном слое сырья.

Аппараты для экстракции бульонов и желатина могут быть периодического и непрерывного действия. К ним относятся экстракторы для желатина, аппараты для обезжиривания костей и диффузоры для обесклейвания костного шрота.



Рисунок 8 – Классификация экстракционных и диффузионных аппаратов

**Наклонный двухшнековый аппарат А1-ПДС-60** представлен на рисунке 9. Корпус аппарата с ребрами 10 на опорах 16 установлен под углом 8–11° к горизонту. В верхней части аппарата установлен приемный бункер 2 для загрузки свекловичной стружки и шнеки 8 для удаления жома из аппарата. Лучшему удалению жома способствуют также лопасти 14. Внутри аппарата стружка перемещается двумя лопастными валами 5, приводимыми во вращение от электродвигателей 1 и 9. Витки валов с опорами 7 состоят из отдельных лопастей, расположенных по винтовой линии. Валы параллельны друг другу, и лопасти одного вала заходят в межлопастное пространство другого. Это предотвращает возможность вращения свекловичной стружки по длине аппарата. Для этой же цели установлены контролпости 15, уплотнение 13 и перегородки 4 на нижней части крышек 3.

Удаляют жом из аппарата в верхней его части шнеками 8 в лоток 18. Они смонтированы под прямым углом к транспортирующим шнекам и вращаются в противоположных направлениях по отношению друг к другу. Масса сокостружечной смеси в аппарате подогревается при помощи камер 17 с изоляцией 11 и 12, установленных по всей длине в нижней части корпуса аппарата.

Принцип действия диффузионного аппарата заключается в следующем. Стружка из приемного бункера 2 перемещается шнеками вдоль аппарата к лопастям 6 и 14, которые передают ее в виде жома

на шнеки 8. Экстрагирующая жидкость поступает в концевую часть аппарата, перемещаясь противоточно относительно стружки, насыщается сахаром и в виде диффузионного сока через сито 19 удаляется из аппарата через штуцер 20.

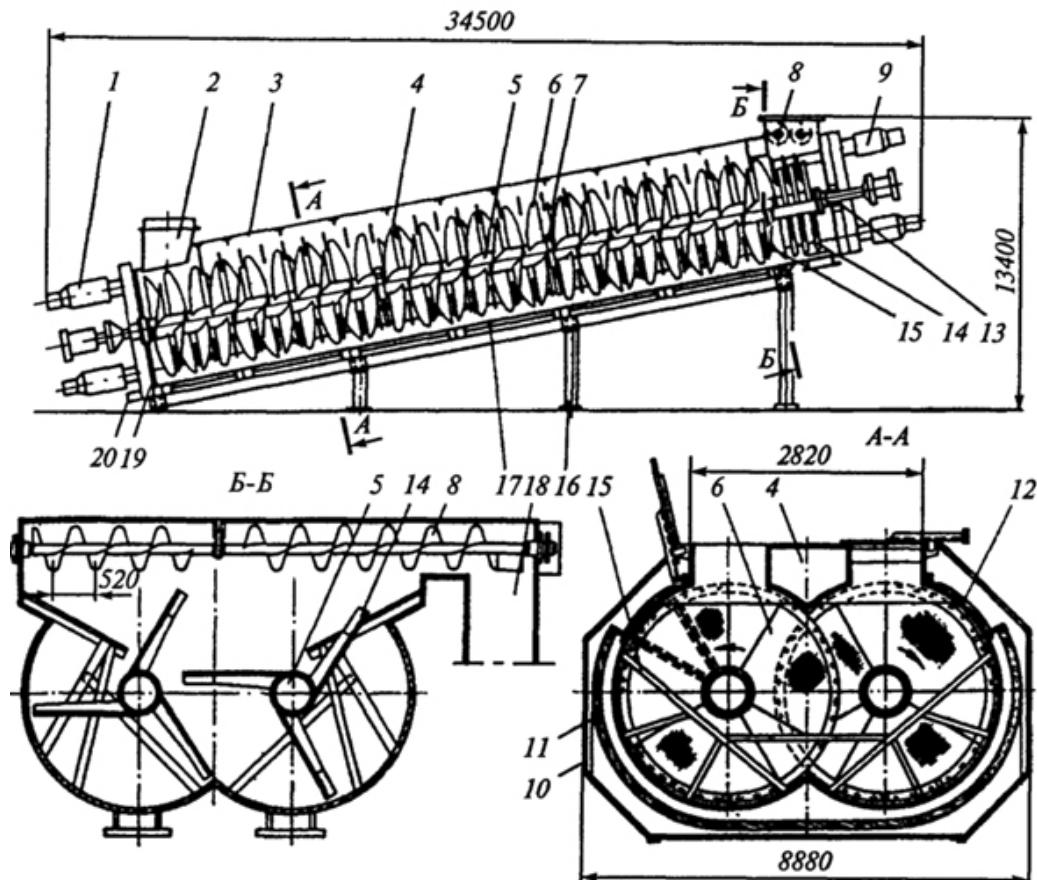


Рисунок 9 – Наклонный двухшнековый аппарат А1-ПДС-60

### Техническая характеристика аппарата А1-ПДС-60

Производительность по свекле, т/сут 6000.

Наружный диаметр шнеков, мм 4000.

Расстояние между осями валов, мм 2820.

Диаметр вала шнеков, мм 1000.

Шаг шнеков, мм 720.

Частота вращения шнеков, мин<sup>-1</sup> до 1,1.

Продолжительность диффундирования, с 3600–4000.

Электродвигатели шнеков:

число электродвигателей постоянного тока 8;

мощность каждого электродвигателя, кВт 42;

частота вращения, мин<sup>-1</sup> 1500.

Мощность электродвигателя разгрузочного устройства, кВт 12.  
Габаритные размеры, мм 34500×8800×13400.

*Производительность наклонного диффузионного аппарата  $P$*  (т/сут) определяется зависимостью

$$P = 1,13(D_{ш}^2 - d^2)\psi\eta Sq\varphi nm\xi k,$$

где  $D_{ш}$  – наружный диаметр шнека, м;

$d$  – диаметр вала шнека, м;

$\psi$  – коэффициент перекрытия витков шнека;

$\eta$  – коэффициент, учитывающий увеличение сечения стружки в аппарате;

$S$  – шаг витков шнека, м;

$q$  – масса стружки на единицу вместимости аппарата, кг/м<sup>3</sup> ( $q = 580\text{--}600$  кг/м<sup>3</sup>);

$\varphi$  – коэффициент наполнения аппарата стружкой;

$n$  – частота вращения шнека, об/мин;

$m$  – число одновременно работающих шнеков;

$\xi$  – эксплуатационный коэффициент;

$k$  – коэффициент подачи свекловичной стружки.

Удельная нагрузка полезной части аппарата стружкой принимается для наклонных аппаратов  $\gamma_d = 650$  кг/м<sup>3</sup>, для колонных  $\gamma_d = 700$  кг/м<sup>3</sup>, для ротационных  $\gamma_d = 520$  кг/м<sup>3</sup>.

Длительность диффундирования  $z_d$  обратно пропорциональна частоте вращения вала, или корпуса, поэтому при изменении частоты его вращения значение  $z_d$  определяется из пропорции

$$z_d / z_1 = n_1 / n_h,$$

где  $z_d$  – нормативная длительность диффундирования, с (мин);

$z_1$  – измененная длительность диффундирования, с (мин);

$n_h$  – нормативная частота вращения вала, с<sup>-1</sup>;

$n_1$  – измененная частота вращения вала, с<sup>-1</sup>.

Эксплуатационный коэффициент диффузионных аппаратов  $\varepsilon = 1$ .

Расход воды на проведение диффузионного процесса рассчитывается на основе материального баланса

$$a + W_{ж} + W_6 = a_o + a_{ж},$$

где  $a$  – количество стружки, процент к массе свеклы;  
 $W_{ж}$  – количество жомопрессовой воды, процент к массе свеклы, находится в зависимости от степени отжатия жома;  
 $W_6$  – количество свежей воды, процент к массе свеклы;  
 $a_{ж}$  – выход жома, процент к массе свеклы;  
 $a_o$  – отбор диффузионного сока, процент к массе свеклы.

## Контрольные вопросы

1. В чем заключается сущность процесса экстракции, что является движущей силой диффузионного процесса?
2. Какие основные требования должны быть выполнены при конструировании диффузионных аппаратов?
3. Какова классификация диффузионных аппаратов сахарного производства?
4. Чем диффузионные аппараты отличаются от экстракционных?
5. Что такое откачка диффузионного сока, как она определяется?
6. По какому принципу работают экстракционные установки для получения спиртовых настоек и морсов?

## 2.2. Технологическое оборудование проведения процессов тепло- и массообмена для обработки сырья и полуфабрикатов

Совершенствование пищевых и перерабатывающих производств различной мощности зависит от уровня их научного обеспечения, реализации научных разработок, связанных с созданием принципиально новых и значительным улучшением существующих технологий и оборудования, которые обеспечивают комплексную безотходную переработку сырья. Интенсификация технологических процессов переработки пищевого растительного сырья базируется на глубоком изучении и применении теории тепло- и массопереноса. Развитие теории, техники и технологии тепло- и массообменных процессов подготовили условия для научного подхода к решению проблемы создания ресурсосберегающих технологий с влаготепловой обработкой, рациональных конструкций и способов управления, обеспечивающих наименьшие материальные потери при высоком качестве готовой продукции.

**Сушилка непрерывного действия.** Непрерывный процесс сушки обеспечивает сокращение продолжительности цикла и высокое качество сухого солода.

Сушилка ЛСХА (рис. 10) имеет металлический корпус, в котором установлены вертикальные ситчатые сушильные секции: шахты 13 и воздушные каналы 14 и 15. Сушильные секции заполнены солодом, медленно продвигающимся вниз непрерывным или пульсирующим потоком. Секции книзу постепенно расширяются во избежание зависания солода между решетками. Ширина шахт вверху – 150 мм, внизу – 250 мм

Воздушные каналы разделены по высоте на части воздухоподводящими коробами 4 и перегородкой 5, благодаря которым теплый воздух 4 раза проходит сквозь слой солода. Над корпусом сушилки расположена камера подвяливания 11. Свежепросший солод подается в камеру по трубе 10 и равномерно распределяется в ней разбрасывателем 9. Вентилятор 8 нагнетает в камеру подвяливания воздух из помещения. Из камеры подвяливания солод вальцами 7 подается в загрузочные шахты 12, из которых сходит в сушильные секции 13. Снизу к корпусу сушилки примыкают разгрузочные шахты 16. Разгрузочные шахты 16 и загрузочные шахты 12 служат затворами, препятствующими воздухообмену. Задвижки 1 в разгрузочных шахтах служат для прекращения выпуска солода из сушильных секций при необходимости.

Разгрузочный механизм 17 состоит из двух пар валков, врашающихся навстречу друг другу. Сухой солод из приемного бункера 18 удаляется шнеком 19. Вентилятор 3 нагнетает холодный воздух в паровой калорифер 2, а затем в корпус сушилки. Через короба 4 при необходимости подсасывается холодный воздух, смешиваемый с теплым. Вентилятор 6 отсасывает отработанный воздух.

Производительность сушилок периодического действия с горизонтальными решетками находится в прямой зависимости от площади основания решеток и высоты слоя солода на решетках и обратной зависимости от продолжительности пребывания солода на каждой решетке.

Производительность  $G$  (т/сутки)

$$G = h(V_2/V_1)\rho_2(24/\tau)f,$$

где  $h$  – высота слоя сырого солода на верхней решетке, м;

$V_1$  и  $V_2$  – объем сырого и сухого солода, получаемого из 1 т ячменя, м<sup>3</sup>;

$\rho_2$  – насыпная плотность сухого солода, т/м<sup>3</sup>;

$\tau$  – продолжительность одного цикла сушки (т.е. период времени от одной разгрузки сушилки до другой), ч;

$f$  – площадь основания сушильных решеток, м<sup>2</sup>;

Производительность вертикальной сушилки периодического действия зависит от объема солода, находящегося в нижней зоне, и продолжительности цикла сушки и определяется по формуле (в т/сут)

$$G = (24 / \tau) \ell \cdot b \cdot h \cdot m \cdot p_2 \cdot \varphi_h,$$

где  $\ell$ ,  $b$  и  $h$  – длина, ширина и высота сушильной шахты нижней зоны сушилки (размеры внутренние), м;

$m$  – число сушильных шахт;

$\varphi_h$  – коэффициент усадки солода при сушке в нижней зоне.

Производительность сушилки непрерывного действия (типа ЛСХА) рассчитывают как произведение количества солода, находящегося в сушилке (пересчитано на высушенный), на частоту смен его в сушилке

$$G = V \cdot p_2 \cdot \varphi (24 / \tau_h),$$

где  $V$  – внутренний объем сушильных шахт, м<sup>3</sup>;

$\varphi$  – коэффициент усадки солода за весь период сушки;

$\tau_h$  – продолжительность сушки при непрерывном процессе, ч.

Уравнение теплового баланса сушилки, работающей с постоянным количеством воздуха во всех зонах имеет вид:

$$L \cdot i_0 + Q_K + G \cdot Cc \cdot t_1 + WC_c \cdot t_1 = L \cdot i_2 + G \cdot C_c \cdot t_2 + Q_n,$$

где  $L$  – расход воздуха, кг;

$i_0$  и  $i_2$  – удельная энталпия свежего и отработанного воздуха, кДж/кг;

$Q_K$  – количество тепла, сообщаемого воздуху в калорифере, кДж;

$G$  – количество высушенного солода с ростками, кг;

$Cc$  и  $Cw$  – удельные теплоемкости солода и воды, кДж/(кг К);

$W$  – количество испаряемой из солода влаги, кг;

$Q_n$  – потери тепла сушилкой, кДж;

$t_1, t_2$  – начальная и конечная температура солода,  $^{\circ}\text{C}$ .

Из уравнения теплового баланса определяют количество тепла, сообщаемое воздуху в калорифере.

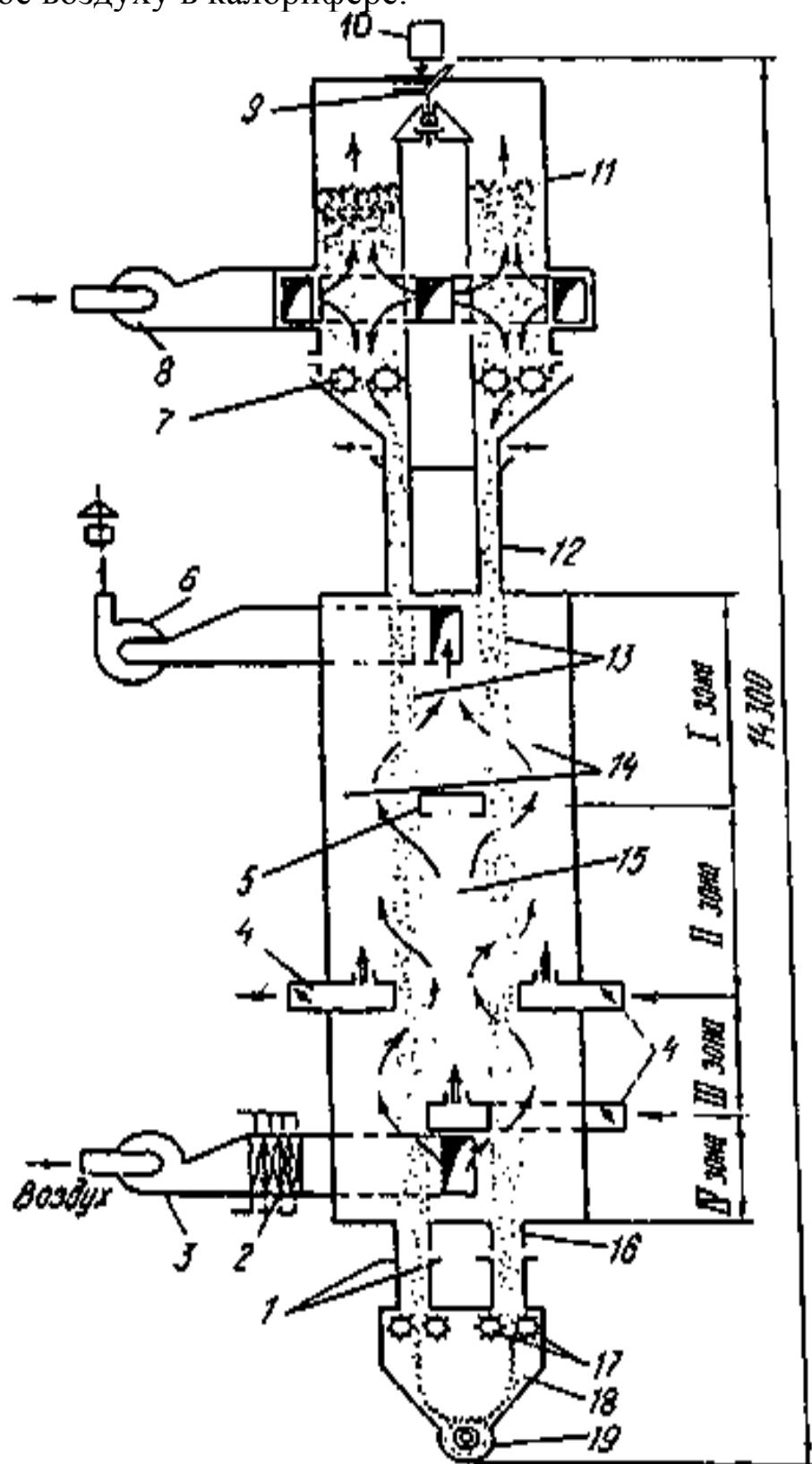


Рисунок 10 – Сушилка ЛСХА

## Основы расчета хлебопекарных печей

Производительность тупиковой печи

$$\Pi_t = n m n_1 / \tau,$$

где  $n$  – число рабочих люлек в печи;

$m$  – масса заготовки;

$n_1$  – количество тестовых заготовок на люльке;

$\tau$  – продолжительность выпечки.

Число изделий (тестовых заготовок) на люльке печи

$$n_1 = n_2 n_3,$$

где  $n_2 n_3$  – число тестовых заготовок по ширине и длине люльки.

При поперечном расположении тестовых заготовок на люльке печи

$$n_2 = (B-a)/(l+a);$$

$$n_3 = (L-a)/(b+a),$$

где  $B, L$  – ширина и длина люльки, м;

$a$  – зазор между изделиями или изделиями и краем люльки,  $l$ ,

$b$  – длина и ширина изделий, м.

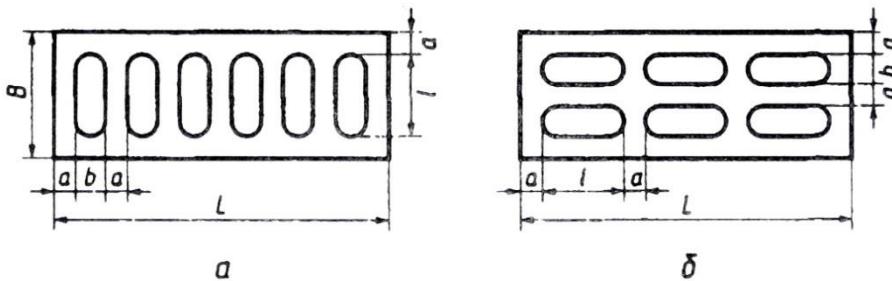


Рисунок 11 – Схемы расположения тестовых заготовок на люльке печи:  
а – поперечное; б – продольное

Величины  $n_2, n_3$  округляют до целого значения в меньшую сторону. При продольном расположении тестовых заготовок на люльке печи

$$n_2 = (B-a)/(b+a); \\ n_3 = (L-a)/(l+a).$$

Для изделий, которые не должны иметь притисков,  $a = 20\text{--}40$  мм, а для изделий с припiskами (сайка листовая) –  $a = 5\text{--}10$  мм.

Если изделия выпекают на листах, то размеры листов необходимо увязывать с размерами люлек. Например, на люльку печи ФТЛ-2 укладывают три листа размером 620x340 мм. Число изделий на листе определяется так же, как и на люльке.

При выпечке формового хлеба количество и размер форм также следует увязывать с размером люльки печи. Данные для расчета производительности печи (размер люлек, число их в печи, размеры изделий, продолжительность выпечки и т.д.) берут из справочной литературы.

Производительность туннельной печи с ленточным подом

$$\Pi_{\text{л}} = Ff/\tau,$$

где  $F$  – рабочая площадь пода,  $\text{м}^2$ ;

$f$  – удельная загрузка 1  $\text{м}^2$  пода печи в зависимости от ассортимента изделий, кг.

Удельная загрузка пода печи

$$f = n_{\text{п}} m,$$

где  $n_{\text{п}}$  – количество изделий на 1  $\text{м}^2$  пода; может быть рассчитано с учетом формулы.

Используемые в настоящее время методики теплового расчета хлебопекарных печей основаны на результатах изучения закономерностей процесса выпечки.

Независимо от конструкции печи тепловая характеристика определяется тепловым балансом

$$Q_{\text{п}} = Q_{\text{п.п.}} + Q_{\text{пот}},$$

где  $Q_{\text{п}}$  – количество теплоты, поступающей в печь;

$Q_{\text{п.п.}}$  – количество теплоты, полезно использованное печью;

$Q_{\text{пот}}$  – тепловые потери.

Полезные энергозатраты на выпечку обусловлены в основном прогревом теста-мякиша, влагоотдачей и образованием корки.

Тепловой баланс пекарной камеры печи определяют на 1 кг горячих изделий (кДж/кг)

$$q_{\Pi.K.} = q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 + q_7 + q_8,$$

где  $q_1$  – теоретический расход теплоты на выпечку (полезная теплота изделий);

$q_2$  и  $q_3$  – потери теплоты на перегрев пара и нагрев вентиляционного воздуха;

$q_4$  – потери теплоты в окружающую среду транспортными устройствами и приспособлениями;

$q_5$  – потери в окружающую среду через ограждения пекарной камеры;

$q_6$  – потери теплоты через фундамент;

$q_7$  – потери теплоты излучением через посадочные и выгрузочные отверстия пекарной камеры в окружающую среду;

$q_8$  – теплота, затрачиваемая на аккумуляцию или получаемая вследствие аккумуляции в конвейерных печах ( $q_8 \approx 0$ ).

Соотношение между отдельными слагаемыми уравнения теплового баланса для большинства конструкций печей составляет (процент от общего количества теплоты, подаваемой в пекарную камеру);

$$\begin{array}{ll} q_1 \dots \dots \dots 25 \dots 35; & q_4 \dots \dots \dots 6 \dots 8; \\ q_2 \dots \dots \dots 8 \dots 10; & q_5 \dots \dots \dots 10 \dots 15. \\ q_3 \dots \dots \dots 6 \dots 8; & \end{array}$$

Всего потери теплоты в пекарной камере составляют 57–77%, потери теплоты с уходящими газами – 23–43%.

Теоретический расход теплоты на выпечку ( $q_1$ ) включает расход теплоты на нагрев теста, испарение влаги из него и перегрев образующегося из этой влаги пара до температуры смеси, выходящей из пекарной камеры

$$q_1 = W_1 (i_1 - i_2) + g_k c_1 (t_1 - t_2) + (g_{cm} c_2 + W_2 c_3) (t_3 - t_2),$$

где  $W_1$  – количество влаги, испарившейся при выпечке 1 кг хлеба;

$i_1$  – энталпия перегретого пара при температуре смеси, принятой в пределах 180–250°C, и атмосферном давлении (определяется по i-S диаграмме для водяного пара),  $i_1 = 2900 \text{ кДж/кг}$ ;

$i_2$  – энталпия воды при температуре теста, поступающего в пекарную камеру, 30°C ( $i_2 = 125 \text{ кДж/кг}$ );

$g_k$  – масса корки на 1 кг горячей продукции ( $g_k = 0,28 \text{ кг/кг}$ );

$c_1$  – удельная теплоемкость корки [ $c_1 = 1,4 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{К)}$ ];

$t_k$  – средняя температура корки ( $t_k = 120^\circ\text{C}$ );

$t_2$  – начальная температура теста, поступающего в пекарную камеру, °C (принимают  $t_2 = 30^\circ\text{C}$ );

$g_{c.m.}$  – количество сухого вещества в мякише 1 кг горячего изделия, кг/кг,  $g_{c.m.} = 1 - (W_2 + g_k)$ ;

$c_2$  – удельная теплоемкость сухого вещества мякиша, кДж/ (кг · °К), принимают равной  $c_1$ ;

$W_2$  – количество влаги в 1 кг изделия в момент выхода из пекарной камеры ( $W_2 = 0,45 \text{ кг/кг}$ );

$c_3$  – удельная теплоемкость воды [ $c_3 = 4,19 \text{ кДж/(кг} \cdot ^\circ\text{К)}$ ];

$t_3$  – средняя температура мякиша в конце выпечки, °C ( $t_3 = 98-99^\circ\text{C}$ ).

Потери теплоты на перегрев пара, подаваемого в пекарную камеру,

$$q_2 = g_n(i_4 - i_3) + (i_4 - i_2),$$

где  $g_n$  – количество насыщенного пара, подаваемого в пекарную камеру для увлажнения среды ( $g_n = 0,1-0,2 \text{ кг/кг}$ );

$i_3$ ,  $i_4$  – энталпии насыщенного и перегретого пара ( $i_3 = 2450 \text{ кДж/кг}$ ,

$i_4 = 2720 \text{ кДж/кг}$ );

$g_v$  – количество воды, подаваемой в пекарную камеру.

Потери теплоты на нагрев вентиляционного воздуха

$$q_3 = [(W_1 + D)c_p(t_{n.k.} - t_v)] / (d_{n.k.} - d_v),$$

где  $D$  – количество воды и пара, подаваемых в пекарную камеру на увлажнение среды;

$c_p$  – теплоемкость воздуха ( $c_p = 1,005 \text{ кДж/кг}$ );

$t_{n.k.}$  – температура пекарной камеры;

$t_v$  – температура наружного воздуха ( $t_v = 25^\circ\text{C}$ );

$d_{\text{п.к.}}$  и  $d_{\text{в}}$  – влагосодержание среды пекарной камеры и воздуха ( $d_{\text{п.к.}} = 0,421 \text{ кг/кг}$ ,  $d_{\text{в}} = 0,014 \text{ кг/кг}$ ).

Потери теплоты в окружающую среду транспортными устройствами и приспособлениями зависит от их массы

$$q_4 = g_m c_m \Delta t,$$

где  $g_m$  – масса металла, перемещаемого в печи, отнесенная к 1 кг хлеба;

$c_m$  – теплоемкость металла [ $c_m = 0,462 \text{ кДж/(кг} \cdot {^\circ}\text{К)J}$ ];

$\Delta t$  – разница температур выходящего и входящего в печь металла.

Потери теплоты через ограждения пекарной камеры

$$q_5 = [\alpha F(t_{\text{п.к.}} - t_{\text{в}})/\Pi] + (5,7\varepsilon F/\Pi)[(0,01 T_{\text{п}})^4 - (0,01 T_{\text{ст}})^4],$$

где  $\alpha$  – коэффициент теплоотдачи конвекцией [для горизонтальных стен равен  $5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot {^\circ}\text{К})$ ; для вертикальных –  $4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot {^\circ}\text{К})$ ];

$F$  – площадь поверхности ограждения печи;

$\varepsilon$  – приведенная степень черноты поверхностей, участвующих в теплообмене;

$T_{\text{п}}, T_{\text{ст}}$  – температура поверхности ограждения и стен.

Потери теплоты через фундамент печного агрегата

$$q_6 = \lambda F \Delta t / \Pi \delta,$$

где  $\lambda$  – коэффициент теплопроводимости основания печи [ $\lambda = 0,086 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot {^\circ}\text{К})$ ];

$F$  – площадь основания;

$\Delta t$  – перепад температур;

$\Pi$  – производительность печи;

$\delta$  – толщина основания.

Потери теплоты излучением через посадочные и выгрузочные отверстия пекарной камеры

$$q_7 = 5,7\varepsilon F \Phi (0,01 T_{\text{и.ст.}})^4 - (0,01 T_{\text{п.ст.}})^4 / \Pi,$$

где  $F$  – площадь отверстий,  $m^2$ ;

$\phi$  – угловой коэффициент излучения,  $\phi = 0,7$ ;

$T_{и.ст.}$ ,  $T_{п.ст.}$  – температуры излучающей и поглощающей стенок.

Определив из уравнения теплового баланса необходимое количество теплоты, подводимой к пекарной камере, можно рассчитать расход топлива

$$B = q_{п.к.} \Pi / (Q_h^p \eta_t - I_{yx} + I_b),$$

где  $Q_h^p$  – низшая теплотворная способность топлива;

$\eta_t$  – коэффициент полезного действия топки;

$I_{yx}$  – энталпия уходящих газов, определяется по  $i-t$ -диаграмме;

$I_b$  – энталпия воздуха, поступающего в топку и газоходы (при  $a=2,5$  и  $t=25^\circ C$   $I_b = 780 \text{ кДж}/\text{м}^3$ ).

Эффективность работы печи и рациональность расхода топлива характеризуются удельным расходом топлива на выпечку 1 кг хлеба:

$$B_{уд} = B / \Pi,$$

где  $B$  – часовой расход топлива,  $\text{кг}/\text{ч}$ ;

$\Pi$  – производительность печи,  $\text{кг}/\text{ч}$ .

Объем топки определяют по допустимой величине теплового напряжения топочного пространства  $K_v$

$$V_t = B Q_h^p / K_v.$$

Затем принимают схему коммуникаций нагревательных каналов, их конструктивные размеры и рассчитывают величину необходимой теплопередающей поверхности либо принимают конструкцию и геометрические размеры нагревательных каналов и рассчитывают необходимую температуру и скорость теплоносителя, при которых будут обеспечены необходимые теплоподвод и температурный режим в рабочей камере печи.

Для обеспечения выпечки высококачественных изделий в пекарной камере необходимо задать рациональные режимы теплоподвода, различные для верхних и нижних нагревательных каналов, характерные для изделий основного ассортимента с учетом внутреннего (в тесте-хлебе) и внешнего (в пекарной камере) тепло- и массообмена.

При расчете теплообмена по зонам пекарной камеры целесообразно использовать обобщенные экспериментальные зависимости, устанавливающие связь между относительной температурой верхней и нижней поверхностей выпекаемых изделий, режимом теплоподвода и внутреннего тепломассопереноса.

По среднему значению плотности теплового потока и температуре поверхности нагревательного канала определяют температуру и скорость теплоносителя в начале и конце канала.

### **Тепловой расчет сушильных установок**

Цель расчета – определение количества испаренной влаги, расхода свежего воздуха и необходимого количества теплоты для сушки макаронных изделий.

Количество испаренной влаги определяется по формуле

$$I = \Pi \left[ (100 - W_c) / (100 - W_1) \right] \cdot \left[ (W_1 - W_c) / (100 - W_c) \right],$$

где  $\Pi$  – производительность сушильной установки по сухим изделиям;

$W_c$  – влажность сухих изделий ( $W_c = 13,5\text{--}14,0\%$ );

$W_1$  – влажность сырых изделий ( $W_1 = 28\text{--}30\%$ ).

Удельный расход свежего воздуха

$$l = 1000 / (d_2 - d_0),$$

где  $d_0$ ,  $d_2$  – влагосодержание свежего воздуха и воздуха на выходе из сушилки, г/кг сухого воздуха.

Часовой расход свежего воздуха

$$L = K_3 l I,$$

где  $K_3$  – коэффициент запаса ( $K_3 = 1,06$ ).

Объемный расход воздуха

$$V = L V_0,$$

где  $V_0$  – удельный объем свежего воздуха,  $\text{м}^3/\text{кг}$  сухого воздуха.

$$V_0 = R_b T / (p - \varphi p_{\text{нac}}),$$

где  $R_b$  – газовая постоянная для воздуха, [ $R_b = 288 \text{ Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{К)}$ ];  
 $T$  – температура воздуха,  $^\circ\text{К}$ ;  
 $p$  – барометрическое давление свежего воздуха, Па;  
 $\varphi$  – относительная влажность воздуха;  
 $p_{\text{рас}}$  – давление насыщенного пара при заданной температуре воздуха, Па.

Расход теплоты на сушку рассчитывают по формуле

$$Q = (Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4)K_n,$$

где  $K_n$  – коэффициент неучтенных потерь ( $K_n = 1,4$ );  
 $Q_1$  – потери теплоты, затрачиваемые на повышение теплосодержания отработанного воздуха:

$$O_1 = L (J_2 - J_0),$$

где  $J_0, J_2$  – теплосодержание свежего и отработанного воздуха,  $\text{Дж/(кг сухого воздуха} \cdot ^\circ\text{К)}$ ;

$Q_2$  – потери теплоты на нагрев изделий

$$Q_2 = \Pi c_n (t_c - t_1),$$

$c_n$  – теплоемкость сырых изделий,  $\text{Дж/(кг} \cdot ^\circ\text{К)}$

$$c_n = 1650 + 15,49 W_0,$$

$W_0$  – влажность изделий в пересчете на сухую массу

$$W_0 = 100I / (100 - I),$$

$t_c, t_1$  – температура макарон на выходе и входе в сушильную камеру.

$Q_3$  – потери теплоты на нагрев транспортных устройств и приспособлений (конвейеров, кассет и др.) в сушильной камере

$$Q_3 = G_T c_T (t_k - t_h),$$

где  $G_t$  – масса транспортных устройств и приспособлений, проходящих в единицу времени через сушильную камеру;

$c_t$  – удельная теплоемкость материала, из которого изготовлены транспортные устройства и приспособления (для стали  $c_t = 0,44 \text{ кДж/(кг} \cdot {^\circ}\text{К)}$ , для алюминия  $c_t = 0,896 \text{ кДж/(кг} \cdot {^\circ}\text{К)}$ );

$t_h, t_k$  – температура транспортных устройств и приспособлений на входе и выходе из сушильной камеры.

$Q_4$  – потери теплоты в окружающую среду

$$Q_4 = K_0 F \Delta t,$$

где  $K_0$  – коэффициент теплопередачи через стенки сушилки [ $K_0 = 0,44\text{--}0,53 \text{ Вт/(м}^2 \cdot {^\circ}\text{К)}$ ];

$F$  – суммарная площадь ограждений сушилки;

$\Delta t$  – средний температурный перепад между наружной стенкой сушилки и окружающим воздухом.

Поверхность нагрева калорифера

$$F_k = Q/K_k \Delta t_{cp},$$

где  $K_k$  – коэффициент теплопередачи стенкой калорифера [ $K_k = 13,3\text{--}32,8 \text{ Вт/(м}^2 \cdot {^\circ}\text{К)}$ ];

$\Delta t_{cp}$  – средняя разность температур греющего теплоносителя и воздуха для всей поверхности нагрева.

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_b - \Delta t_m}{2,31g \frac{\Delta t_b}{\Delta t_m}},$$

где  $\Delta t_b$  – наибольшая разность температур греющего теплоносителя и воздуха;

$\Delta t_m$  – наименьшая разность температур тех же объектов.

## **Контрольные вопросы**

1. В чем заключается цель сушки?
2. Что является основным недостатком паровой конвейерной сушилки?
3. В каких случаях целесообразно использовать сушку макаронных изделий в лотковых кассетах?
4. Какие параметры сушильного воздуха характерны для процесса сушки в лотковых кассетах?
5. Зачем производится реверсирование вентилятора шкафной сушилки?
6. Какую функцию в туннельных сушилках выполняют роликовые конвейеры?
7. Какие виды сушилок используются в производстве?
8. Каковы устройство, принцип работы одноярусной сушилки?
9. Устройство, принцип работы, отличительные особенности сушилок шахтного типа.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Калошин, Ю.А. Технологическое оборудование: учеб.-практ. пособие / Ю.А. Калошин, О.В. Травин, А.Н. Мамцев. – М.: Изд-во МГУТУ, 2004
2. Кошевой, Е.П. Практикум по расчетам технологического оборудования пищевых производств [Текст] / Е.П. Кошевой. – СПб.: ГИОРД, 2005. – 232 с.
3. Машины и аппараты пищевых производств [Текст] / С.Т. Антипов, И.Т. Кретов, А.Н. Остриков [и др.]; под ред. В.А. Панфилова. – М.: Высш. шк., 2001. – 1527 с.
4. Миленькая, Т.С. Технологическое оборудование предприятий бродильной промышленности: курс лекций в 2-х частях. Ч. 1. / Т.С. Миленькая. – Кемерово, 2004. – 100 с.
5. Самойлов, В.А. Машины для резания пищевых продуктов и сырья: метод. указания к выполнению курсовых и дипломных работ / В.А.Самойлов, В.Н. Невзоров; Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2008. – 37 с.
6. Ситников, Е.Д. Практикум по технологическому оборудованию консервного и пищеконцентратного производств [Текст] / Е.Д. Ситников. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 416 с.
7. [http://www.znatovar.ru/s/Osnovnye\\_trebovaniya\\_k\\_teknolog.html](http://www.znatovar.ru/s/Osnovnye_trebovaniya_k_teknolog.html).

# **ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ**

*Методические указания  
для самостоятельной работы студентов*

Самойлов Владимир Александрович  
Невзоров Виктор Николаевич  
Ярум Андрей Иванович

Редактор Л.Э. Трибис

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 19.03.2014. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 3,0. Тираж 110 экз. Заказ №

Издательство Красноярского государственного аграрного университета  
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117