

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
по дисциплине
**«Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и
винодельческих производств»**

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Указания по технике безопасности к выполнению лабораторных работ	4
1 семестр	9
Лабораторная работа № 1. Изучение физико-механических свойств биотехнологических систем	9
Лабораторная работа № 2. Расчет производительности и потребляемой мощности центробежного насоса	19
Лабораторная № 3. Расчет производительности и потребляемой мощности шестеренчатого насоса	27
Лабораторная работа № 4. Расчет производительности и потребляемой мощности винтового насоса	31
Лабораторная работа № 5. Расчет производительности и потребляемой мощности поршневого насоса	34
Лабораторная работа № 6. Изучение влияния технологических факторов на процессы концентрирования целевых продуктов	36
2 семестр	41
Лабораторная работа № 7. Изучение влияния технологических факторов на процессы сушки целевых продуктов	41
Лабораторная работа № 8. Расчет производительности оборудования для дробления и получения сусла	47
Лабораторная работа № 9. Изучение ультрафильтрации биологических жидкостей	56
Лабораторная работа № 10. Изучение технологического процесса электромембранной обработки биологического сырья	66
Лабораторная работа № 11. Расчёт бродильных аппаратов	70
Лабораторная работа № 12. Расчет параметров работы разливочной дозирующей машины	78
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	84

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» относится к обязательной части учебного плана. Ее освоение происходит в 1, 2 семестрах.

Цель дисциплины «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» - формирование представлений о дисциплине как фундаментальной науке, набора универсальных и общепрофессиональных компетенций по направлению подготовки 19.04.01 Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств.

Задачи освоения дисциплины:

В задачи дисциплины «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» входит изучение следующих вопросов:

- изучение основных законов наук о процессах и аппаратах биотехнологии бродильных и винодельческих производств;
- изучение стандартного и инновационного оборудования, используемого в технологии бродильных и винодельческих производств

УКАЗАНИЯ ПО ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Общие правила техники безопасности в химической лаборатории

1. Работать в лаборатории необходимо в халате из хлопковой или хлопчатобумажной ткани (но не из синтетики!). Рабочий халат должен быть по длине ниже колен и застегиваться спереди. В кармане халата должно быть маленькое чистое сухое полотенце или платок для быстрого удаления попавших на кожу твердых или жидких реагентов. При работе с особо опасными веществами дополнительно надевают длинный фартук из поливинилхлорида и нарукавники. При необходимости для защиты лица и глаз используют защитные маски и защитные очки, для защиты рук – специальные защитные перчатки, а для защиты дыхательных путей – респираторы. Волосы должны быть тщательно убраны (используют шапочку или платок) или закреплены и не свисать по сторонам.

2. Рабочее место следует поддерживать в чистоте, не загромождать его посудой и побочными вещами.

3. Студентам запрещается работать в лаборатории без присутствия преподавателя или лаборанта, а также в неустановленное время без разрешения преподавателя.

4. До выполнения каждой лабораторной работы можно приступить только после получения инструктажа по технике безопасности и разрешения преподавателя.

5. Приступая к работе, необходимо: изучить методику работы, правила ее безопасного выполнения; проверить соответствие взятых веществ тем веществам, которые указаны в методике работы.

6. Опыт необходимо проводить в точном соответствии с его описанием в методических указаниях, особенно придерживаться очередности добавления реактивов.

7. Для выполнения опыта пользоваться только чистой, сухой лабораторной посудой; для отмеривания каждого реактива нужно иметь мерную посуду (пипетки, бюретки, мензурку, мерный цилиндр или мерный стакан); не следует выливать избыток налитого в пробирку реактива обратно в емкость, чтобы не испортить реактив.

8. Если в ходе опыта требуется нагревание реакционной смеси, надо следовать предусмотренным методическим указаниям способа нагрева: на водяной бане, на электроплитке или на газовой горелке и др. Сильно летучие горючие вещества опасно нагревать на открытом огне.

9. Пролитые на пол и стол химические вещества обезвреживают и убирают под руководством лаборанта (преподавателя) в соответствии с правилами.

10. При работе в лаборатории следует соблюдать следующие требования: выполнять работу нужно аккуратно, добросовестно, внимательно, экономно, быть наблюдательным, рационально и правильно использовать время, отведенное для работы.

11. По окончании работы следует привести в порядок свое рабочее место: помыть посуду, протереть поверхность рабочего лабораторного стола, закрыть водопроводные краны, выключить электрические приборы.

Помните, не каждое нарушение инструкции влечет за собой несчастный случай, однако мелкие нарушения быстро входят в привычку и объективно способствуют росту травматизма. Умение работать без травм и аварий – один из основных критериев при определении профессиональной квалификации любого специалиста.

Правила техники безопасности в лаборатории при работе с кислотами и щелочами

1. Кислоты и щелочи в большинстве относятся к веществам повышенного класса опасности и способны вызвать химические ожоги и отравления. Поэтому необходимо внимательно следить за тем, чтобы реактивы не попадали на лицо, руки и одежду.

2. Не ходить по лаборатории с концентрированными кислотами и щелочами, а наливать их только в отведенном для этого месте.

3. Разливать концентрированную азотную, серную и соляную кислоты следует только при включенной вентиляции в вытяжном шкафу.

4. Запрещается набирать кислоты и щелочи в пипетку ртом. Для этого следует применять резиновую грушу и прочее оборудование для отбора проб.

5. Для приготовления растворов серной, азотной и других кислот необходимо их приливать к воде тонкой струей при непрерывном перемешивании, а не наоборот. Приливать воду в кислоту запрещается!

6. Растворять твердые щелочи следует путем медленного добавления их небольшими кусочками к воде при непрерывном перемешивании. Кусочки щелочи нужно брать только щипцами.

7. При смешивании веществ, которое сопровождается выделением тепла, необходимо пользоваться термостойким толстостенной стеклянной или фарфоровой посудой.

8. Разлитые кислоты или щелочи необходимо немедленно засыпать песком, нейтрализовать, и только после этого проводить уборку.

9. При попадании на кожу или одежду кислоты, надо смыть ее большим количеством воды, а затем 3 – 5% раствором пищевой соды или разбавленным раствором аммиака.

10. При попадании на кожу или одежду щелочи, после смывания ее большим количеством воды, нужно провести обработку 2 – 3 % раствором борной, лимонной или уксусной кислотами.

11. Вещества, фильтры, бумагу, использованные при работе, следует выбрасывать в специальное ведро, концентрированные растворы кислот и щелочей также сливать в специальную посуду.

Правила техники безопасности в лаборатории с химической посудой

1. Основным травмирующим фактором, который связан с использованием стеклянной посуды, аппаратов и приборов, являются острые осколки стекла, способные вызвать порезы тела работающего, а также ожоги рук при неосторожном обращении с нагретыми до высокой температуры частями стеклянной посуды.

2. Размешивать реакционную смесь в сосуде стеклянной палочкой или шпателем надо осторожно, не допуская разлома сосуда. Держать сосуд при этом необходимо за ее горловину.

3. Перенося сосуды с горячей жидкостью, надо держать их двумя руками: одной – за дно, другой – за горловину, используя при этом полотенце (чтобы избежать ожогов кистей и пальцев рук).

4. При закрывании толстостенной посуды пробкой следует держать ее за верхнюю часть горловины. Нагретый сосуд нельзя закрывать притертой пробкой пока он не охладится.

5. В опытах с нагревом необходимо пользоваться посудой, которая имеет соответствующую маркировку.

6. В случае пореза стеклом нужно сначала внимательно осмотреть рану и извлечь из нее осколки стекла, если они есть, а затем обмыть раненное место 2% раствором перманганата калия, смазать йодом и завязать бинтом или заклеить лейкопластырем.

Правила техники безопасности в лаборатории с электрооборудованием и электроприборами

1. Химические лаборатории согласно степени опасности поражения электрическим током относятся к помещениям с повышенной или особой опасностью, которая обусловлена возможностью воздействия на электрооборудование химически активных сред.

2. Все работы, связанные с применением электроприборов должны проходить под наблюдением преподавателя (лаборанта).

3. При работе с водяной баней нельзя пробовать степень нагрева воды рукой.

4. При неисправности в работе электроприбора необходимо обратиться к преподавателю. Чинить самостоятельно приборы запрещается.

5. При поражении электрическим током, если пострадавший остается в соприкосновении с токоведущими частями, необходимо немедленно выключить ток с помощью пускателя или вывернуть охранную пробку или перерубить токопроводящий провод изолированным инструментом. К пострадавшему, пока он находится под током, нельзя касаться незащищенными руками (без резиновых перчаток). Если пострадавший потерял сознание, после выключения тока нужно немедленно, не дожидаясь врача, делать искусственное дыхание.

Правила техники безопасности в лаборатории при работе с реактивами

1. Если к работе не дано указаний относительно дозировки реактивов, то брать их для проведения опытов необходимо в возможно меньшем количестве (экономия материалов и времени, которое затрачивается на опыт).

2. Избыток реактива нельзя высыпать и выливать обратно в сосуд, из которого он был взят.

3. После расходования реактива банку или стакан необходимо сразу закрыть пробкой и поставить на место.

4. Сухие реактивы брать с помощью лопаток, пластмассовых или металлических шпателей. Шпатель должен быть всегда сухим и чистым. После расходования следует его тщательно обтереть.

5. Когда реактив отбирается пипеткой, ни в коем случае нельзя той же пипеткой, не вымыв ее, брать реактив с другой емкости.

6. При наливании реактивов нельзя наклоняться над сосудом, предотвращая попадания брызг на лицо или одежду.

7. Нельзя держать банку или стакан с реактивом, которую нужно открыть, держа в руках, ее надо поставить на лабораторный стол и только после этого открывать.

Меры первой помощи при отравлениях неорганическими веществами

Азотной кислотой. Свежий воздух, покой, тепло. Вдыхание кислорода. Сульфадимезин или иной сульфаниламидный препарат (2 г), аскорбиновая кислота (0,5 г), кодеин (0,015 г). Искусственное дыхание. Консультация врача.

Серной кислотой. Свежий воздух. Промыть верхние дыхательные пути 2 % раствором пищевой соды. В нос – 2 – 3 капли 2 % раствора эфедрина. Теплое молоко с содой, кодеин (0,015 г) или дионин (0,01 г). При попадании в органы пищеварения смазать слизистую рта 2 % раствором дикаина. Промывание желудка большим количеством воды. Внутрь принять: столовую ложку оксида магния на стакан воды каждые 5 минут, яичный белок, молоко, крахмальный клейстер, кусочки сливочного несоленого масла, кусочки льда. Нельзя вызывать рвоту и применять карбонаты. Консультация врача.

Щелочами. Вдыхание теплого водяного пара (в воду добавить немного лимонной кислоты). Внутрь – теплое молоко с медом, кодеин (0,015 г) или дионин (0,01 г). При попадании в органы пищеварения смазать слизистые оболочки рта и горла 1 % раствором новокаина. Внутрь – по столовой ложке 1 % раствора лимонной кислоты каждые 3 – 5 минут, крахмальный клейстер с добавлением лимонной или уксусной кислоты, 2 – 3 столовые ложки растительного масла, кусочки льда. Консультация врача.

1 семестр

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1

ИЗУЧЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Цель и содержание работы: изучить классификацию, устройство и принцип действия транспортеров и насосов, используемых в биотехнологических производствах; овладеть методиками исследования физико-механических свойств сыпучих и жидких сред.

Теоретическое обоснование

На предприятиях биотехнологической промышленности широко используются транспортирующие машины для перемещения сыпучих видов сырья и компонентов питательных сред, сухих продуктов. Транспортирующие машины классифицируют по следующим признакам:

- *по способу передачи движущей силы* – с механическим приводом, самотечные, системы пневмотранспорта и гидротранспорта;
- *по конструкции* – с тяговым элементом (груз движется вместе с тяговым элементом), без тягового элемента (груз движется при вращательном или колебательном движении рабочего элемента);
- *по роду перемещаемых грузов* – для насыпных грузов, штучных, для насыпных и штучных грузов;
- *по направлению трассы перемещения грузов* – в одной вертикальной плоскости, в одной горизонтальной плоскости, по пространственной трассе;
- *по характеру движения рабочего (грузонесущего) элемента* (лента, настил, подвески, тележки) – с непрерывным, с периодическим (пульсирующим) движением, рабочий элемент может иметь поступательное, возвратно-поступательное, вращательное или колебательное движение;
- *по характеру перемещения груза* – на непрерывно движущемся несущем элементе (ленточные, пластинчатые конвейеры), в непрерывно движущихся рабочих элементах (ковшовые, подвесные, тележечные

конвейеры), волочение груза по неподвижному желобу (скребковые, винтовые конвейеры), скольжение груза (качающиеся инерционные и вибрационные конвейеры).

Выбор типа транспортирующей машины зависит от характера транспортируемого груза (насыпной или штучный), физико-механических свойств сыпучих материалов, требуемой производительности, схемы и размеров трассы транспортирования, допустимых габаритов машин, ее массы и стоимости.

Основными физико-механическими свойствами насыпных материалов являются: гранулометрический состав, плотность, влажность, угол естественного откоса, абразивность, липкость, слеживаемость, смерзаемость, сопротивление перемещению относительно твердых поверхностей.

Гранулометрический состав характеризуется количественным распределением частиц материала по их размеру. Коэффициент однородности размеров частиц груза рассчитывается по формуле:

$$K_o = A_{\max} / A_{\min}, \quad (1.1)$$

где $A_{\max}$, $A_{\min}$ – соответственно наибольший и наименьший размер частиц, при $K_o > 2,5$ груз считается рядовым, при $K_o < 2,5$ – сортированным.

Плотность сыпучего материала – отношение массы материала к занимаемому им объему. Различают плотность при свободной насыпке (плотность насыпная) ρ и уплотненного насыпного груза ρ_u . По плотности насыпные грузы классифицируются на: легкие (при плотности менее $0,6 \text{ т/м}^3$); средние ($0,6 - 1,1 \text{ т/м}^3$); тяжелые ($1,2 - 2,0 \text{ т/м}^3$); весьма тяжелые (более $2,0 \text{ т/м}^3$).

Угол естественного откоса – угол между поверхностью свободного откоса насыпного груза и горизонтальной плоскостью. Различают углы естественного откоса насыпного груза в состояниях покоя и движения.

Истирающей способностью (абразивностью) сыпучих веществ называется свойство их частиц истирать во время движения соприкасающиеся

с ними поверхности. По степени абразивности насыпные грузы делятся на группы: А – неабразивные; В – малоабразивные, С – среднеабразивные; D – высокоабразивные.

Слеживаемость насыпных материалов – свойство многих порошкообразных веществ терять подвижность своих частиц в процессе хранения, особенно, при повышенной относительной влажности воздуха.

Сопротивление перемещению сыпучих веществ относительно поверхностей твердых тел характеризуется коэффициентами трения этих грузов в состояниях покоя и движения груза.

Штучными называются грузы, которые транспортируются штуками или группами. Различают непосредственно штучные и тарные грузы. Тарные грузы – насыпные или штучные грузы, помещенные в тару (ящики, бочки, мешки и др.).

В пищевой и биотехнологической промышленности для транспортировки жидких видов сырья, полуфабрикатов и готовых продуктов, а также в непрерывных технологических схемах обработки жидких систем для подачи продукта на основное оборудование (теплообменники, фильтры, сепараторы, распылительные сушильные установки) применяют насосы.

Это гидравлические машины, преобразующие механическую энергию двигателя в энергию перемещаемой жидкости. Разность давлений жидкости в насосе и трубопроводе обуславливает ее перемещение. Насосы по принципу действия могут быть разделены на следующие типы: лопастные (центробежные), вихревые, осевые и объемные.

В лопастных (центробежных) насосах давление в жидкости создается центробежной силой, возникающей при вращении лопастных колес. В объемных насосах разность давлений возникает при вытеснении жидкости из замкнутого пространства телами, движущимися возвратно-поступательно (поршневые и плунжерные, мембранные) или вращательно (шестеренные с

внешним и внутренним зацеплением, ротационные, кулачковые, шланговые, винтовые).

Для перекачивания жидких продуктов, вязкость которых сравнительно мала, применяются в основном центробежные насосы. Жидкие среды повышенной вязкости перекачивают объемными насосами. Для транспортировки продуктов нежной консистенции, нативных растворов биологически активных веществ, микробных суспензий применяют насосы, которые оказывают минимальное механическое воздействие на жидкую фазу (мембранные, шланговые, винтовые). Для создания высокого давления в потоке жидкости применяют поршневые и плунжерные насосы.

Основными рабочими характеристиками насосов являются: подача, давление, напор, мощность, коэффициент полезного действия.

Подача насоса характеризуется количеством жидкости, которое насос может перекачать в единицу времени. Она может быть объемной (л/ч, м³/ч, м³/с) или массовой (т/ч, кг/с).

Давлением насоса в общем случае называется величина, определяемая зависимостью:

$$P = P_k - P_n + [\rho * (v_k^2 - v_n^2) / 2] + \rho * g * (Z_k - Z_n), \quad (1.2)$$

где P_k и P_n – давление на выходе и входе насоса, Па;

v_k и v_n – скорость жидкой среды на выходе и на входе насоса, м/с;

ρ – плотность жидкости, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

Z_k и Z_n – высота центра тяжести сечения выхода и входа насоса, м.

Напором насоса называется приращение механической энергии, которое сообщает насос 1 кг жидкости, проходящей через него. Напор измеряется в метрах и показывает, на какую высоту насос может поднять жидкость.

Потребляемая насосом мощность расходуется на сообщение жидкости кинетической энергии и энергии давления, сумма которых и составляет напор

жидкости. Значительная часть мощности расходуется на механические и гидравлические потери в самом насосе. Мощность, потребляемая насосом, больше полезной мощности. Она учитывает потери энергии в насосе, относительная величина которых оценивается коэффициентом полезного действия насоса.

Коэффициент полезного действия характеризует совершенство конструкции и экономичность эксплуатации насоса. Величина КПД отражает потери мощности в насосе при перекачивании жидкости.

Аппаратура и материалы: весы лабораторные, набор сит, термостат суховоздушный, колбы мерные емкостью 25 – 50 см³, воронки с диаметром отверстия 10 – 20 мм, лактоденсиметр стеклянный типа А, набор ареометров, термометры ртутные стеклянные с диапазоном измерения 0 – 55 °С, цилиндры стеклянные емкостью 100 – 250 см³, вискозиметр лабораторный капиллярный, колбы термостойкие емкостью 200 – 250 см³, баня водяная, насос лабораторный перистальтический.

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы приведен на рисунке 1. 1.

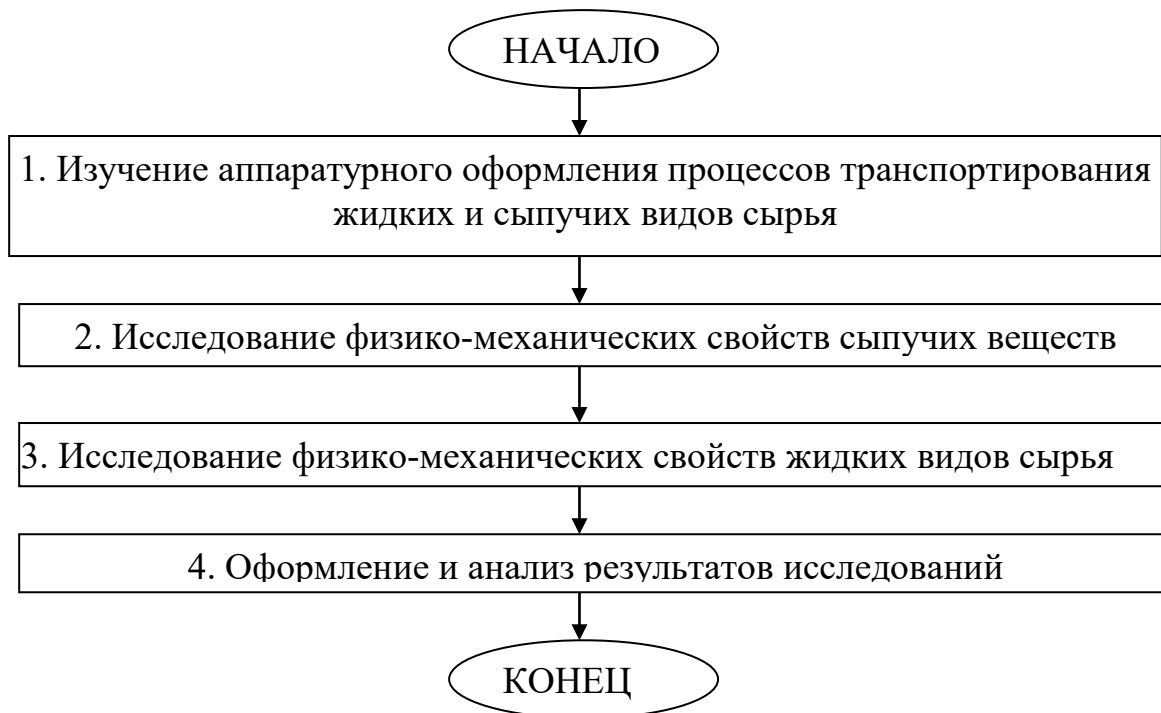


Рисунок 1. 1. Блок-схема алгоритма выполнения работы «Изучение физико-механических свойств сыпучих материалов и жидких систем». Пояснения к блок-схеме

БЛОК 1. Для выполнения задания студентам необходимо рассмотреть классификацию устройств для транспортирования сыпучих веществ и насосов для перекачивания жидких сред. В отчете о работе привести схемы, описание устройства и принципа действия, основные расчетные формулы основных типов транспортеров (ленточных, скребковых, винтовых, пластинчатых, элеваторов и норий) и насосов (центробежных, ротационных, поршневых и плунжерных, винтовых, мембранных, шланговых).

БЛОК 2. Студенты по заданию преподавателя исследуют физико-механические характеристики различных сыпучих видов сырья, используемых в биотехнологических производствах по следующим методикам.

2.1. Исследование гранулометрического состава. Для проведения гранулометрических исследования используют набор сит с калиброванными отверстиями. Определяют массу каждого сита, записывают диаметр отверстий. Навеску сыпучего вещества массой 10 – 15 г, взвешенную с точностью до 0,01 г, помещают на верхнюю решетку набора сит, просеивают образец в течение 10 минут. Определяют массы сит с продуктом и рассчитывают массу каждой фракции, средний диаметр частиц преобладающей фракции.

2.2. Определение насыпной массы. Мерную колбу (пикнометр) емкостью 25 – 50 см³ помещают в термостат при 20°C и выдерживают в течение 10 – 15 минут, после чего взвешивают с точностью до 0,01 г. Далее в колбу помещают исследуемое сыпучее вещество до метки и снова помещают в термостат при 20°C на 10 – 15 минут. После термостатирования колбу с исследуемым образцом взвешивают с точностью до 0,01 г. Насыпную массу исследуемого вещества рассчитывают по формуле:

$$M_n = (M_1 - M_2) / V, \quad (1.3)$$

где M_1 , M_2 – масса колбы с навеской исследуемого вещества и пустой колбы, кг;

V – объем колбы при температуре 20°C, м³.

2.3. Исследование сыпучести сухих видов сырья. Сыпучесть различных порошкообразных и грубодисперсных веществ можно оценить по скорости их истечения через калиброванное отверстие. Для исследования сыпучести сухих видов сырья навеску массой 10 – 15 г помещают в воронку с диаметром отверстия 10 – 20 мм, предварительно закрыв отверстие воронки. Открывают воронку и фиксируют время истечения навески образца.

БЛОК 3. Исследование физико-механических свойств жидких видов сырья проводят по приведенным ниже методикам.

3.1. Определение плотности ареометрическим методом. Цилиндр с исследуемой пробой устанавливают на ровной поверхности и измеряют температуру пробы, t_1 . Сухой и чистый ареометр опускают медленно в исследуемую пробу, погружая его до тех пор, пока до предполагаемой отметки ареометрической шкалы не останется 3–4 мм, затем оставляют его в свободно плавающем состоянии. Ареометр не должен касаться стенок цилиндра.

Первый отсчёт показаний плотности ρ_1 проводят визуально со шкалы ареометра через 3 минуты после установления его в неподвижном положении. После этого ареометр осторожно приподнимают на высоту до уровня балласта в нём и снова опускают, оставляя его в свободно плавающем состоянии. После установления его в неподвижном состоянии проводят второй отсчёт показаний плотности ρ_2 . При отсчёте показаний плотности глаз должен находиться на уровне мениска. Отсчёт показаний проводят по верхнему краю мениска. Затем измеряют температуру t_2 пробы.

За среднее значение температуры t исследуемой пробы принимают среднее арифметическое результатов двух показаний t_1 и t_2 . За среднее значение показаний ареометра при температуре исследуемой пробы молока принимается среднее арифметическое результатов двух показаний ρ_1 и ρ_2 . Если

проба во время определения плотности имела температуру выше или ниже 20 °С, то результаты определения плотности при температуре t должны быть приведены к 20 °С в соответствии со специальными таблицами или расчетными формулами.

3.2. Определение кинематической и динамической вязкости жидкостей.

Определение кинематической вязкости исследуемых жидкостей проводят с помощью лабораторного капиллярного вискозиметра по времени истечения жидкости через калиброванный капилляр прибора. Расчетная формула для определения кинематической вязкости:

$$\nu = (g * T * K) / 9,807, \quad (1.4)$$

где g – ускорение свободного падения в месте измерения, м/с²;

T – время истечения жидкости, с;

K – постоянная вискозиметра (по паспорту прибора).

Динамическую вязкость жидкости рассчитывают по формуле:

$$\mu = \nu * \rho, \quad (1.5)$$

где ρ – плотность жидкости при температуре 20 °С.

3.3. Исследование влияния температуры на скорость перекачивания

жидкости. В химическом стакане или термостойкой колбе подогревают 200 – 250 см³ исследуемой жидкости до температур 20 °С, 30 °С, 40 °С, 50 °С. Жидкость перекачивают лабораторным насосом и отмечают для каждой температуры время перекачивания.

БЛОК 4. Результаты исследований заносят в таблицы 1. 1 и 1. 2.

Таблица 1. 1 – Результаты исследований физико-механических свойств сыпучих веществ.

№ бригады	Исследуемое вещество	Средний размер частиц, мм	Насыпная масса, кг/м ³	Время истечения, с

Таблица 1. 2 – Результаты исследований физико-механических свойств жидкостей.

№ бригады	Исследуемое вещество	Плотность, кг/м ³	Вязкость	Скорость движения, см ³ /с при температуре, °С
-----------	----------------------	------------------------------	----------	---

гады			м ² /с	Па*с	20	30	40	50

Сопоставляя данные, полученные бригадами для различных сыпучих материалов, анализируют влияние гранулометрического состава на физико-механические свойства веществ. По результатам опыта строят график зависимости объемной скорости движения жидкости (см³/с) от температуры. Анализируют влияние плотности и вязкости, температуры на скорость перекачивания исследованных жидкостей.

Содержание отчета и его форма

Отчет о работе должен содержать:

титульный лист;

цель и алгоритм проведения работы;

теоретическое обоснование;

классификацию, устройство, принцип действия основных типов транспортеров и насосов;

описание методик проведения экспериментов;

результаты исследований;

- выводы.

Контрольные вопросы и защита работы

Контрольные вопросы:

- виды и характеристика сырья, используемого при выработке пищевых продуктов;

- физико-химические показатели сырья и их использование при расчетах различного вида аппаратов и машин;

- классификация, устройство и принцип действия основных типов транспортеров;

- классификация, устройство и принцип действия основных типов насосов, рабочие характеристики насосов;

- методики исследования физико-механических свойств сыпучих

материалов и жидких систем.

Защита работы проводится на следующем после ее выполнения лабораторном занятии в форме устного опроса.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА

Цель и содержание: Изучить устройство центробежных насосов и составить принципиальную схему их работы; рассчитать диаметр рабочего колеса для типового насоса; рассчитать изменение полного напора (H) или высоту подачи жидкости и производительности (M) насоса в зависимости от изменения частоты вращения рабочего колеса; изобразить полученные зависимости графически и оценить полученные результаты; рассчитать потребляемую мощность типовым насосом при изменении частоты вращения рабочего колеса; рассчитать зависимость между полным напором, создаваемым насосом, и его производительностью при постоянном числе оборотов рабочего колеса; рассчитать коэффициенты быстроходности для типового насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса и оценить полученные результаты.

Теоретическое обоснование

Насосы относятся к вспомогательному оборудованию пищевых производств. Это машины, предназначенные для создания и поддержания постоянного потока жидкости. Разделяются насосы на два класса: динамические и объемные. В динамических насосах перемещение жидкости происходит за счет динамического взаимодействия между рабочими частями насоса и жидкостью; в объемных насосах - за счет периодического изменения объема камеры при возвратно-поступательном или вращательном движении рабочего органа. Динамические насосы можно разделить на два подкласса - лопастные и трения. Из подкласса лопастных насосов можно выделить следующие группы: центробежные, вихревые, осевые и диагональные. Из подкласса насосов трения наиболее широкое распространение получили струйные и эрлифтные насосы. Класс объемных насосов также можно разделить на два подкласса: роторные насосы и работающие на принципах

возвратно-поступательного движения. Роторные насосы разделяются на три группы: шестеренчатые (шестеренные), винтовые и шиберные. К группе возвратно-поступательных насосов относятся: поршневые, плунжерные, диафрагменные, шланговые и пневматические.

Центробежные насосы нашли наиболее широкое применение в народном хозяйстве. Они используются для перекачивания маловязких жидкостей с температурой до 100 °С. Рабочее колесо - основной орган насосов этого типа. Рабочее колесо расположено в корпусе насоса, который имеет патрубки для подвода и отвода жидкости. Преимущества центробежных насосов: возможность непосредственного соединения с быстроходным электродвигателем, равномерность потока, малые габариты и масса. К недостаткам насосов следует отнести: низкий КПД при малой подаче и большом напоре, понижение КПД при перекачивании вязких жидкостей.

Полный напор (H), создаваемый рабочим колесом, можно рассчитать по формуле:

$$H = \frac{v_o^2}{g} = \frac{\pi^2 \cdot n^2 \cdot D^2}{g} \quad (2.1)$$

где v_o - окружная скорость рабочего колеса, м/с;

g - ускорение свободного падения, м/с²;

n - частота вращения рабочего колеса, 1/с;

D - диаметр рабочего колеса, м.

Мощность, потребляемую насосом, рассчитывают по формуле:

$$N = \frac{M \cdot H \cdot \rho_{ж}}{100 \cdot \eta} \quad (2.2)$$

где M - производительность насоса, м³/с;

η - КПД центробежного насоса ($\eta = 0,2 - 0,4$);

$\rho_{ж}$ - плотность жидкости, кг/м³.

Взаимосвязь между частотой вращения рабочего колеса, производительностью, напором и мощностью, потребляемой насосом, можно выразить следующими уравнениями:

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{M_1}{M_2}; \quad \frac{n_1^2}{n_2^2} = \frac{H_1}{H_2}; \quad \frac{n_1^3}{n_2^3} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.3)$$

где n_1, n_2 - соответственно паспортная и измененная частота вращения рабочего колеса насоса;

H_1, M_1, N_1 - соответственно напор, производительность и потребляемая мощность при паспортном числе оборотов;

H_2, M_2, N_2 - соответственно напор, производительность и потребляемая мощность при измененном числе оборотов.

Коэффициент быстроходности насоса рассчитывают по формуле:

$$N_6 = 3,65 * n * M^{0,5} / H^{0,75} \quad (2.4)$$

Методика и порядок выполнения работы.

Порядок проведения работы представлен в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 2.1.



Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритма выполнения лабораторной работы

Пояснения к блокам

БЛОК 1. Теоретический материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы.

БЛОК 2. Изучение и описание схем насосов выполняют согласно индивидуальному заданию по учебным пособиям и справочной литературе с составлением схем и обоснованием выбранного типа насоса.

БЛОК 3. Расчет насоса выполняют по индивидуальному заданию (таблица 5.1) по приведенному примеру.

БЛОК 4. Оформление отчета и защита лабораторной работы.

Индивидуальные задание приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Индивидуальные задания для расчетов

№ п/п	Типоразмер электронасоса (по ГОСТ 3347-75)	Подача, м ³ /ч	Напор, м	Частота вращения раб колеса, с ⁻¹	Мощность элетродви-гателя, кВт
1	Г2-ОПА (36-1Ц1, 8-12)	6,3	12,5	46,9	0,8
2	Г2-ОПБ (36-1Ц2, 8-20)	10,0	20,0	47,8	1,5
3	Г2-ОПВ (36-1Ц2, 8-31)	10,0	31,5	48,0	3,0
4	50МЦ25-31 (50-1Ц7, 1-31)	25,0	31,5	48,3	5,5
5	75МЦ50-31 (75-1Ц14,0-31)	50,0	31,5	48,6	10,0
6	Г2-ОПД (50-3Ц7, 1-20)	25,0	20,0	48,5	5,5
7	36 МЦ 6-12	6,0	12,0	46,7	0,6
8	36 МЦ 10-20	10,0	20,0	47,8	1,5
9	О-85-800Г	600,0	4,6	13,0	17,0
10	О-85-800Г	800,0	4,2	13,0	17,0
11	О-85-800Г	900,0	3,5	13,0	17,0
12	О-85-1100Г	900,0	7,9	16,0	30,0
13	Г2-ОПГ	12,5	3,0	15,5	1,1
14	Е8-36МЦС13-10	13,0	10,0	48,0	1,1
15	Г2-ОПЕ	25,0	3,0	15,5	2,2
16	РЗ-ОНС	12,0	2,0	7,75	1,1

Порядок выполнения задания

1. Приводится краткая характеристика центробежных насосов, их устройство и принцип работы.

2. Рассчитывается диаметр рабочего колеса типового центробежного насоса согласно индивидуальному заданию. Для этого можно использовать формулу (5.1) для определения полного напора насоса.

3. Рассчитать изменение полного напора насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса в сторону уменьшения для быстроходных насосов или увеличения для тихоходных насосов с шагом 6 с^{-1} . При расчетах использовать формулу (5.1).

4. Рассчитать изменение производительности насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса по данным п. 3. При расчетах можно воспользоваться зависимостью закона пропорциональности (формула 5.3).

5. Изобразить графически полученные зависимости и оценить полученные результаты.

6. Рассчитать мощность, потребляемую насосом, при изменении его производительности (п. 4), зависимость изобразить графически и оценить полученные результаты. Потребляемую мощность можно рассчитать по формуле (5.2).

7. Рассчитать коэффициенты быстроходности насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса (п. 3, 4). Для расчетов можно воспользоваться формулой (5.4).

В зависимости от коэффициента быстроходности насосы делят на три группы: тихоходные ($n_6 = 40 - 80$), нормальные ($n_6 = 80 - 140$), быстроходные ($n_6 = 140 - 300$). Увеличение коэффициента быстроходности ведет к уменьшению отношения D_2 / D_1 , где D_2 - наружный диаметр лопастного колеса, D_1 - наибольший диаметр отверстия входа потока жидкости в лопастное колесо. Для тихоходных насосов это соотношение должно составлять, ориентировочно, 21,5; для нормальных - 2,0, а для быстроходных - 1,8-1,4.

Анализ формулы расчета коэффициента быстроходности позволяет сделать следующие выводы:

- увеличение подачи жидкости и уменьшение полного напора ведут к увеличению коэффициента быстроходности и наоборот; насосы с одинаковой производительностью и напором, но имеющие разные коэффициенты быстроходности имеют разные размеры: размер насосов с большим коэффициентом быстроходности меньше;

- при одинаковой скорости вращения рабочего колеса и одинаковой производительности насосы с большим коэффициентом быстроходности будут работать при меньших напорах; при одинаковых скоростях вращения рабочего колеса и одинаковых напорах насосы с большим коэффициентом быстроходности будут давать большую подачу.

8. Рассчитать зависимость и изобразить её графически между полным напором и производительностью насоса при постоянном вращении рабочего колеса. Для расчетов можно воспользоваться формулой (5.4). Дать анализ полученным результатам.

Пример выполнения расчетов

Исходные данные для расчетов:

Типоразмер насоса - Г2 - ОПБ: подача - $10 \text{ м}^3 / \text{ч}$; напор - $31,5 \text{ м}$; частота вращения рабочего колеса - 48 с^{-1} ; мощность электродвигателя - $3,0 \text{ кВт}$.

1. Рассчитываем диаметр рабочего колеса, используя формулу (5.1):

$$D = \sqrt{\frac{31,5 \cdot 9,8}{(3,14 \cdot 48)^2}} = 0,12 \text{ м}$$

2. Задаемся значениями частоты вращения рабочего колеса: $n_2 = 42 \text{ с}^{-1}$; $n_3 = 36 \text{ с}^{-1}$; $n_4 = 30 \text{ с}^{-1}$; $n_5 = 24 \text{ с}^{-1}$. Рассчитываем изменение полного напора, производительности и потребляемой мощности, используя зависимости (5.3), например:

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2 = 31,5 \cdot \left(\frac{42}{48}\right)^2 = 24,1 \text{ м};$$

$$M_2 = M_1 \cdot \frac{n_2}{n_1} = 10 \cdot \frac{42}{48} = 8,75 \text{ м}^3 / \text{ч} ;$$

$$N_2 = N_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^3 = 3 \cdot \left(\frac{42}{48}\right)^3 = 2,01 \text{ кВт} ;$$

Результаты расчетов сводим в таблицу 2.2.

Таблица 2.2 – Результаты расчетов

Частота вращения, n , с^{-1} .	Полный напор, H , м	Производительность, M , $\text{м}^3 / \text{ч}$	Потребляемая мощность, N , кВт
48	31,5	10,0	3,00
42	24,1	8,75	2,01
36	17,7	7,50	1,27
30	12,3	6,25	0,73
24	7,9	5,00	0,38

3. Рассчитываем коэффициент быстроходности по формуле (5.4):

$$n_{\#1} = \frac{3,65 \cdot 48 \cdot \sqrt{10}}{\sqrt[4]{31,5^3}} = 41,67;$$

$$n_{\#2} = \frac{3,65 \cdot 42 \cdot \sqrt{8,75}}{\sqrt[4]{24,1^3}} = 41,69 ;$$

$$n_{\#3} = \frac{3,65 \cdot 36 \cdot \sqrt{7,5}}{\sqrt[4]{17,7^3}} = 41,70 ;$$

$$n_{\#4} = \frac{3,65 \cdot 30 \cdot \sqrt{6,25}}{\sqrt[4]{12,3^3}} = 41,68 ;$$

$$n_{\#5} = \frac{3,65 \cdot 24 \cdot \sqrt{5}}{\sqrt[4]{7,9^3}} = 41,57 .$$

4. Рассчитываем зависимость между полным напором и производительностью насоса при постоянном вращении рабочего колеса ($n = 48 \text{ с}^{-1}$) и коэффициенте быстроходности $n_{\#} = 41,7$, используя формулу (5.4):

$$M_1 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{31,5^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 10,02 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_2 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{24,1^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 6,7 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_3 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{17,7^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 4,2 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_4 = \left(\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{12,3^3}}{48 \cdot 3,65} \right)^2 = 2,4 \text{ м}^3 / \text{с} ;$$

$$M_5 = (\frac{41,7 \cdot \sqrt[4]{7,9^3}}{48 \cdot 3,65})^2 = 1,3 M^3 / c \text{ .}$$

Лабораторная работа №3

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ И ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ШЕСТЕРЕНЧАТОГО НАСОСА

Цель и содержание: Изучить устройство шестеренчатых насосов и составить принципиальную схему их работы. Рассчитать производительность (Q) и потребляемую мощность (N) насоса. Подобрать электродвигатель по каталогу.

Теоретическое обоснование

Насосы относятся к вспомогательному оборудованию пищевых производств. Это машины, предназначенные для создания и поддержания постоянного потока жидкости. Разделяются насосы на два класса: динамические и объемные. В динамических насосах перемещение жидкости происходит за счет динамического взаимодействия между рабочими частями насоса и жидкостью; в объемных насосах - за счет периодического изменения объема камеры при возвратно-поступательном или вращательном движении рабочего органа. Динамические насосы можно разделить на два подкласса - лопастные и трения. Из подкласса лопастных насосов можно выделить следующие группы: центробежные, вихревые, осевые и диагональные. Из подкласса насосов трения наиболее широкое распространение получили струйные и эрлифтные насосы. Класс объемных насосов также можно разделить на два подкласса: роторные насосы и работающие на принципах возвратно-поступательного движения. Роторные насосы разделяются на три группы: шестеренчатые (шестеренные), винтовые и шиберные. К группе возвратно-поступательных насосов относятся: поршневые, плунжерные, диафрагменные, шланговые и пневматические.

Шестеренчатые насосы состоят из двух цилиндрических зубчатых колес с небольшими радиальными торцевыми зазорами, расположенных внутри корпуса. Область всасывания создается там, где зубья выходят из зацепления, а область нагнетания - там, где они входят в зацепление. При изменении

вращения шестерен продукт будет перекачиваться в обратную сторону и нагнетательный патрубок будет всасывающим и наоборот.

Для ориентировочных расчетов теоретической производительности шестеренчатых насосов (в м³/с) можно воспользоваться следующей формулой:

$$Q_T = 0,42 * D_H * Z * m * b * n \quad (3.1)$$

где D_H - диаметр начальной окружности шестерни, м;

Z - число зубьев шестерни;

m - модуль, м;

b - ширина зуба шестерни, м;

n - частота вращения, с⁻¹.

Эта формула дает несколько завышенные результаты. Действительная подача насоса будет равна:

$$Q_d = Q_T * \eta \quad (3.2)$$

где η - объемный КПД насоса, равный 0,75-0,85.

Мощность, потребляемая для работы насоса, определяется по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot p_n}{3600 \cdot \eta_m} \quad (3.3)$$

где Q - подача насоса, м³/ч;

p_n - давление насоса, Па;

η_m - механический КПД насоса, равен 0,8-0,9.

Необходимое избыточное давление (Па) насоса для подъема жидкостей определяют по формуле:

$$p_n = H * \rho_{жс} * g, \quad (3.4)$$

где H – высота подъема жидкости, м;

$\rho_{жс}$ – плотность жидкости

Методика и порядок выполнения работы.

Порядок проведения работы представлен в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 3.1.

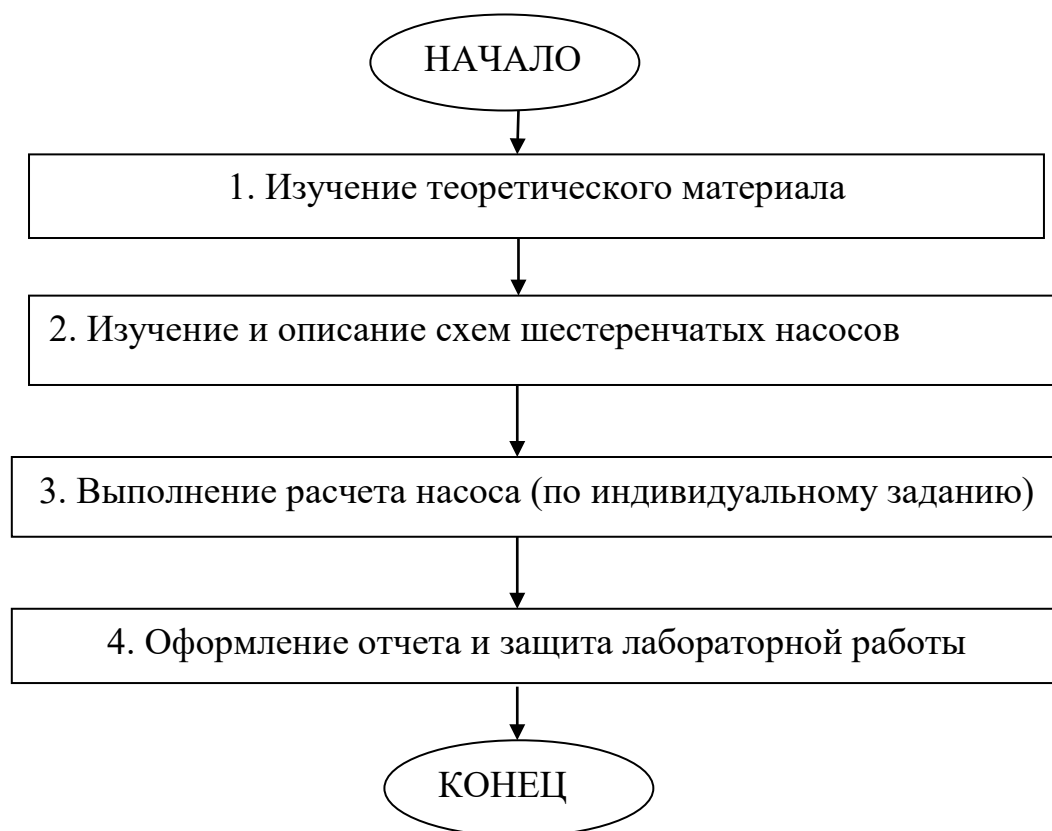


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритма выполнения лабораторной работы

Пояснения к блокам

БЛОК 1. Теоретический материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы.

БЛОК 2. Изучение и описание схем насосов выполняют согласно индивидуальному заданию по учебным пособиям и справочной литературе с составлением схем и обоснованием выбранного типа насоса.

БЛОК 3. Расчет насоса выполняют по индивидуальному заданию (таблица 6.1) по приведенному примеру.

БЛОК 4. Оформление отчета и защита лабораторной работы.

Индивидуальные задание приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Индивидуальные задания для расчетов

№ п/п	Число зубьев шестерни, Z	Модуль зацепления , m , м	Ширина зуба шестерни, b , м	Высота подъема H , м	Частота вращения шестерни n , c^{-1}
1	17	0,004	0,012	12,5	46,9
2	19	0,063	0,016	20,0	47,8
3	21	0,080	0,014	31,5	48,0
4	23	0,010	0,020	31,5	48,3
5	24	0,0125	0,022	31,5	48,6
6	25	0,004	0,024	20,0	48,5
7	26	0,063	0,025	12,0	46,7
8	27	0,080	0,026	20,0	47,8
9	28	0,010	0,012	4,6	10,0
10	29	0,0125	0,016	4,2	12,0
11	30	0,063	0,014	3,5	14,0
12	31	0,080	0,020	7,9	16,0
13	21	0,063	0,012	31,5	46,7
14	25	0,080	0,014	20,0	47,8
15	27	0,063	0,025	3,5	14,0
16	29	0,0125	0,022	20,0	47,8

Содержание отчета и его форма:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическое обоснование.
3. Описание схем шестеренчатых насосов с обоснованием выбранного для расчета.
4. Заключение и выводы.

Вопросы для защиты работы:

- общая классификация насосов для биотехнологической промышленности;
- характеристика и классификация шестеренчатых насосов;
- особенности расчета шестеренчатых насосов;
- расчет мощности и подбор электродвигателя по каталогам.

Лабораторная работа №4

Расчет производительности и потребляемой мощности винтового насоса

Цель и содержание: Изучить устройство винтовых насосов и составить принципиальную схему их работы. Рассчитать производительность (Q) и потребляемую мощность (N) насоса. Подобрать электродвигатель по каталогу.

Теоретическое обоснование

Винтовые насосы относятся к объемным. Жидкость перемещается вдоль оси вращения рабочих органов за счет периодического изменения объема занимаемой ею камеры. Винтовые насосы создают давления, имеют весьма малое перемешивание перекачиваемой жидкости, равномерную подачу и обеспечивают хорошее всасывание.

В молочной промышленности винтовые насосы широко применяются для перекачивания вязких жидкостей, творога, подачи сгущенных продуктов в сушильные башни.

Действительная объемная подача винтового насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) равняется:

$$Q = \frac{4 \cdot e \cdot D \cdot T \cdot n}{60} \cdot \eta_o \quad (4.1)$$

где e - величина эксцентриситета, м;

D - диаметр сечения винта, м;

T - шаг обоймы, м;

n - частота вращения винта, об/мин;

η_o - объемный КПД, учитывающий утечки (для одновинтовых насосов колеблется в пределах 0,65-0,90)

Напор насоса (м.вод. ст.) рассчитывают по формуле:

$$H = \frac{\Delta p \cdot L}{T \cdot \gamma} \quad (4.2)$$

где Δp -перепад давления по шагам обоймы (для насосов, работающих на давлении до 1 МПа, составляет 15-25 м.вод. ст.), Па ;

L - длина рабочей части обоймы, м;

γ - удельный вес перекачиваемого продукта, Н/м³.

Мощность (кВт) на валу насоса определяют по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot H \cdot \gamma}{102 \cdot \eta} \quad (4.3)$$

где η - полный КПД одновинтовых насосов (произведение частных КПД насоса - объемного, гидравлического и механического) находится в пределах 0,1-0,6;

γ - удельный вес перекачиваемого продукта, кг/м³.

Методика и порядок выполнения работы.

Порядок проведения работы представлен в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 4.1.

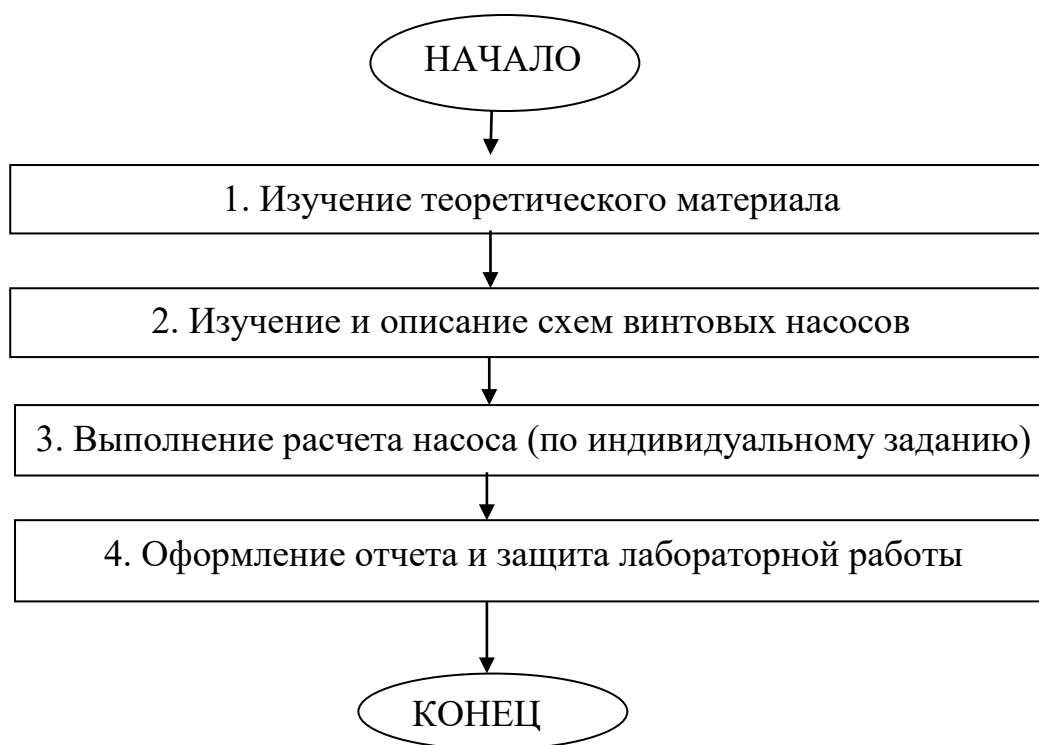


Рисунок 4.1 – Блок-схема алгоритма выполнения лабораторной работы

Пояснения к блокам

БЛОК 1. Теоретический материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы.

БЛОК 2. Изучение и описание схем насосов выполняют согласно индивидуальному заданию по учебным пособиям и справочной литературе с составлением схем и обоснованием выбранного типа насоса.

БЛОК 3. Расчет насоса выполняют по индивидуальному заданию.

БЛОК 4. Оформление отчета и защита лабораторной работы.

Индивидуальные задание приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Индивидуальные задания для расчетов

№ п/п	Эксцентриситет, м	Диаметр сечения винта, м	Высота подъема Н, м	Шаг обоймы, м	Частота вращения винта, об/мин
1	0,008	0,06	12,5	0,10	300
2	0,010	0,08	20,0	0,12	400
3	0,012	0,10	31,5	0,14	500
4	0,014	0,12	31,5	0,16	600
5	0,016	0,14	31,5	0,18	700
6	0,018	0,16	20,0	0,20	800
7	0,008	0,06	12,0	0,10	900
8	0,010	0,08	20,0	0,12	1000
9	0,012	0,10	4,6	0,14	1100
10	0,014	0,12	4,2	0,16	1200
11	0,016	0,14	3,5	0,18	1300
12	0,018	0,16	7,9	0,20	1400
13	0,010	0,10	31,5	0,18	700
14	0,014	0,12	31,5	0,16	1200
15	0,018	0,06	12,0	0,10	300
16	0,016	0,10	4,6	0,16	600

Содержание отчета и его форма:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическое обоснование.
3. Описание схемы насоса с обоснованием выбранного для расчета.
4. Заключение и выводы.

Вопросы для защиты работы:

- общая классификация насосов для молочной промышленности;
- характеристика и классификация винтовых насосов;
- особенности расчета винтовых насосов;
- расчет мощности и подбор электродвигателя по каталогам.

Лабораторная работа №5

Расчет производительности и потребляемой мощности поршневого насоса

Цель и содержание: Изучить устройство поршневых насосов и составить принципиальную схему их работы. Рассчитать производительность (Q) и потребляемую мощность (N) насоса. Подобрать электродвигатель по каталогу.

Теоретическое обоснование

Поршневые и плунжерные насосы относятся к группе возвратно-поступательных насосов. Рабочие органы у таких насосов выполнены в виде поршней или плунжеров. Они могут быть простого или двойного действия. Применяют такие насосы для перекачивания вязких жидкостей и при создании большого давления. Подача плунжерного насоса зависит от числа ходов поршня и его размеров.

Типичным представителем плунжерных насосов в молочной промышленности является гомогенизатор.

Производительность насоса можно рассчитать по формуле:

$$Q = \frac{60 \cdot \pi \cdot D^2 \cdot S \cdot n}{4} \cdot \eta_o = 47,1 \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \eta_o, \quad (5.1)$$

где Q - подача насоса, м³/ч;

D - диаметр поршня, м;

S - ход поршня, м;

n - число двойных ходов поршня (или число оборотов кривошипа в минуту);

η_o - объемный КПД, примерно равен 0,7-0,9.

Производительность насоса двустороннего действия определяют по формуле:

$$Q = 47,1 \cdot (2D^2 - d^2) \cdot S \cdot n \cdot \eta_o \quad (5.2)$$

где d - диаметр штока, м.

Мощность, потребляемая для работы насоса, определяется по формуле:

$$N = \frac{Q \cdot p_n}{3600 \cdot \eta_M} \quad (5.3)$$

где Q - подача насоса, м³/ч;

p_n - давление насоса, Па;

η_m - механический КПД насоса, равен 0,8-0,9.

Методика и порядок выполнения работы.

Порядок проведения работы представлен в виде блок-схемы алгоритма на рисунке 5.1.

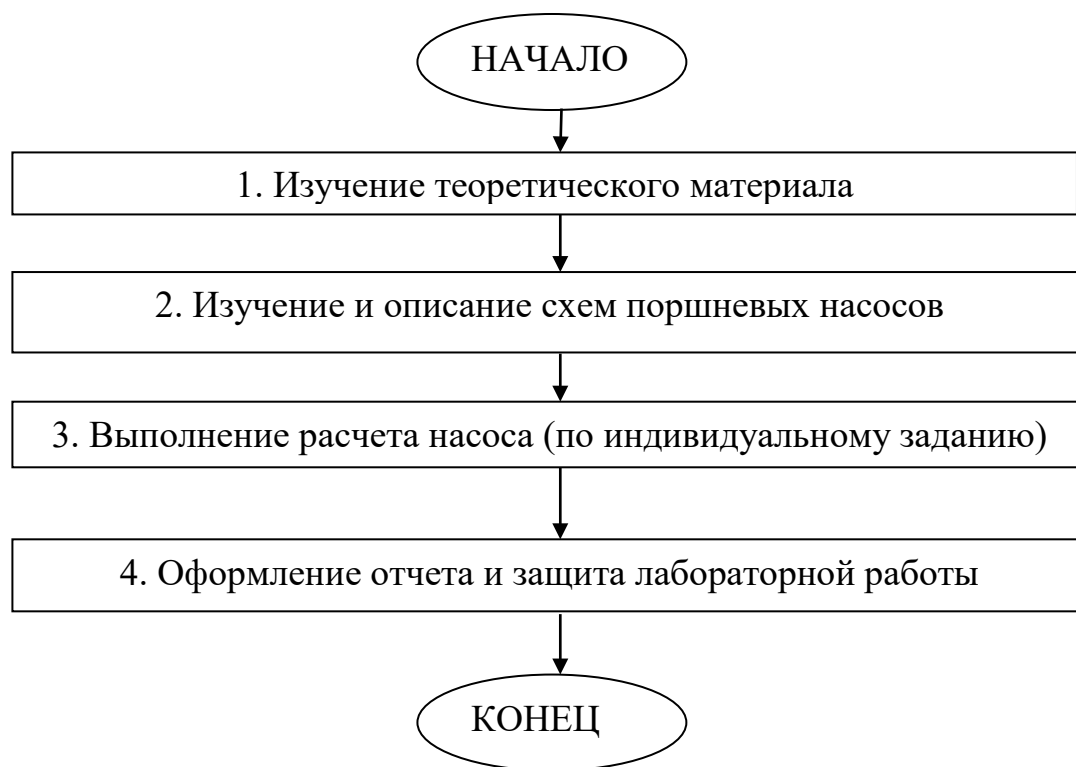


Рисунок 5.1 – Блок-схема алгоритма выполнения лабораторной работы

Пояснения к блокам

БЛОК 1. Теоретический материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы.

БЛОК 2. Изучение и описание схем насосов выполняют согласно индивидуальному заданию по учебным пособиям и справочной литературе с составлением схем и обоснованием выбранного типа насоса.

БЛОК 3. Расчет насоса выполняют по индивидуальному заданию.

БЛОК 4. Оформление отчета и защита лабораторной работы.

Индивидуальные задание приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Индивидуальные задания для расчетов

№ п/п	Диаметр поршня, м	Ход поршня, м	Высота подъема Н, м	Диаметр штока, м	Частота вращения кривошипа, об/мин
1	0,10	0,16	12,5	0,025	300
2	0,12	0,20	20,0	0,030	400
3	0,14	0,25	31,5	0,035	500
4	0,16	0,30	31,5	0,040	600
5	0,20	0,35	31,5	0,050	700
6	0,24	0,40	20,0	0,060	800
7	0,10	0,16	12,0	0,025	900
8	0,12	0,20	20,0	0,030	1000
9	0,14	0,25	4,6	0,035	1100
10	0,16	0,30	4,2	0,040	1200
11	0,20	0,35	3,5	0,050	1300
12	0,24	0,40	7,9	0,060	1400
13	0,12	0,20	12,0	0,025	900
14	0,10	0,16	31,5	0,035	1100
15	0,16	0,30	4,2	0,040	800
16	0,20	0,35	20,0	0,060	1400

Содержание отчета и его форма:

1. Наименование и цель работы.
2. Теоретическое обоснование.
3. Описание схемы насоса с обоснованием выбранного для расчета.
4. Заключение и выводы.

Вопросы для защиты работы:

- общая классификация насосов для молочной промышленности;
- характеристика и классификация поршневых (плунжерных) насосов;
- особенности расчета поршневых насосов;
- расчет мощности и подбор электродвигателя по каталогам

Лабораторная работа №6

Изучение влияния технологических факторов на процессы концентрирования целевых продуктов

Цель и содержание работы: изучить классификацию оборудования для концентрирования и сушки целевых продуктов биотехнологических производств; рассмотреть устройство и принцип действия различных типов вакуум-выпарных и сушильных установок, исследовать влияние технологических факторов на эффективность процесса сушки концентрированных молочных продуктов.

Теоретическое обоснование

Концентрирование целевых продуктов биотехнологических производств проводят для достижения следующих целей:

- получение готовых форм препаратов (молочная кислота, жидкий концентрат лизина);
- получение пересыщенных растворов целевых продуктов для их выделения в кристаллической форме (лизин, триптофан, рибофлавин);
- предварительное концентрирование продуктов перед сушкой (кормовые дрожжи, кормовой концентрат лизина).

В зависимости от термолабильности, летучести, требуемого уровня качества целевых продуктов в биотехнологических производствах используют следующие методы концентрирования:

- вакуум-выпаривание;
- обратный осмос;
- криоконцентрирование.

Аппаратура и материалы: рефрактометр, весы лабораторные, баня водяная, шкаф сушильный, цилиндры на 100 см³, пипетки на 10 см³.

Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению

лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с сушильными шкафами, электробезопасности.

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы приведен на рисунке 10. 1.



Рисунок 10. 1 – Блок-схема алгоритма выполнения работы «Изучение влияния технологических факторов на процессы концентрирования целевых продуктов».

Пояснения к блок-схеме

БЛОК 1. Материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы. В отчете о работе необходимо отразить следующие вопросы:

- способы классификации вакуум-выпарных установок;
- области применения вакуум-выпарных установок различных конструкций (циркуляционных, пленочных, емкостных с паровой рубашкой и мешалкой) в биотехнологических производствах.

Выполнить принципиальные схемы, описать устройство и принцип действия следующих типов вакуум-выпарных аппаратов:

- циркуляционных аппаратов с выносной греющей камерой (с естественной и принудительной циркуляцией продукта);
- пленочных аппаратов;
- роторно-пленочных аппаратов;

- емкостных аппаратов с мешалкой и рубашкой.

БЛОК 2. В рамках выполнения данного задания исследуют влияния температуры и массовой доли сухих веществ концентрированного продукта на скорость удаления влаги и значение массовой доли остаточной влаги в сгущенном продукте. Для проведения исследований используют образцы сухих молочных продуктов (сухой сыворотки, сухого обезжиренного молока), восстановленных до массовой доли сухих веществ 30, 35, 40, 45 %.

Последовательность выполнения работы.

1. Готовят навески сухих молочных продуктов и восстанавливают в воде, нагретой до температуры 40 – 45 °С.

2. Для каждого значения массовой доли сухих веществ высушиваемого продукта отбирают по четыре образца объемом 3 см³, соответствующих продолжительности процесса сушки 30, 60, 90, 120 минут. Исследуемые образцы помещают в предварительно взвешенные бюксы с фильтровальной бумагой. Определяют массу бюкса с высушиваемым продуктом.

3. Нагревают высушиваемый продукт в бюксах до температуры 90 – 95 °С на электроплитке, после чего помещают высушиваемые образцы в сухожаровой шкаф при температуре 105, 115 или 125 °С (по заданию преподавателя).

4. По истечении заданного времени (30, 60, 90, 120 минут) бюксы с продуктом помещают в эксикатор. Через 10 – 15 минут после завершения сушки определяют массу бюкса с высушенным продуктом.

БЛОК 3. Результаты исследований заносят в таблицу 10. 1.

Таблица 10. 1 – Результаты исследований процесса сушки

№ образца	Время сушки, мин.	Масса бюкса с продуктом, г	Масса испаренной влаги, W, г	$\Delta W_i = W_i - W_{i-1}$	$\Delta W_i / \Delta \tau$
Контроль	0				
1	30				
2	60				
3	90				
4	120				

Примечание: для всех образцов принять $\Delta\tau = 30$ мин.

По результатам исследований построить графики зависимости массы испаренной влаги от времени ($W = f(\tau)$) и скорости сушки от времени ($\Delta W_i / \Delta\tau = f(\tau)$).

Проанализировать, как влияют массовая доля сухих веществ продукта, направляемого на сушку, и температура воздуха в сушильной камере на скорость процесса и конечное значение массовой доли сухих веществ продукта.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- классификации вакуум-выпарных аппаратов установок, их назначение в биотехнологических производствах;
- принципиальные схемы, описание устройства и принципа действия вакуум-аппаратов ок различных конструкций;
- описание методики проведения исследований;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

Контрольные вопросы и защита работы

Контрольные вопросы:

- способы классификации вакуум-выпарных аппаратов;
- области применения процессов концентрирования в биотехнологических производствах;
- конструкции и принцип действия циркуляционных, пленочных, роторно-пленочных, емкостных вакуум-выпарных аппаратов;
- кинетика процесса сушки концентрированных молочных продуктов.

Защита работы проводится на следующем после ее выполнения лабораторном занятии в форме устного опроса.

2 семестр

Лабораторная работа 7

Изучение влияния технологических факторов на процессы сушки целевых продуктов

Цель и содержание работы: изучить классификацию оборудования для сушки целевых продуктов биотехнологических производств; рассмотреть устройство и принцип действия различных типов сушильных установок, исследовать влияние технологических факторов на эффективность процесса сушки концентрированных молочных продуктов.

Теоретическое обоснование

Сушку целевых продуктов биотехнологических производств проводят для достижения следующих целей:

- получение готовых форм препаратов (молочная кислота, жидкий концентрат лизина);
- получение пересыщенных растворов целевых продуктов для их выделения в кристаллической форме (лизин, триптофан, рибофлавин);
- предварительное концентрирование продуктов перед сушкой (кормовые дрожжи, кормовой концентрат лизина).

Метод сушки целевых продуктов определяется рядом факторов: агрегатным состоянием и дисперсной фазой, в которых находится высушиваемый объект; необходимостью максимального сохранения нативных свойств биообъекта или, наоборот, инактивации биологически активных веществ и клеток микроорганизмов; требуемым уровнем себестоимости продукта (кормовое средство, пищевой концентрат, фармпрепарат).

С учетом вышеперечисленных факторов в биотехнологических производствах могут быть реализованы следующие способы сушки целевых продуктов:

- конвективная сушка (распылительные, вихревые, барабанные сушилки);
- кондуктивная сушка (валяцевые, ленточные, шахтные сушилки);

- сушка при пониженных температурах под вакуумом (вакуум-сушилки, вакуум-сушильные шкафы);
- лиофильная сушка (сублимационные сушилки).

Аппаратура и материалы: рефрактометр, весы лабораторные, баня водяная, шкаф сушильный, цилиндры на 100 см³, пипетки на 10 см³.

Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с сушильными шкафами, электробезопасности.

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы приведен на рисунке 11. 1.



Рисунок 11. 1 – Блок-схема алгоритма выполнения работы «Изучение влияния технологических факторов на процессы концентрирования и сушки целевых продуктов».

Пояснения к блок-схеме

БЛОК 1. Материал изучают по лекциям и рекомендуемым источникам литературы. В отчете о работе необходимо отразить следующие вопросы:

- способы классификации вакуум-выпарных установок;

- области применения вакуум-выпарных установок различных конструкций (циркуляционных, пленочных, емкостных с паровой рубашкой и мешалкой) в биотехнологических производствах;

- способы классификации сушильных установок;

- области применения сушилок различных конструкций (распылительных, вальцевых, барабанных, сублимационных) при получении целевых продуктов биотехнологических производств.

Выполнить принципиальные схемы, описать устройство и принцип действия следующих типов вакуум-выпарных аппаратов:

- циркуляционных аппаратов с выносной греющей камерой (с естественной и принудительной циркуляцией продукта);

- пленочных аппаратов;

- роторно-пленочных аппаратов;

- емкостных аппаратов с мешалкой и рубашкой.

Выполнить принципиальные схемы, описать устройство и принцип сушильных установок следующих конструкций:

- распылительных (дисковых и форсуночных);

- вальцевых;

- барабанных;

- сублимационных;

- сушилок с «кипящим слоем» продукта.

БЛОК 2. В рамках выполнения данного задания исследуют влияния температуры воздуха в сушильной камере и массовой доли сухих веществ концентрированного продукта на скорость удаления влаги и значение массовой доли остаточной влаги в высушенном продукте. Для проведения исследований используют образцы сухих молочных продуктов (сухой сыворотки, сухого обезжиренного молока), восстановленных до массовой доли сухих веществ 30, 35, 40, 45 %. Последовательность выполнения работы.

1. Готовят навески сухих молочных продуктов и восстанавливают в воде, нагретой до температуры 40 – 45 °С.

2. Для каждого значения массовой доли сухих веществ высушиваемого продукта отбирают по четыре образца объемом 3 см³, соответствующих продолжительности процесса сушки 30, 60, 90, 120 минут. Исследуемые образцы помещают в предварительно взвешенные бюксы с фильтровальной бумагой. Определяют массу бюкса с высушиваемым продуктом.

3. Нагревают высушиваемый продукт в бюксах до температуры 90 – 95 °С на электроплитке, после чего помещают высушиваемые образцы в сухожаровой шкаф при температуре 105, 115 или 125 °С (по заданию преподавателя).

4. По истечении заданного времени (30, 60, 90, 120 минут) бюксы с продуктом помещают в эксикатор. Через 10 – 15 минут после завершения сушки определяют массу бюкса с высушенным продуктом.

БЛОК 3. Результаты исследований заносят в таблицу 11. 1.

Таблица 11. 1 – Результаты исследований процесса сушки

№ образца	Время сушки, мин.	Масса бюкса с продуктом, г	Масса испаренной влаги, W, г	$\Delta W_i = W_i - W_{i-1}$	$\Delta W_i / \Delta \tau$
Контроль	0				
1	30				
2	60				
3	90				
4	120				

Примечание: для всех образцов принять $\Delta \tau = 30$ мин.

По результатам исследований построить графики зависимости массы испаренной влаги от времени ($W = f(\tau)$) и скорости сушки от времени ($\Delta W_i / \Delta \tau = f(\tau)$).

Проанализировать, как влияют массовая доля сухих веществ продукта, направляемого на сушку, и температура воздуха в сушильной камере на скорость процесса и конечное значение массовой доли сухих веществ продукта.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- классификации вакуум-выпарных аппаратов и сушильных установок, их назначение в биотехнологических производствах;
- принципиальные схемы, описание устройства и принципа действия вакуум-аппаратов и сушилок различных конструкций;
- описание методики проведения исследований;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

Контрольные вопросы и защита работы

Контрольные вопросы:

- способы классификации вакуум-выпарных аппаратов;
- способы классификации сушильных установок;
- области применения процессов концентрирования и сушки в биотехнологических производствах;
- конструкции и принцип действия циркуляционных, пленочных, роторно-пленочных, емкостных вакуум-выпарных аппаратов;
- конструкции и принцип действия распылительных, вальцевых, барабанных, сублимационных, вихревых сушилок;
- кинетика процесса сушки концентрированных молочных продуктов;
- влияние технологических факторов на эффективность процесса сушки концентрированных молочных продуктов.

Защита работы проводится на следующем после ее выполнения лабораторном занятии в форме устного опроса.

Лабораторная работа 8

РАСЧЕТ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ДРОБЛЕНИЯ СЫРЬЯ И ПОЛУЧЕНИЯ СУСЛА

Цель занятия: усвоить теоретические основы дробления сырья винодельческого производства, научиться самостоятельно рассчитывать производительность и мощность дробилок.

Задание:

1. Изучить строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.
2. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя.
3. Рассчитать производительность и мощность ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя.

1. Строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.

Дробление винограда представляет собой процесс разрушения целостности кожицы ягод и клеточной структуры для облегчения выхода из них сока. При этом на качество сусла большое влияние оказывает степень измельчения, которая должна обеспечивать максимальную скорость сусло-отделения и, по возможности, ограничивать обогащение сусла дубильными веществами, а также взвешенными частицами кожицы, мякоти и т. п.

Дробление винограда осуществляется как с отделением, так и без отделения гребней.

Наибольшее распространение в отечественном виноделии получили валковые (табл. 1), ударно-центробежные (табл. 2) и дробильно-гребнеотделяющие машины. Для измельчения винограда могут применяться также лопастные, молотковые и роторные дробильные машины.

Таблица 1 – Техническая характеристика валковых дробилок и дробилок-гребнеотделителей для винограда

Показатель	ВДГ-10	ВДГ-20	ВДВ-20	ВДВ-30/50	ВДВ-100
Производительность, т/ч	10	20	20	30...50	100
Число валков	2	2	2	2	4
Диаметр валков, мм	185	200	65	65...70	58
Частота вращения вала гребнеотделителя, с ⁻¹	185	200	-	145...160	-

Мощность привода, кВт	3,0	4,0	2,2	3,0	4,5
-----------------------	-----	-----	-----	-----	-----

Таблица 2 – Техническая характеристика ударно-центробежных дробилок-гребнеотделителей для винограда

Показатель	ЦДГ-20А	ЦДГ-30А	ЦДГ-50
Производительность, т/ч	20	30	50
Диаметр цилиндров, мм:			
малого	410	415	550
перфорированного	835	870	1250
Частота вращения валов, с ⁻¹	185	200	-
бильного с бичами	275; 350; 425; 500	125; 175; 225; 275	210; 240
с гребневыносными лопастями	275; 350; 425; 500	400	300
Мощность привода, кВт	7,5	10	17

Рабочими органами валковой дробилки-гребнеотделителя являются валки и гребнеотделитель.

Валки бывают цилиндрическими, коническими, кольцевидными и профильными. В дробилках-гребнеотделителях с профильными валками дробление винограда происходит с минимальным перетиранием.

Профильные валки выпускаются четырех-, шести- и восьмилопастные. Валки изготавливают пустотелыми или сплошными из различных материалов: черных металлов с покрытием, алюминия и его сплавов, дерева, камня, резины или обрешиненными.

Гребнеотделитель состоит из горизонтального перфорированного цилиндра, внутри которого на оси смонтирован вал с бичами, установленными по одно- или двухзаходной винтовой линии.

Дробилка-гребнеотделитель ВДГ-20 (рис. 1) работает следующим образом. Когда виноград попадает на валки, дробится и проваливается вниз, заслонка находится в крайнем левом положении. Раздробленная масса винограда перемещается в гребнеотделитель, в котором гребни отделяются от ягод с помощью бичей. Отделенные ягоды проваливаются через отверстия цилиндра на шнек, который выводит их за пределы машины, а гребни удаляются через выходной лоток.

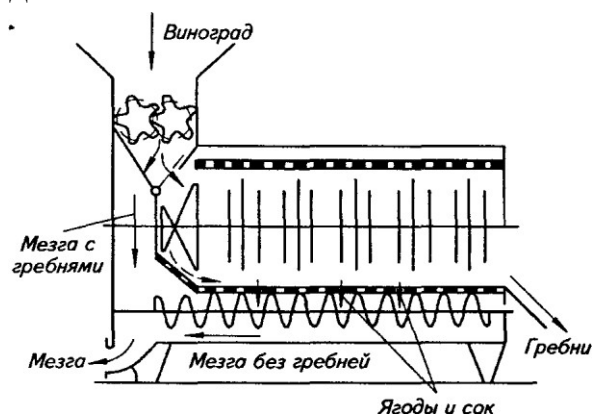


Рис. 1. Схема валковой дробилки-гребнеотделителя для винограда

В ударно-центробежных дробилках-гребнеотделителях дробление винограда производится путем удара по нему бича гребнеотделяющего устройства и истирания его о стенки этого устройства при достаточно высоких частотах вращения лопастей.

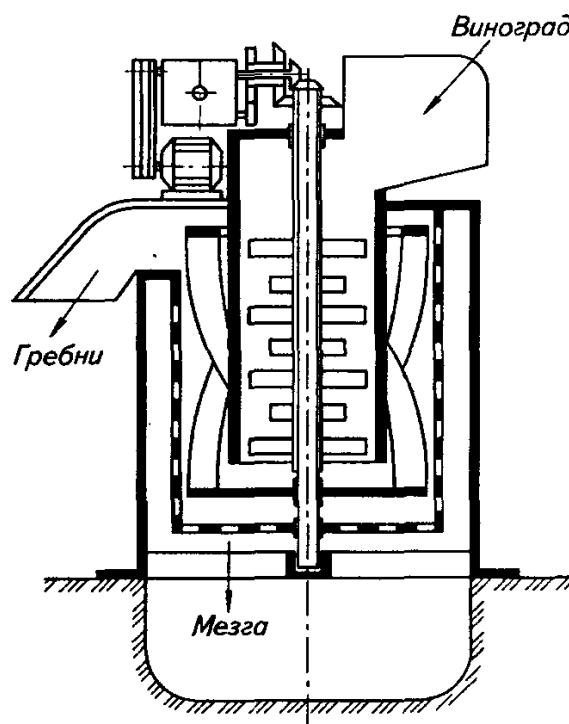


Рис. 2. Схема ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя для винограда

В дробилке-гребнеотделителе ЦДГ-50 (рис. 2) виноград через бункер поступает в малый сплошной цилиндр, где происходит дробление винограда и гребнеотделение в результате вращения дробильных бичей. При этом в нижней части машины виноград отбрасывается центробежной силой на винтообразные гребневывосные лопасти. Раздробленные ягоды винограда проваливаются через перфорации стакана в мезгосборник, а гребни лопастями поднимаются по внутренней поверхности перфорированного цилиндра для последующего выведения их через окно в боковой поверхности корпуса.

2. Расчет валковой дробилки-гребнеотделителя.

Производительность (кг/с) дробилки-гребнеотделителя определяется пропускной способностью валков:

$$G = \pi D_{\text{влк}} n_{\text{влк}} l_{\text{влк}} \delta \rho_{\text{вин}} \varphi \quad (1)$$

где $D_{\text{влк}}$ – диаметр валка, м; $n_{\text{влк}}$ – частота вращения валка, с⁻¹; $l_{\text{влк}}$ – длина валка, м; δ – зазор между валками, м; $\rho_{\text{вин}}$ – объемная масса винограда, кг/м³; φ – коэффициент, учитывающий неравномерность питания валков продуктом, заполнение щели и т. п.; $\varphi = 0,7 \dots 0,8$.

Фактическую производительность валковых дробилок рассчитывают путем введения коэффициентов, учитывающих выделение сока, который опережает основную массу винограда при прохождении его между валками:

$$G_{\phi} = GK_1K_2 \quad (2)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий геометрическую характеристику рабочей поверхности валков;

$$K_1 = \frac{F}{F_k} \quad (3)$$

где F_k и F – соответственно площади поперечного сечения межвалкового пространства крыльчатых и гладких валков; K_2 – коэффициент, учитывающий количество сусла, выделяющегося при дроблении и «опережающего» основную массу мезги;

$$K_2 = \frac{100}{(100 - q_0)} \quad (4)$$

где q_0 – коэффициент, зависящий от зазора δ между валками (% общего количества продукта):

δ , мм	0,002	0,003	0,004	0,005	0,006	0,007	0,0075
q_0 , %	32,2	31,4	30,3	28,7	24,3	14,2	8,1

При этом площадь поперечного сечения межвалкового пространства гладких валков (рис. 3, а) и крыльчатых валков (рис. 3, б) (5)

$$F = 0,125D_{\text{валк}} [(2d_{\text{я}} + D_{\text{валк}}) \sin 2\alpha - 0,03]$$

где $d_{\text{я}}$ – диаметр ягоды, м; α – угол захвата валков;

$$F_k = \beta F_0 = \beta h [\pi / (D_{\text{валк}} - h) / z - S] \quad (6)$$

где β – коэффициент пропорциональности, зависящий от числа выступов z .

z	4	6	8
β	0,75	1	1,25

F_0 – площадь поперечного сечения впадины между двумя соседними выступами, м²;

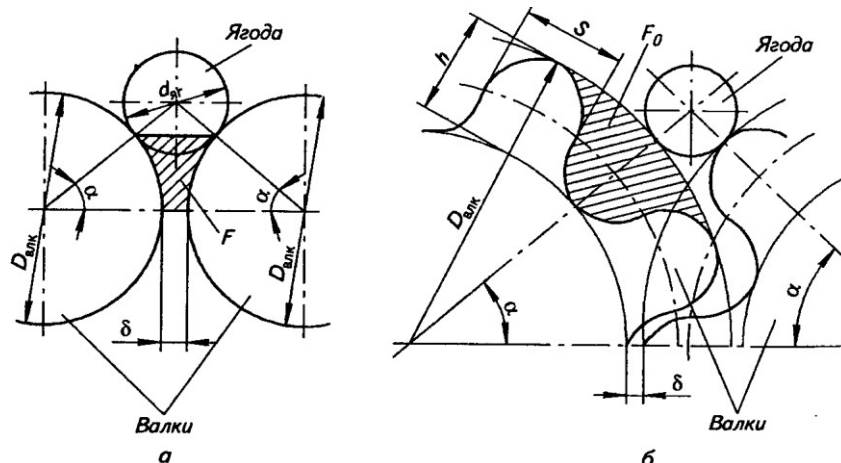


Рис. 3. Геометрические характеристики гладких (а) и крыльчатых (б) валков

$$F_0 = 0,5 D_{\text{влк}}^2 \sin \alpha [(1 - \cos \alpha) + \delta] \quad (7)$$

где h – высота выступа, м; S – ширина выступа, м.

Мощность (кВт) привода электродвигателя валковой дробилки

$$N = 0,119 l_{\text{влк}} D_{\text{влк}} n_{\text{влк}} (120 d_{\text{яг}} + \frac{2}{D_{\text{влк}}}) \quad (8)$$

где k – коэффициент, учитывающий физико-механические свойства винограда, профиль валков и т.д.; для гладких валков $k = 0,194 \dots 0,338$; для крыльчатых валков $k = 0,194 \dots 0,338$; $d_{\text{яг}}$ – диаметр ягоды, м.

Пример 1. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром $D_{\text{влк}} = 0,27$ м, длиной $l_{\text{влк}} = 0,7$ м, частотой вращения $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,04 \text{ с}^{-1}$ и зазором между валками $\delta = 0,006$ м, если средний диаметр ягод $d_{\text{яг}} = 0,012$ м, объемная масса винограда $\rho_{\text{вин}} = 600 \text{ кг/м}^3$.

Решение. Производительность валковой дробилки-гребнеотделителя

$$G = 3,14 \cdot 0,27 \cdot 1,04 \cdot 0,006 \cdot 0,7 \cdot 600 \cdot 0,75 = 1,7 \text{ кг/с}$$

Коэффициент, учитывающий геометрическую характеристику рабочей поверхности гладких валков, $K_1 = 1$.

Коэффициент, учитывающий количество сусла, выделяющегося при дроблении и «опережающего» основную массу мезги,

$$K_2 = \frac{100}{100 - 24,3} = 1,32$$

Фактическая производительность валковых дробилок

$$G_{\text{ф}} = 1,7 \cdot 1 \cdot 1,32 = 2,25 \text{ кг/с}$$

Мощность электродвигателя привода валковой дробилки

$$N = 0,119 \cdot 0,7 \cdot 0,27 \cdot 62,5 (120 \cdot 0,012 + 0,27^2) 0,2 = 0,43 \text{ кВт}$$

3. Расчет центробежной дробилки-гребнеотделителя.

Производительность (кг/с) центробежной дробилки-гребнеотделителя

$$G = \frac{\pi(D_{\text{лон}}^2 - d_{\text{цил}}^2)h_{\text{лон}}\sin\alpha_{\text{лон}}n_{\text{лон}}}{4} \cdot \rho_{\text{мезг}} \cdot \varphi_{\text{сн}} \cdot \psi + q$$

где $D_{\text{лон}}$ – условный диаметр наклонных лопастей, м; $d_{\text{цил}}$ – наружный диаметр среднего цилиндра, м; $h_{\text{лон}}$ – высота наклоненных лопастей, м; $\alpha_{\text{лон}}$ – угол наклона лопастей, град; $\alpha_{\text{лон}} = 15...18^\circ$; $n_{\text{лон}}$ – частота вращения лопастей, с^{-1} ; $n_{\text{лон}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$; $\rho_{\text{мезг}}$ – плотность мезги, кг/м^3 ; ψ – коэффициент заполнения; $\psi = 0,85$; $\varphi_{\text{сн}}$ – коэффициент, учитывающий снижение окружной скорости и неравномерность подачи; $\varphi_{\text{сн}} = 0,7$; q – часть мезги и сусла, уходящая через отверстия в дне большого цилиндра в месте подачи винограда шнеком, кг/с ; $q = 0,083 \text{ кг/с}$.

Пример 2. Определить производительность G ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей $D_{\text{лон}} = 0,695 \text{ м}$, наружный диаметр среднего цилиндра $d_{\text{цил}} = 0,554 \text{ м}$, средняя высота наклонных лопастей $h_{\text{лон}} = 0,09 \text{ м}$, их минимальная частота вращения $n_{\text{лон}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$, а плотность мезги $\rho_{\text{мезг}} = 1060 \text{ кг/м}^3$. Какой должна быть минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности дробилки на 25 %?

Решение. Производительность дробилки по пропускной способности выгрузочных лопастей для гребней

$$G = \frac{3,14(0,695^2 - 0,554^2)0,09\sin 17^\circ \cdot 4,58}{4} \cdot 1060 \cdot 0,85 \cdot 0,7 + 0,083 = 10,6 \text{ кг/с}$$

Увеличенная на 25 % производительность центробежной дробилки-гребнеотделителя

$$G' = G + 0,25G = 13,25 \text{ кг/с}$$

Минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности центробежной дробилки-гребнеотделителя на 25 %

$$n' = \frac{(G' + q)4}{3,14(D_{\text{лон}}^2 - d_{\text{цил}}^2)h_{\text{лон}}\sin\alpha_{\text{лон}}\rho_{\text{мезг}}\varphi_{\text{сн}}\psi} = \frac{(13,25 + 0,083)4}{3,14(0,695^2 - 0,554^2)0,09\sin 17^\circ \cdot 1065 \cdot 0,7 \cdot 0,85} = 5,712 \text{ с}^{-1}$$

Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром $D_{\text{влк}} = 0,32$ м, длиной $l_{\text{влк}} = 0,5$ м, частотой вращения $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,042 \text{ с}^{-1}$ и зазором между валками $\delta = 0,004$ м, если средний диаметр ягод $d_{\text{яз}} = 0,016$ м, объемная масса винограда $\rho_{\text{вин}} = 600 \text{ кг/м}^3$.

2. Определить производительность G ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей $D_{\text{лон}} = 0,985$ м, наружный диаметр среднего цилиндра $d_{\text{цил}} = 0,82$ м, средняя высота наклонных лопастей $h_{\text{лон}} = 0,1$ м, их минимальная частота вращения $n_{\text{лон}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$, а плотность мезги $\rho_{\text{мезг}} = 1096 \text{ кг/м}^3$. Какой должна быть минимальная частота вращения наклонных лопастей при увеличении производительности дробилки на 15 %?

3. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром $D_{\text{влк}} = 0,27$ м, длиной $l_{\text{влк}} = 0,7$ м, частотой вращения $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,042 \text{ с}^{-1}$ и зазором между валками $\delta = 0,006$ м, если средний диаметр ягод $d_{\text{яз}} = 0,028$ м, объемная масса винограда $\rho_{\text{вин}} = 750 \text{ кг/м}^3$.

4. Рассчитать производительность и мощность валковой дробилки-гребнеотделителя с гладкими цилиндрическими валками диаметром $D_{\text{влк}} = 0,32$ м, длиной $l_{\text{влк}} = 0,5$ м, частотой вращения $n_{\text{влк1}} = n_{\text{влк2}} = n_{\text{влк}} = 1,04 \text{ с}^{-1}$ и зазором между валками $\delta = 0,005$ м, если средний диаметр ягод $d_{\text{яз}} = 0,018$ м, объемная масса винограда $\rho_{\text{вин}} = 640 \text{ кг/м}^3$.

5. Определить производительность G ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя, если условный диаметр наклонных лопастей $D_{\text{лон}} = 1,080$ м, наружный диаметр среднего цилиндра $d_{\text{цил}} = 0,89$ м, средняя высота наклонных лопастей $h_{\text{лон}} = 0,12$ м, их минимальная частота вращения $n_{\text{лон}} = 4,58 \text{ с}^{-1}$, а плотность мезги $\rho_{\text{мезг}} = 1125 \text{ кг/м}^3$.

6. Определить минимальную частоту вращения наклонных лопастей ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя при увеличении ее производительности на 20 %, если производительность $G = 11,7 \text{ кг/с}$, диаметр наклонных лопастей $D_{\text{лон}} = 0,985$ м, наружный диаметр среднего цилиндра $d_{\text{цил}} = 0,82$ м, средняя высота наклонных лопастей $h_{\text{лон}} = 0,1$ м, плотность мезги $\rho_{\text{мезг}} = 1125 \text{ кг/м}^3$.

Контрольные вопросы:

1. Что называется дроблением?
2. Какие виды дробилок применяются при производстве виноматериалов?
3. Опишите строение и принцип действия валковых и центробежных дробилок-гребнеотделителей.
4. Какие элементы конструкции валковой дробилки-

гребнеотделителя служат рабочими органами и как они выполнены?

5. Методика расчета производительности и мощности валковой дробилки-гребнеотделителя.

6. Методика расчета производительности и мощности ударно-центробежной дробилки-гребнеотделителя.

Лабораторная работа 9

Изучение ультрафильтрации биологических жидкостей

Цель и содержание работы: познакомиться с процессом разделения биологических объектов мембранными методами; изучить свойства существующих мембран и их характеристики; познакомиться с основными типами ультрафильтрационных установок; провести исследование ультрафильтрационного разделения обезжиренного молока; исследовать факторы, влияющие на процесс ультрафильтрации; оценить результаты экспериментальных исследований.

Теоретическое обоснование

Мембранная технология нашла широкое применение при переработке сельскохозяйственного сырья растительного и животного происхождения. В микробиологической промышленности она широко используется для концентрации субстратов, разделения растворов и суспензий, стерильной фильтрации при выработке различных продуктов и препаратов микробного синтеза. По сравнению с другими альтернативными процессами, используемыми для этих целей, она менее энергоемка, экологична, для размещения оборудования требуются меньшие производственные площади. В будущем, по мере разработки новых материалов для мембран, использование мембранной технологии значительно расширится.

Ультрафильтрация относится к мембранной технике разделения многокомпонентных систем, в том числе и биологических. Она нашла широкое применение в различных отраслях промышленности, как в нашей стране, так и за рубежом. Процесс разделения полидисперсных систем основан на молекулярной фильтрации через полупроницаемые мембраны с размером пор 10 – 100 нм, при которой под действием градиента давления происходит фракционирование компонентов раствора по величине и структуре их молекул.

Рассмотрим процесс ультрафильтрации биологических жидкостей схематично на примере обезжиренного молока. Пусть какая-то емкость

разделена полупроницаемой мембраной на две части. Полупроницаемые ультрафильтрационные мембраны имеют размер пор от 10 до 100 нм и способны удерживать вещества с молекулярной массой 10^4 и выше.

Основными компонентами обезжиренного молока являются остатки молочного жира (в виде жировых шариков), казеин (мицеллы), сывороточные белки (молекулы различных размеров), лактоза, пептиды, минеральные вещества. Данные об основных компонентах обезжиренного молока приведены в таблице 7. 1.

Таблица 7. 1 – Характеристика основных компонентов обезжиренного молока.

Наименование компонента	Размер частиц, нм	Дисперсное состояние и форма частиц
Молочный жир	2000 – 5000	Эмульсия, жировые шарики
Казеин	100 – 200	Коллоидный раствор, шарообразные мицеллы
Сывороточные белки	15 – 50	Коллоидный раствор, глобулы
Лактоза	1,5	Истинный раствор
Минеральные соли	0,2 – 2,0	Истинный раствор

В одну часть емкости поместим обезжиренное молоко и создадим давление. Начнется процесс ультрафильтрации. Движущей силой ультрафильтрационного процесса является разность создаваемого избыточного давления и осмотического давления жидкости. Сквозь мембрану в процессе фильтрации будут проходить: растворитель (вода), а также компоненты, размер молекул которых меньше, чем диаметр пор мембраны – лактоза, минеральные вещества, небелковые азотистые соединения, некоторые фракции сывороточных белков. Таким образом, при обработке обезжиренного молока происходит селективное концентрирование только высокомолекулярных соединений (белки, липиды), а основная часть низкомолекулярных компонентов переходит в фильтрат.

По мнению многих исследователей, механизм переноса вещества через полупроницаемую мембрану описывается капиллярной диффузией и аналогичен механизму процесса микрофильтрации.

Основные характеристики ультрафильтрационного процесса определяются селективностью и проницаемостью применяемых мембран. Под селективностью мембраны понимается её способность иметь различную проницаемость по различным компонентам разделяемой системы. При ультрафильтрации обезжиренного молока обычно учитывается селективность мембран по белку, лактозе и жиру. Селективность мембран определяют по формуле:

$$S = (1 - C_2 / C_1) * 100, \quad (7.1)$$

где: C_1 – концентрация компонента в исходном сырье;

C_2 – концентрация компонента в ультрафильтрате.

Таким образом, селективность мембраны зависит, главным образом, от размера её пор.

Проницаемость мембраны – способность пропускать в процессе фильтрации ионы того или иного вещества. Характеризуются мембраны обычно удельной проницаемостью по фильтрату. Определяется она количеством раствора, прошедшим через единицу поверхности мембраны в единицу времени, $\text{м}^3 / (\text{м}^2 * \text{ч})$:

$$J = M / (S * t), \quad (7.2)$$

где M – объем фильтрата, получаемый за определенный промежуток времени, м^3 ;

S – суммарная рабочая поверхность мембран, м^2 ;

t – продолжительность обработки, ч.

Проницаемость зависит как от свойства мембран (размера пор и их числа), так и от параметров процесса – давления и вязкости фильтруемой жидкости. Вязкость обрабатываемого сырья зависит от его температуры. Таким образом, скорость процесса ультрафильтрации можно регулировать путем изменения температуры и давления. При обработке молочного сырья рекомендуется применять следующие режимы: температура – не выше 50 – 55 °C и давление – 0,3 – 0,4 МПа. При более высоких температурах может

произойти изменение свойств компонентов молока. Это нежелательно, так как ультрафильтрация – один из немногих процессов, позволяющих осуществить фракционирование молочного сырья без изменения его нативных свойств.

Использование высоких давлений при ультрафильтрации не рекомендуется по двум причинам: может произойти разрушение мембран или явление концентрационной поляризации. В процессе ультрафильтрации молочного сырья на поверхности мембраны образуется так называемый «гелевый слой». Он состоит главным образом из высокомолекулярных компонентов в комплексе с минеральными веществами. Происходит взаимодействие этого слоя с мембраной, что приводит к частичной или полной закупорке её пор, снижая производительность ультрафильтрационного процесса. Это явление и получило название концентрационной поляризации.

Увеличение давления приводит к уплотнению гелевого слоя, в результате чего проницаемость мембраны может резко снижаться. Концентрационная поляризация – явление крайне нежелательное. Для борьбы с ним предложены различные меры: введение турбулизаторов потока, изменение гидродинамических условий процесса за счет увеличения скорости потока жидкости над мембраной, изменение конструктивных решений ультрафильтрационных установок, создание протеиноотталкивающих мембран и др.

По окончании рабочего цикла ультрафильтрационных установок проводится их мойка и регенерация мембран. Для мойки используют специально подготовленную умягченную воду, ферментные препараты, а также растворы кислот и щелочей. Мойку осуществляют по специально разработанным схемам. Схема мойки зависит от типа применяемых мембран.

Основными требованиями к полупроницаемым мембранам при ультрафильтрации молочного сырья являются: нетоксичность, высокая проницаемость, высокая селективность по белку и жиру и малая – по лактозе,

высокая механическая прочность, а также термоустойчивость и микробиологическая стойкость.

В настоящее время создано уже три поколения ультрафильтрационных мембран. Мембраны первого поколения изготавливают из растворов ацетатцеллюлозы. Их представителями являются мембраны типа УАМ. Они обладают хорошими селективными свойствами и просты в изготовлении. Недостаток этих мембран: не могут работать в кислой и сильно щелочной среде, а также при температурах выше 55 °С. Мойку таких мембран проводят только растворами ферментов, что сложно и дорого.

Мембраны второго поколения созданы на основе синтетических полимерных материалов (полисульфона, полиамида и др.). Типичными представителями являются мембраны типа УПМ-П. Селективность по белку у них выше, чем у УАМ. Они могут работать при температурах от 0 до 100 °С и рН от 1 до 12, обладают высокой механической прочностью, а для мойки можно использовать синтетические моющие средства.

Объединенным институтом ядерных исследований разработаны ядерные фильтры с различным диаметром пор. Получают их путем облучения тонких полимерных пленок заряженными частицами. Преимущества таких мембран - высокие прочностные свойства, широкий диапазон рН (1 – 14) и температуры (0 – 100 °С), а также отсутствие допустимых и критических давлений.

Представители третьего поколения - минеральные мембраны. Они представляют собой углеродные трубки с нанесенным фильтрующим слоем оксида циркония. Выпускают мембраны с различным размером пор. Они устойчивы к температурам до 300 °С и рН до 14.

Перспективными для ультрафильтрации биологических объектов являются мембраны в виде полых волокон и трубчатые ультрафильтры. Для осуществления процессов ультрафильтрации применяют четыре типа аппаратов, отличающихся формой фильтрующей поверхности:

- с трубчатыми фильтрующими элементами, имеющие цилиндрические мембраны, расположенные внутри или сверху поддерживающих труб;
- рулонные, образованные путем намотки мембраны вокруг трубы;
- с плоскими фильтрующими элементами, которые образованы из плоских мембран и по своей конструкции аналогичны фильтр-прессу;
- с полыми волокнами, в которых мембраны образованы из трубок капиллярного сечения.

Выбирают ультрафильтрационные установки с учетом свойств обрабатываемого сырья и поставленными задачами. Для обработки биологических жидкостей типа обезжиренного молока разработаны ультрафильтрационные установки типа фильтр-пресс:

- А1-ОУС – для сыворотки производительностью 5000 л/ч;
- А1-ОУП – для сыворотки производительностью 2000 л/ч;
- А1-ОУВ – для молока производительностью 2000 л/ч;
- GEA - для молока и сыворотки производительностью 15000 л/ч

Аппаратура и материалы: лабораторная ультрафильтрационная установка, рефрактометр, титровальная установка, баня водяная, термометры; раствор гидроксида натрия 0,1 н., 40 %-й раствор формалина, 1 %-й спиртовой раствор фенолфталеина, цилиндры на 100 – 500 см³, пипетки на 10 см³, прибор для отмеривания раствора формалина на 1 см³.

Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с растворами щелочей и формалина. Перед началом работы с лабораторной ультрафильтрационной установкой ознакомиться с правилами ее эксплуатации. Категорически запрещается обирать образцы проб для анализов при работе установки. Перед отбором проб следует обесточить установку. Работу с установкой осуществлять только под контролем преподавателя или лаборанта!

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы приведен на рисунке 7. 1.

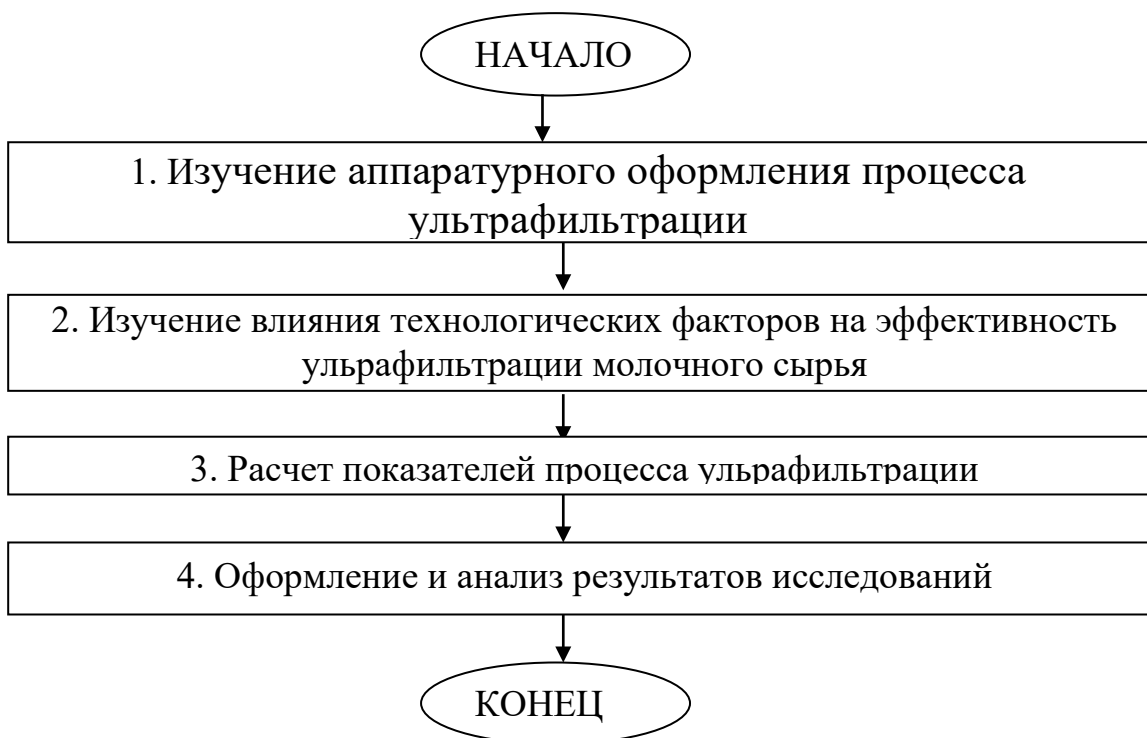


Рисунок 7.1. Блок-схема алгоритма выполнения работы «Ультраfiltrация биологических жидкостей».

Пояснения к блок-схеме.

БЛОК 1. По литературным источникам изучить устройство ультраfiltrационных установок (фильтр-пресс; трубчатая; рулонная; с полыми волокнами). Выполнить принципиальные схемы перечисленных типов ультраfiltrационных установок.

Изучить устройство лабораторной ультраfiltrационной установки, вычертить схему; привести описание работы.

БЛОК 2. Подгруппа разбивается на 3 – 4 бригады. Порядок выполнения работы.

1. В исходном молочном сырье (обезжиренном молоке или молочной сыворотке) определяют следующие показатели:

- массовую долю сухих веществ рефрактометрическим методом;
- массовую долю белка методом формольного титрования;
- титруемую кислотность.

2. Образцы молочного сырья объемом 1 дм³ нагревают до температуры 20, 30, 40, 50 °С (по заданию преподавателя) и обрабатывают на ультрафильтрационной установке в течение 20 – 30 минут. В процессе работы с интервалом в 3 – 5 минут замеряют объем выделившегося фильтрата и отбирают образцы фильтрата объемом 15 – 20 см³ для определения массовой доли сухих веществ и титруемой кислотности.

3. По завершении процесса ультрафильтрации измеряют суммарный объем выделившегося фильтрата и концентрата, массовую долю сухих веществ и белка в концентрате.

4. Проводят ополаскивание и мойку ультрафильтрационной установки.

БЛОК 3. Для каждой контрольной точки рассчитать по формулам (1.1) и (1.2) селективность (по сухим веществам) и проницаемость мембран. Для оценки влияния технологических факторов на процесс ультрафильтрации рассчитывают степень перехода сухих веществ и белка в концентрат. Результаты исследований и расчетов заносят в таблицы 7.1. и 7.2.

Таблица 7.1 – Результаты исследований процесса ультрафильтрации.

Показатели	Номера образцов				
Температура сырья, °С					
Продолжительность обработки, мин					
Массовая доля сухих веществ в фильтрате, %					
Объем фильтрата, м ³					
Селективность мембран по СВ, %					
Проницаемость мембран, м ³ /(м ² ·ч)					

Таблица 7.2 – Анализ эффективности процесса ультрафильтрации.

Показатели	Температура сырья, °С			
	20	30	40	50
Массовая доля сухих веществ, %:				
- в исходном сырье;				
- в фильтрате;				
- в концентрате				
Массовая доля белка, %:				
- в исходном сырье;				
- в фильтрате;				
- в концентрате				
Селективность мембран по СВ, % (по завершении фильтрации)				
Проницаемость мембран, м ³ / (м ² ·ч) (по завершении фильтрации)				
Степень перехода в концентрат:				
- сухих веществ;				

- белка				
---------	--	--	--	--

БЛОК 4. По экспериментальным данным и результатам расчетов построить графики зависимостей:

- массовой доли сухих веществ от продолжительности фильтрации;
- селективности мембран по сухим веществам от продолжительности фильтрации;
- проницаемости мембран от продолжительности фильтрации;
- селективности мембран по сухим веществам от температуры фильтрации;
- проницаемости мембран от температуры фильтрации;
- степени перехода белка и сухих веществ в концентрат от температуры фильтрации.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;
- цель и алгоритм выполнения работы;
- теоретическое обоснование проводимых исследований;
- схемы и описание устройства изученных типов ультрафильтрационных установок;
- методику проведения экспериментальных исследований;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

Контрольные вопросы и защита работы:

- применение метода мембранной фильтрации в биотехнологии и технологии пищевых производств;
- классификация процессов мембранной фильтрации;
- типы полупроницаемых мембран;
- конструкции промышленных аппаратов для ультрафильтрации биологических жидкостей;
- устройство и принцип действия лабораторной ультрафильтрационной установки;
- показатели, характеризующие эффективность процесса ультрафильтрации;

- влияние технологических факторов на эффективность процесса ультрафильтрации молочного сырья.

Защита работы проводится на следующем после ее выполнения лабораторном занятии в форме устного опроса.

Лабораторная работа № 10.

Изучение технологического процесса электромембранной обработки биологического сырья

Цель и содержание работы: познакомиться с процессом обессоливания биологических объектов методом электродиализа; изучить принципиальные схемы процесса электродиализа; познакомиться с основными типами электродиализных установок; исследовать закономерности процесса электродиализной обработки молочной сыворотки.

Теоретическое обоснование

Электродиализ относится к мембранным процессам и мембранным технологиям. Мембранные технологии вызывают огромный интерес у специалистов различных отраслей промышленности как наиболее экологически чистые, интенсивные и наименее энергоемкие. Суть электродиализной обработки заключается в направленном переносе ионов через ионоселективную мембрану под действием электрического поля. Применяется он для обессоливания воды и других жидкостей. Особенно эффективен процесс при использовании электрохимически активных мембран, которые избирательно пропускают катионы или анионы. Процесс сочетает в себе понятия диализа, осмоса, электроосмоса, электролиза.

Диализ – диффузионный процесс переноса растворенного вещества через мембрану. Мембрана пропускает низкомолекулярные вещества и задерживает коллоидные частицы и макромолекулы. Движущей силой процесса является разность концентраций вещества с одной и другой стороны мембраны.

Осмоз – процесс переноса растворителя через полупроницаемую перегородку (мембрану). Мембрана может разделять чистый растворитель и раствор или два раствора с разной концентрацией. Через поры мембраны проходит только растворитель. Движущей силой процесса является более высокое осмотическое давление с одной стороны мембраны. За счет этого

происходит выравнивание концентраций растворов или снижение концентрации вещества в растворе.

Электроосмос – процесс переноса растворителя через полупроницаемую мембрану под действием внешнего электрического поля. Мембрана в этом случае способна пропускать только молекулы растворителя.

Электролиз – совокупность электрохимических окислительно-восстановительных процессов, которые проходят на поверхности электродов, погруженных в электролит, при прохождении электрического тока. Применяется для получения многих веществ (металлов, водорода, хлора и др.), нанесения металлических покрытий, воспроизведения формы предметов. Механизм переноса ионов при электродиализе схематично представлен на рисунке 9.1.

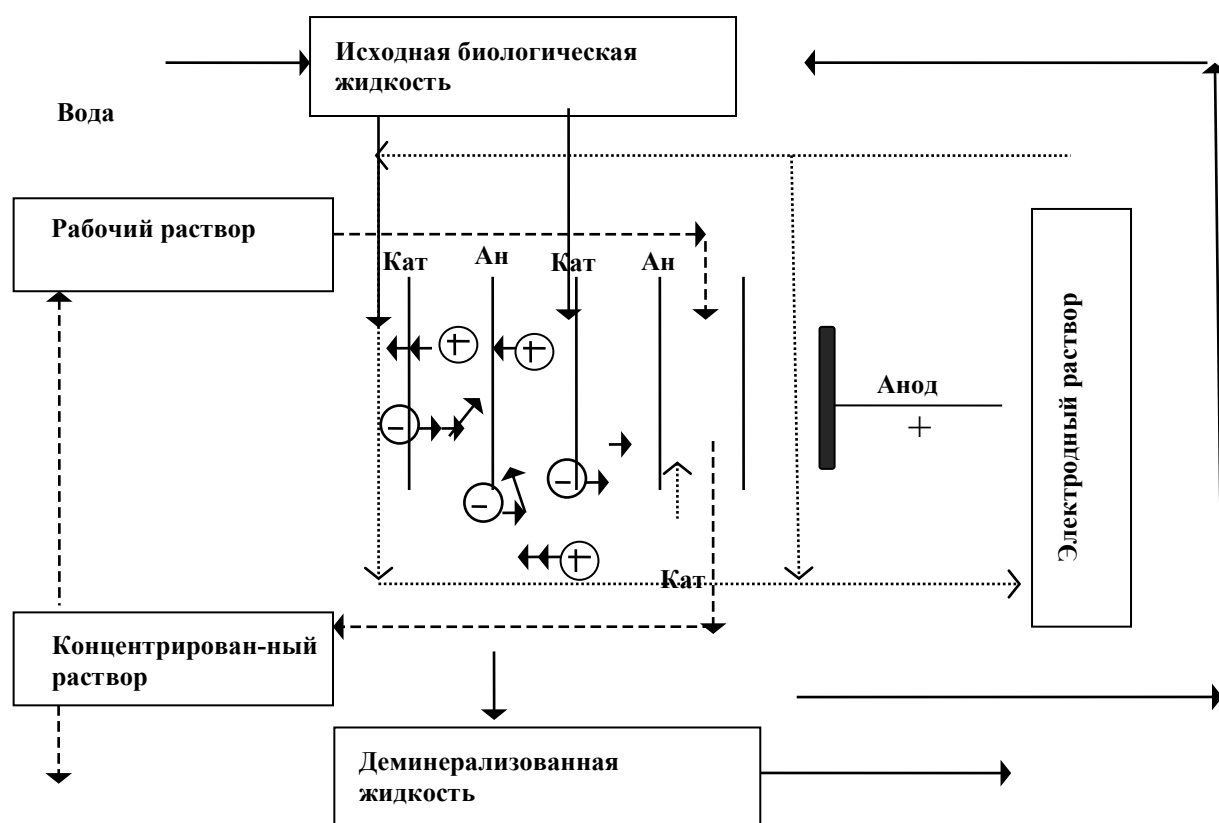


Рисунок 9.1 - Схема переноса ионов при электродиализе.

Аппаратура и материалы: лабораторная электродиализная установка, рефрактометр, кондуктометр, титровальная установка, весы лабораторные, баня

водяная, мерники металлические емкостью 1 дм³; раствор гидроксида натрия 0,1 н., 1 %-й спиртовой раствор фенолфталеина, цилиндры на 100 – 500 см³, пипетки на 10 см³, прибор для отмеривания раствора формалина на 1 см³.

Указания по технике безопасности

При выполнении исследований следует соблюдать общие правила техники безопасности, рассмотренные в методических указаниях к выполнению лабораторной работы 1. Особенное внимание следует уделить правилам работы с растворами щелочей, электробезопасности при работе с установками под высоким напряжением. Перед началом работы с лабораторной электродиализной установкой ознакомиться с правилами ее эксплуатации. Работу с установкой осуществлять только под контролем преподавателя или лаборанта!

Методика и порядок выполнения работы

Порядок выполнения работы приведен на рисунке 9.2.



Рисунок 9.2 - Блок-схема алгоритма выполнения работы «Изучение технологических процессов электромембранной обработки биологического сырья».

Пояснения к блок-схеме.

БЛОК 1. По литературным источникам выполнить принципиальную схему промышленной электродиализной установки типа «фильтр-пресс», указать материальные потоки сырья, рабочего и электродного растворов.

Изучить устройство лабораторной электродиализной установки, вычертить схему; привести описание работы.

БЛОК 2. Подгруппа разбивается на 3-4 бригады. Порядок выполнения работы.

1. Для проведения исследований готовят модельные образцы молочной сыворотки с массовой долей сухих веществ 6, 12, 18, 24 % объемом 1 дм³ путем растворения расчетных навесок сухой молочной сыворотки в питьевой или дистиллированной воде при температуре 40 – 45 °С. Определяют титруемую кислотность, массовую долу сухих веществ и удельную электропроводность приготовленных образцов сыворотки.

2. Образцы молочной сыворотки обрабатывают на электродиализной установке в течение 20 – 30 минут. В процессе работы с интервалом в 3 – 5 минут отбирают образцы сыворотки объемом 15 – 20 см³ для определения массовой доли сухих веществ, титруемой кислотности и удельной электропроводности. В процессе электродиализа фиксируют электрические характеристики процесса (сила тока, напряжение); изменение состояния электродного и рабочего растворов (визуально); температуру обрабатываемого сырья, электродного раствора и рассола.

3. По завершении процесса электродиализа проводят ополаскивание и мойку электродиализной установки.

БЛОК 3. Для каждой контрольной точки рассчитать уровень деминерализации (De) и производительность (M) установки по формулам:

$$De = [(\chi_0 - \chi) / \chi_0] * 100 \%, \quad (9.1)$$

$$M = V * De * C / (S * t), \quad (9.2)$$

где χ_0, χ – удельная электропроводность сыворотки в начальный и текущий момент времени;

V – объем перерабатываемого сырья, м^3 ;

C – массовая доля сухих веществ сыворотки в текущий момент времени, %;

S – суммарная рабочая поверхность мембран, м^2 ;

t – продолжительность обработки, ч.

Результаты исследований и расчетов заносят в таблицы 9.1. и 9.2.

Таблица 9.1 – Результаты исследований процесса электродиализа.

№ образца	Продолжительность обработки, мин.	Сила тока, А	Напряжение, В	Удельная электропроводность	Титруемая кислотность, °Т	Массовая доля сухих веществ, %

Таблица 9.2 – Результаты расчета показателей эффективности процесса электродиализа.

№ образца	Продолжительность обработки, мин.	Уровень деминерализации, %	Производительность, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$

БЛОК 4. Для образцов сыворотки с фиксированными значениями массовой долей сухих веществ строят графики зависимости титруемой кислотности, массовой доли сухих веществ, удельной электропроводности, уровня деминерализации и производительности установки от времени обработки. По результатам исследований всех бригад строят графики зависимости уровня деминерализации и производительности установки по завершении обработки сыворотки от массовой доли сухих веществ исходных образцов.

Содержание отчета и его форма

Отчет о выполнении работы должен содержать:

- титульный лист;

- цель и алгоритм выполнения работы;
- теоретическое обоснование проводимых исследований;
- описание методики проведения эксперимента;
- результаты исследований, графические зависимости;
- выводы.

Контрольные вопросы и защита работы

Контрольные вопросы:

- сущность и теоретические основы процесса электродиализа биологических жидкостей;
- классификация и характеристика полупроницаемых мембран для электромембранных процессов;
- аппаратное оформление процесса электродиализа молочного сырья;
- показатели эффективности процесса электродиализа.

Защита работы проводится на следующем после ее выполнения лабораторном занятии в форме устного опроса.

Лабораторная работа № 11.

РАСЧЕТ БРОДИЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Цель занятия: усвоить теоретические основы процесса брожения, научиться самостоятельно рассчитывать потери теплоты при брожении

Задание:

1. Изучить основные способы сбраживания виноградного сусла.
2. Рассчитать производительность бродильной установки непрерывного действия.
3. Рассчитать необходимое число резервуаров в бродильной батарее.
4. Изучить тепловые расчеты при брожении.
5. Рассчитать потери теплоты стальным геометрическим аппаратом

при брожении.

1. Основные способы сбраживания виноградного сусла.

Брожение – основной технологический процесс винодельческих производств, формирующий вино как продукт с типичными для него свойствами.

Современными технологическими схемами производства вин по белому способу предусмотрено осветление сусла перед брожением в течение 12-24 ч путем отстаивания в обычных резервуарах либо на специальном оборудовании с последующим сбраживанием с целью получения винома- териала. Брожением на мезге готовят основную массу красных вин, а также некоторые специальные вина. Процессы брожения имеют место и при производстве плодово-ягодных вин, шампанского (так называемое вторич- ное брожение) и игристых вин.

В современной виноделии применяют три основных способа сбраживания виноградного сусла – стационарный (периодический), доливной и непрерывный. Первый состоит в том, что определенный объем сусла сбра- живается с начала до конца в одном резервуаре (установке). Как правило, для этих целей используются обычные резервуары, оснащенные соответ- ствующей арматурой и приборами.

При расчете производительности бродильных установок периодиче- ского действия определяющим фактором является скорость сбраживания сахара, которую рекомендуется поддерживать в пределах 0,1-0,4 г/(л·ч). Она зависит не только от температуры сусла, но и от геометрических па- раметров бродильной установки, в частности от соотношения длины (вы- соты) и диаметра резервуара, так как это соотношение влияет на переме- шивание массы сусла, пенообразование и т. д.

Доливной способ брожения отличается тем, что процесс идет не в постоянном объеме исходного сусла, а при периодических доливах новых его порций. В этих условиях бродящая среда периодически пополняется питательными веществами, концентрация продуктов брожения уменьшается, и температура бродящего сусла понижается. Такой способ обеспечи

вает возможность проведения процесса в крупных резервуарах без принудительного охлаждения.

В крупных резервуарах можно проводить процесс брожения и по-точно-доливным способом с применением искусственного холода.

Способ непрерывного брожения основан на ведении процесса в условиях регламентированного потока бродящего сусла. Для осуществления этого процесса применяют установки БА-1 и ВБУ-4Н, реже ВКМ-5, УНС-Э «Крымская» и др.

2. Расчет производительности бродильной установки непрерывного действия.

Расчет производительности бродильных установок непрерывного действия основан на кинетике процесса, а тепловой расчет процесса позволяет подбирать соответствующую холодильную установку.

В общем случае производительность бродильных установок периодического действия Π (в дал за сезон) определяется по формуле:

$$\Pi = \frac{V_{\Pi} T}{\tau} = \frac{VKT}{\tau} \quad (1)$$

где V_{Π} – полезный объем аппарата, дал; T – время работы установки за сезон, сут; τ – длительность цикла сбраживания, сут (в зависимости от вода получаемых виноматериалов (Приложение 2), V – полный объем аппарата, дал; K – коэффициент использования резервуаров (при сбраживании сусла по нормативам $K = 0,85$; при брожении на мезге $K = 0,8$).

Коэффициент заполнения резервуаров, особенно крупных, при использовании их для этих целей не должен превышать 0,75, так как процесс брожения связан со значительным увеличением напряженности зеркала пенообразования.

Производительность Π (в дал/сут) бродильной установки непрерывного действия, например типа БА-1, может быть рассчитана по эмпирической формуле

$$\Pi = \frac{V'}{C_1} \quad (2)$$

где V'_{Π} – полезный объем головного резервуара, дал; C_1 – сахаристость сусла, поступающего на сбраживание, %.

Интервал между подачами сусла

$$\tau = \frac{60V''}{\Pi}$$

где V''_{Π} – объем одного перетока, дал ($V''_{\Pi} = 90 \dots 91$ дал); Π – производительность установки, дал/ч. Практически время цикла составляет около 20 мин.

3. Расчет количества резервуаров в бродильной батарее.

Число резервуаров n в батарее определяется степенью сбраживания сахара. Этот расчет может производиться не только при проектировании

новых установок, но и при эксплуатации действующих, с целью получения необходимых недобродов.

$$n = \frac{Bq}{ПТ} \quad (3)$$

где B – количество односортного винограда, поступающего на завод в течение сезона, т; q – количество сусла, получаемого из 1 т винограда, дал/т; $П$ – производительность бродильной установки, дал/сут; T – длительность сезона, сут.

4. Тепловые расчеты при брожении.

Избыточное количество теплоты Q (Вт), которое необходимо отводить при брожении,

$$Q = \frac{V\rho q\chi\alpha}{100 \cdot 100} \quad (4)$$

где V – объем сусла в бродильном аппарате, м³; ρ – плотность сусла, кг/м³; q – количество теплоты, полученной из 1 кг сахара при брожении (в среднем $q = 586 \cdot 10^3$ Дж); χ – количество сбраживаемого сахара в сусле, мас. %; α – количество сахара, сбраживаемого за 1 с, % к общему количеству сахара в сусле.

Образующаяся при брожении теплота частично теряется через поверхность бродильного аппарата в окружающую среду – Q_1 (определяется по обычной методике тепловых расчетов), частично уносится с выделяющимися при брожении газами – Q_2 . Количество теплоты, уносимой диоксидом углерода и водно-спиртовыми парами, определяется по количеству этих газов, выделяющихся за 1 ч в период бурного брожения.

При сбраживании 1 кг сахара выделяется 0,48 кг CO₂ и 0,49 кг спирта. Тогда количество теплоты Q_2 (Вт) уносимой диоксидом углерода,

$$Q_2 = \frac{V\rho\alpha \cdot 0,48Tc}{100 \cdot 100\tau} \quad (5)$$

где T – температура испарения образующейся массы, К; c – теплоемкость диоксида углерода [880 Дж/(кг·К)]; τ – продолжительность брожения, ч.

Количество теплоты, уносимой водно-спиртовыми парами, определяется исходя из количества спирта (в %) в парах:

для спиртовых паров

$$Q_{сп} = \frac{Gb\lambda_{сп}}{100} \quad (6)$$

для водяных паров

$$Q_B = G_B \lambda_B = G[(100 - b)/100] \lambda_B \quad (7)$$

где G и G_B – количество соответственно водно-спиртовых и водяных паров, кг/с; b – количество водяных паров, %; $\lambda_{СП}$ – теплота испарения спирта, Дж/кг; λ_B – теплота испарения водяного пара при температуре бродящего сусла, Дж/кг.

Суммарное количество теплоты, уносимой водно-спиртовыми парами,

$$Q_3 = Q_{СП} + Q_B$$

Количество теплоты, которое подлежит удалению из бродящей жидкости,

$$Q_0 = Q - Q_1 - Q_2 - Q_3 \quad (8)$$

По этим данным подбирается соответствующая холодильная установка.

5. Расчет потерь теплоты стальным геометрическим аппаратом при брожении.

Бродильный аппарат (рис. 1) представляет собой цилиндр с коническими днищами. Аппарат изготавливают из стали Ст. 3 толщиной 6...8 мм путем сварки. Внутри чана смонтирован змеевик 1 из стальных труб диаметром 51...76 мм для отвода теплоты, выделяющейся при брожении массы. Масса подается через штуцер 4, дрожжи – через штуцер 3. Углекислота, выделяющаяся при брожении, отводится через патрубок 5.

Для осмотра и ремонта аппарат снабжен люками 2 и 10. За процессом брожения наблюдают через смотровое окно 8 с помощью светильника 7. Термометры устанавливают в гильзы 9. К штуцеру 6 подключают гидрозащитный клапан, который предотвращает образование вакуума при пропаривании аппарата. При непрерывно-поточном способе брожения на переточных трубах устанавливают дисковый затвор, с помощью которого чан отключается от батареи для мойки и дезинфекции. Конструкция затвора предотвращает застой бражки, что обеспечивает стерильность процесса брожения.

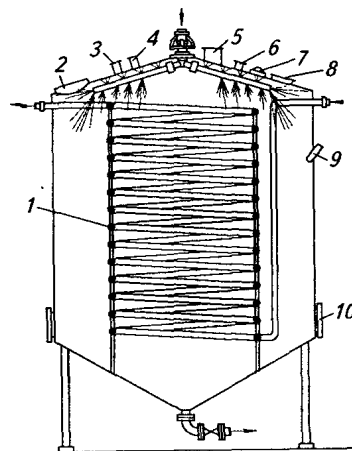


Рис. 1. Схема бродильного аппарата

При периодическом способе брожения вместимость бродильного аппарата определяют из условия его заполнения в течение 7...8 ч. Конструктивные размеры аппарата определяют по формулам

$$H = (1,2 \dots 1,5) d_{\text{ан}};$$

$$h_1 = (0,15 \dots 0,3) d_{\text{ан}};$$

$$h_2 = (0,1 \dots 0,125) d_{\text{ан}},$$

где H – высота цилиндрической части аппарата, м; h_1 и h_2 – высота соответственно днища и крышки аппарата, м; $d_{\text{ан}}$ – диаметр аппарата, м.

Коэффициент заполнения аппарата принимают равным 0,85. Переточные трубы в аппарате, начиная с третьей, крепят на разных уровнях по высоте таким образом, что расстояние между местами закрепления труб двух любых соседних аппаратов составляет 100 мм. Аппарат устанавливают на металлических стойках, высота от пола до днища 0,8...1,2 м.

Тепловая нагрузка на один аппарат в период главного брожения (Вт)

$$Q = Q_1 - (Q_2 + Q_3) \quad (9)$$

где Q_1 – общее количество теплоты, выделяемой в течение 1 ч в период интенсивного главного брожения, Вт (при сбраживании 1 кг мальтозы выделяется 171 Вт); Q_2 – потери теплоты в окружающую среду стенками аппарата, Вт; Q_3 – потери теплоты вследствие испарения и уноса паров диоксида углерода, Вт; $Q_3 = 0,06Q_1$

Коэффициент теплоотдачи от сбраживаемой массы к стенке змеевика α_1 из-за невозможности его точного расчета принимают ориентировочно равным 699 Вт/(м²·К). При турбулентном движении воды в змеевике коэффициент теплоотдачи от стенки змеевика к воде [Вт/(м²·К)].

$$\alpha_2 = 0,23(\lambda / d_3) \text{Re}^{0,8} \text{Pr}^{0,4} [1 + 1,77(d / R)] \quad (10)$$

где λ – теплопроводность сбраживаемой массы, Вт/м²; d_3 – внутренний диаметр трубы змеевика, м; R – радиус кривизны змеевика, м (принимают равным 0,8 радиуса бродильного аппарата).

Общая длина труб змеевика (м)

$$L = \frac{F}{\pi d_{\text{cp}}}$$

где d_{cp} – средний диаметр трубы змеевика, м $\sqrt{\frac{\pi d_3^2}{4} + H^2}$ (11)

Длина одного витка (м) змеевика диаметром d_3 (12)

Общее число витков

$$z = \frac{L}{l} \quad (13)$$

Потеря теплоты посредством лучеиспускания (Вт)

$$Q_{\text{л}} = C_{1-2} \varphi F \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right]$$

где C_{1-2} – коэффициент излучения, зависящий от степени черноты и взаимного расположения излучающих поверхностей, Вт/(м²·К⁴); φ – угловой коэффициент; F – площадь поверхности излучения, м²; T_1 , T_2 – абсолютные температуры поверхностей соответственно более нагретого и менее нагретого тел, К.

При определении коэффициента излучения C_{1-2} необходимо принять во внимание следующее:

если аппарат, имеющий площадь поверхности излучения F_1 , находится внутри помещения с площадью поверхности излучения F_2 , то угловой коэффициент $\varphi = 1$, а в расчетное уравнение подставляют значение площади поверхности аппарата ($F = F_1$)

$$C_{1-2} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{F_2} \left(\frac{1}{C_2} - \frac{1}{C_4} \right)}$$

где C_1 – коэффициент излучения стенок аппарата; $C_1 = \varepsilon_1 C_q$; C_2 – коэффициент излучения поверхностей стен помещения; $C_2 = \varepsilon_2 C_q$; C_q – коэффициент излучения абсолютно черного тела; $C_q = 5,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – соответственно степени черноты поверхностей аппарата и стен помещения; если отношение площадей излучающих поверхностей F_1/F_2 очень мало, то коэффициент излучения C_{1-2} можно принять равным C_1 .

Поверхность нагретого аппарата теряет теплоту в окружающую среду не только лучеиспусканием, но и конвекцией. Общая потеря теплоты (Вт)

$$Q = \alpha F (t_{\text{ст}} - t_{\text{возд}})$$

где α – коэффициент теплоотдачи посредством лучеиспускания и конвекции, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $t_{\text{ст}}$ – температура стенок аппарата во время брожения; $t_{\text{возд}}$ – температура воздуха в помещении.

Суммарный коэффициент теплоотдачи при расчете потери теплоты для аппаратов, находящихся в помещении и имеющих температуру стенок не выше 150°C ,

$$\alpha = 9,74 + 0,07 \Delta t$$

где Δt – разность температур поверхности стенки аппарата и окружающего воздуха.

Пример 1. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродительного аппарата $F_{\text{ан}} = 170 \text{ м}^2$; температура стенок аппарата во время брожения $t_{\text{ст}} = 27^\circ\text{C}$; температура воздуха в помещении $t_{\text{возд}} = 14^\circ\text{C}$. Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродительного отделения.

Решение. В условиях данного примера

$$T_1 = 273 + 27 = 300\text{K} \quad T_2 = 273 + 14 = 287\text{K}$$

Среднее значение степени черноты для окисленной стали можно принять равным 0,85, тогда

$$C = 5,7 \cdot 0,85 = 4,84 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^4)$$

Потеря теплоты в результате лучеиспускания

$$Q_{\text{л}} = 4,84 \cdot 170 (3^4 - 2,87^4) = 10860 \text{ Вт}$$

В нашем случае суммарный коэффициент теплоотдачи при расчете потери теплоты для аппаратов, находящихся в помещении и имеющих температуру стенок не выше 150°C ,

$$\alpha = 9,74 + 0,07(27 - 14) = 10,65 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Общая потеря теплоты бродительным аппаратом

$$Q = 10,65 \cdot 170(27 - 14) = 23530 \text{ Вт}$$

Задания для самостоятельной работы:

1. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродительного аппарата $F_{an} = 140 \text{ м}^2$; температура стенок аппарата во время брожения $t_{cm} = 27 \text{ °С}$; температура воздуха в помещении $t_{возд} = 14 \text{ °С}$. Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродительного отделения.

2. Площадь поверхности стенок, днища и крышки бродительного аппарата $F_{an} = 170 \text{ м}^2$; температура стенок аппарата во время брожения $t_{cm} = 28 \text{ °С}$; температура воздуха в помещении $t_{возд} = 16 \text{ °С}$. Рассчитать потерю теплоты стальным герметичным аппаратом, установленным в неотапливаемом помещении бродительного отделения.

Контрольные вопросы:

1. Что называется брожением?
2. Опишите основные способы сбраживания виноградного сусла.
3. Методика расчета производительности бродительной установки непрерывного действия.
4. Методика расчета необходимого количества резервуаров в бродительной батарее.
5. Методика тепловых расчетов при брожении.
6. Опишите строение и принцип действия бродительного аппарата.
7. Методика расчета потери теплоты стальным геометрическим аппаратом при брожении.

Лабораторная работа № 12.
РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ РАЗЛИВОЧНОЙ
ДОЗИРОВОЧНОЙ МАШИНЫ

Цель занятия: усвоить теоретические основы процесса фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей, научиться самостоятельно рассчитывать параметры работы разливочной дозирующей машины.

Задание:

1. Изучить принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
2. Рассчитать параметры работы разливочной дозирующей машины.

1. Принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.

Для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей применяют машины, принцип действия которых основан на различных способах наполнения бутылок: барометрическом, сверхбарометрическом и вакуумном. По барометрическому способу истечение жидкости происходит только в поле действия гравитационных сил (самотеком) при нормальном давлении. При этих условиях фасуют «тихие» жидкости, не содержащие легколетучих компонентов.

Сверхбарометрическое фасование также характеризуется истечением жидкости в поле действия гравитационных сил, но при избыточном давлении в фасовочном устройстве (или в расходном баке) и наполняемой таре. Таким способом фасуют безалкогольные напитки, насыщенные диоксидом углерода.

Фасование под вакуумом применяют в двух вариантах. При создании разрежения только в таре истечение продукта происходит под действием разности давлений в расходном баке и таре. При создании разрежения и в таре, и в расходном баке истечение продукта происходит в поле действия гравитационных сил (самотеком).

Независимо от способа фасования бутылки можно наполнять по объему или по уровню в фасовочно-укупорочных машинах (табл. 1).

Таблица 1 – Техническая характеристика фасовочно-укупорочных машин

Показатель	Р2-6	Т1-ВРЦ-12	Т1-ВДР-12В	Б2-ВРР/1
Производительность, бутылок в час	660	12000	12000	24000
Число устройств:				
фасовочных	36	60	60	90

укупорочных	-	12	12	18
Давление (абсолютное), МПа:				
в резервуаре	0,15...0,22	0,19...0,22	0,25...0,45	0,30...0,35
сжатого воздуха в цилиндрах	0,30...0,35	0,40...0,45	0,6	0,20...0,22
подъемных столиков				
Расход сжатого воздуха, м ³ /ч	25	20	20	30
Мощность привода, кВт	2,2	4,6	5,3	9,42

Бутылки с пивом, безалкогольными напитками, минеральной водой и другими пищевыми жидкостями укупоривают жестяными колпачками с упругой пробкой или синтетической прокладкой. Фасовочно-укупорочный агрегат Т1-ВРЦ-12 для розлива пива представляет собой моноблок, состоящий из синхронно работающих фасовочной и укупорочной машин с общим приводом. На расходном резервуаре монтируют 60 фасовочных устройств кранового типа с длинной трубкой для жидкости. Наполненные бутылки снимаются с фасовочной карусели промежуточной звездочкой и переносятся на укупорочную карусель. При вращении последней укупорочные патроны, обкатываясь по неподвижному копиру, опускаются и обжимают кронен-пробки на горлышке бутылки.

Для фасования безалкогольных напитков, минеральной воды и пива в бутылки, а также укупорки их кронен-пробками предназначен агрегат Б2-ВРР/1. Напиток и диоксид углерода подаются в центр резервуара по трубопроводам, идущим от распределителя. Специальные клапаны регулируют подачу газа в зависимости от уровня и давления напитка.

После подъема бутылки в крайнее верхнее положение достигается ее герметизация. В фасовочном устройстве открывается вакуумный клапан, и в бутылке создается разрежение, в результате чего из нее удаляется воздух. Затем открывается клапан газа, и он начинает поступать в бутылку. В дальнейшем под действием пружины открывается жидкостный клапан и через кольцевой зазор между горлышком бутылки и резиновым конусом напиток сливается в бутылку. Во время наполнения бутылки диоксид углерода вытесняется по газовой трубе в наджидкостное пространство резервуара.

2. Расчет параметров работы разливочной дозировочной машины.

Процессы, протекающие в разливочных дозировочных машинах, делятся на две группы: имеющие по технологическим соображениям строго определенную продолжительность и зависящие от конструкции машины. К первой группе относятся подъем, спуск бутылок (рис. 1, секторы II и VIII) и заполнение их газом и жидкостью (секторы IV и VI). Продолжительность этих процессов: подъем бутылки – до 2,5 с; заполнение газом – 1; заполнение пивом – 5...10; спуск бутылки – до 2,5 с.

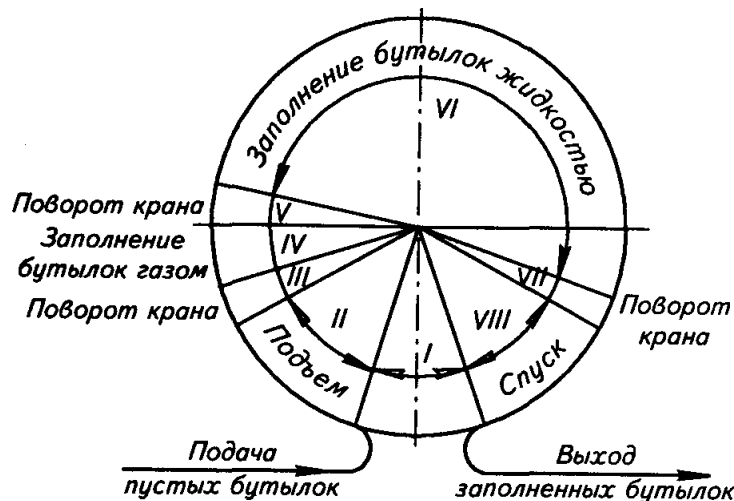


Рис. 1. Циклограмма работы разливочной дозирочной машины

Установка и сьем бутылок со столиков (сектор I), а также повороты кранов (секторы III, V и VII) зависят от конструкции машины. Центральный угол каждого из этих секторов определяется конструктивными элементами машины. Турникеты в зависимости от конструкции перекрывают сектор, в котором находится от 3 до 7 подъемных столиков.

Производительность разливочной машины карусельного типа (бутылок в час)

$$G_{\text{б}} = 3600 q_n n \quad (1)$$

где q_n – число фасовочных устройств; n – частота вращения ротора, с^{-1} .

Время заполнения бутылки зависит от объема дозы и объемного расхода жидкости. Теоретический расход жидкости, вытекающей через сливное отверстие наполнителя (м/с),

$$G_{\text{ж}} = \varphi f \sqrt{2gH} \quad (2)$$

где φ – теоретический коэффициент расхода сливного канала; $\varphi = 0,4 \dots 0,7$; f – площадь сечения отверстия для выхода жидкости, м^2 ; g – ускорение свободного падения, м/с^2 ; H – напор жидкости, м.

При шатровом способе наполнения бутылок, который характеризуется наибольшим расходом жидкости при наименьшей ее турбулентности и скорости движения,

$$f = \frac{\pi(d_{\text{н.тр}}^2 - d_{\text{в.тр}}^2)}{4} \quad (3)$$

где $d_{\text{н.тр}}$ и $d_{\text{в.тр}}$ – соответственно наружный и внутренний диаметры сливной трубки, м.

Продолжительность одного оборота карусели (с)

$$\tau_{об} = \frac{1}{n} = \frac{q_n}{G_{\delta}} \quad (4)$$

Пример 1. Рассчитать параметры работы разливочной дозировочной машины при фасовании в бутылки вместимостью $V_{\delta} = 0,5$ л негазированных напитков производительностью $G_{\delta} = 6000$ бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке $\Delta p = 1619$ Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности $t = 0,11$ м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки $d_{\delta} = 0,016$ м. Коэффициент расхода сливного канала $\varphi = 0,6$. Теоретический напор уровня жидкости $H = 0,16$ мм вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки $d_{вн.тр} = 0,012$ м, плотность жидкости $\rho_{ж} = 1030$ кг/м³. Общая продолжительность операций наполнения бутылки $\tau_{общ} = 7,8$ с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из $q_c = 3$ подъемных столиков.

Решение. Скорость истечения жидкости из сливной трубки для двух случаев:

$$v' = \varphi \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho_{ж}}} = 0,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 1619}{1030}} = 1,063 \text{ м/с}$$

$$v'' = \varphi \sqrt{2gH} = 0,6 \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,16} = 1,063 \text{ м/с}$$

Значения скоростей истечения должны быть равны между собой. Если равенства не получается, то регулируем высоту напора жидкости H . Площадь сечения отверстия для выхода жидкости

$$f = \frac{\pi d_{вн.тр}^2}{4} = \frac{3,14 \cdot 0,012^2}{4} = 0,00011 \text{ м}^2$$

Расход жидкости, вытекающей через сливное отверстие наполнителя,

$$V'_{ж} \varphi f v' = 0,6 \cdot 0,0001 \cdot 1,063 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$V''_{ж} \varphi f v'' = 0,6 \cdot 0,0001 \cdot 1,063 = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 / \text{с}$$

Полученные значения расходов жидкостей должны быть равны между собой, если они различаются, меняем величину давления Δp . Продолжительность наполнения одной бутылки

$$\tau_n = \frac{V_{\delta} \cdot 10^{-3}}{V_{ж}} = \frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{1,2 \cdot 10^{-4}} = 4,1 \text{ с}$$

Число наполнителей (фасовочных устройств)

$$q_n = \frac{G_{\delta} \tau_{общ}}{3600} = \frac{6000 \cdot 7,8}{3600} = 13$$

Общее число подъемных столиков

$$q_{общ} = q_n + q_c = 13 + 3 = 16$$

КПД разливочных клапанов (или кранов)

$$\eta = \frac{q_n}{q_{общ}} = \frac{13}{16} = 0,81$$

Продолжительность одного оборота карусели

$$\tau_{об} = \frac{q_{общ} \cdot 3600}{G_{\delta}} = \frac{16 \cdot 3600}{6000} = 9,6с$$

Частота вращения ротора карусели

$$n = \frac{1}{\tau_{об}} = \frac{1}{9,6} = 0,1с^{-1}$$

Диаметр окружности по центрам подъемных столиков при шаге подъемных столиков $t = 0,11$ м

$$D_0 = \frac{t q_{общ}}{\pi} = \frac{0,11 \cdot 16}{3,14} = 0,56м$$

Модуль карусели

$$d_{\kappa} = \frac{D_0}{q_{общ}} = \frac{0,56}{16} = 0,035м$$

Задания для самостоятельной работы:

1. Рассчитать параметры работы разливочной дозировочной машины при фасовании в бутылки вместимостью $V_{\delta} = 0,5$ л негазированных напитков производительностью $G_{\delta} = 12000$ бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке $\Delta p = 1930$ Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности $t = 0,11$ м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки $d_{\delta} = 0,016$ м. Коэффициент расхода сливного канала $\varphi = 0,4$. Теоретический напор уровня жидкости $H = 0,16$ мм вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки $d_{вн.тр} = 0,012$ м, плотность жидкости $\rho_{ж} = 1020$ кг/м³. Общая продолжительность операций наполнения бутылки $\tau_{общ} = 10,3$ с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из $q_c = 4$ подъемных столиков.

2. Рассчитать параметры работы разливочной дозировочной машины при фасовании в бутылки вместимостью $V_{\delta} = 0,5$ л негазированных напитков производительностью $G_{\delta} = 24000$ бутылок в час. Среднее давление жидкости в дозирующем баке и сливной трубке $\Delta p = 3224$ Па. Шаг установки подъемных дисков по окружности $t = 0,11$ м. Внутренний диаметр горлышка стандартной бутылки $d_{\delta} = 0,016$ м. Коэффициент расхода слив-

ного канала $\varphi = 0,5$. Теоретический напор уровня жидкости $H = 0,16$ м вод. ст., внутренний диаметр сливной трубки $d_{вн.тр} = 0,012$ м, плотность жидкости $\rho_{ж} = 1030$ кг/м³. Общая продолжительность операций наполнения бутылки $\tau_{общ} = 8,1$ с, включая подъем бутылки к наполнителю и ее спуск; турникетная группа состоит из $q_c = 6$ подъемных столиков.

Контрольные вопросы:

1. Назовите способы наполнения бутылок в машинах для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
2. Опишите принцип действия и основные параметры работы машин для фасования пива, безалкогольных напитков и других пищевых жидкостей.
3. На какие группы делятся процессы, протекающие в разливочных дозировочных машинах?
4. Опишите циклограмму работы разливочной дозировочной машины.
5. Методика расчета параметров работы разливочной дозировочной машины.

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
Перечень основной и дополнительной литературы, необходимый для
освоения дисциплины

1. Перечень основной литературы:

1. Белкина, Р.И. Технология производства солода, пива и спирта : учебное пособие для СПО / Р.И. Белкина, В.М.Губанов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 104 с. : ил. – Текст : непосредственный.
2. Донченко, Л. В. Основы виноделия : Учебное пособие / Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта, В. Т. Косюра. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 422 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-07279-2. – EDN GPMUYA.
3. Технология виноделия : Учебник / А. В. Кочерга, Г. И. Касьянов, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 200 с. – ISBN 978-5-534-19536-1. – EDN DVLUMH.
4. Хозиев О.А. Технология пивоварения : учебное пособие для вузов / О.А. Хозиев, А.М. Хозиев, В.Б. Цугкиева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 560 с.: ил. – Текст : непосредственный.

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Захаров, В. Л. Химико-технологический контроль дрожжевого производства : учебное пособие / В. Л. Захаров, О. А. Дубровина. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. – 83 с. – ISBN 978-5-00151-432-9. – EDN VQNMRB.
2. Проектирование и строительство винодельческих предприятий с основами планирования и технологии отрасли : Учебник / Г. И. Касьянов, А. В. Кочерга, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 445 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14553-3. – EDN GWUPEF.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети
«Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <https://magarach-institut.ru/zhurnal-magarach-vinogradarstvo-i-vinodelie/> – портал журнала «Виноделие и виноградарство»;
2. <https://www.foodprom.ru/pivo-i-napitki> портал журнала «Пиво и напитки».
3. [www. foodprom.ru](http://www.foodprom.ru) – портал журнала «Пищевая промышленность».

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРАКТИЧЕСКИМ РАБОТАМ
по дисциплине
**«Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и
винодельческих производств»**

Ставрополь, 2026

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1 семестр	4
Практическая работа № 1. Трубопроводы и насосы	4
Практическая работа № 2. Гидростатика	9
Практическая работа № 3. Гидродинамика	11
Практическая работа № 4. Расчет осадительного отстойника	13
Практическая работа № 5. Расчет осадительной центрифуги	15
Практическая работа № 6. Расчет рамного фильтр-пресса	17
Практическая работа № 7. Расчет мешалок	20
Практическая работа № 8. Расчет теплообменника «труба в трубе»	23
2 семестр	27
Практическая работа № 9. Расчет кожухотрубного теплообменника	27
Практическая работа № 10. Расчет пластинчатого теплообменника	32
Практическая работа № 11. Расчет однокорпусного вакуум-аппарата	37
Практическая работа № 12. Расчет многокорпусного вакуум-аппарата	39
Практическая работа № 13. Расчет адсорбера	44
Практическая работа № 14. Расчет абсорбера	49
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины	52

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» относится к обязательной части учебного плана. Ее освоение происходит в 1, 2 семестрах.

Цель дисциплины «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» - формирование представлений о дисциплине как фундаментальной науке, набора универсальных и общепрофессиональных компетенций по направлению подготовки 19.04.01 Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств.

В задачи дисциплины «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» входит изучение следующих вопросов:

- изучение основных законов наук о процессах и аппаратах биотехнологии бродильных и винодельческих производств;
- изучение стандартного и инновационного оборудования, используемого в технологии бродильных и винодельческих производств

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

ТРУБОПРОВОДЫ И НАСОСЫ

Теоретическое обоснование

На предприятиях АПК коммуникации трубопроводов, по которым жидкие продукты поступают из одного аппарата или резервуара в другой, достигают длины, измеряемой десятками и сотнями метров. При этом трубопроводы подбирают и монтируют так, чтобы по возможности обеспечить минимальное сопротивление движению жидкости и исключить отрицательное влияние трубопроводов на качество продукта. В случае неправильного монтажа трубопроводов в углах коммуникаций может скапливаться воздух, вследствие чего молоко вспенивается и изменяется дисперсность продукта. На дисперсность и качество продукта отрицательно влияет чрезмерное повышение скорости движения жидкости по трубопроводам.

Трубопроводы, применяемые в пищевой промышленности, изготавливают преимущественно из нержавеющей стали. Диаметр металлических трубопроводов 25, 35, 50, 76 мм, толщина стенок 1—2 мм.

При подборе трубопроводов необходимо определить диаметр трубопроводов, потери напора и давление, создаваемое вакуум-компрессионной системой.

Диаметр трубопровода d (в мм) рассчитывают по формуле

$$d = \sqrt{4M / \pi v} \quad (1.1)$$

где v — скорость движения жидкости, м/с, M — количество жидкости, м³/с

Скорость движения жидких молочных продуктов принимают в следующих пределах: молока - 0,5—1,5 м/с; сливок, сгущенного молока и сметаны - 0,3—0,5; обезжиренного молока, пахты, сыворотки - 1—2 м/с.

Потери напора, или гидравлическое сопротивление движению жидкости H_c (в м) в трубопроводах, определяют по формуле

$$H_c = (v^2 / 2g) (\xi_{тр} l / d + \sum \xi_{м.с} + 1), \quad (1.2)$$

где l — длина трубопровода, м;

$\xi_{тр}$ — коэффициент сопротивления трения;

$\xi_{м.с}$ — коэффициент местных сопротивлений.

Коэффициент сопротивления трения зависит от режима движения жидкости:

при турбулентном режиме

$$\xi_{тр} = 0,3164 / \sqrt[4]{Re} \quad (1.3)$$

при ламинарном режиме

$$\xi_{тр} = 64 / Re \quad (1.4)$$

Критерий Рейнольдса вычисляется по формуле

$$Re = v \cdot d / \nu$$

где ν — кинематическая вязкость продукта, m^2/c

Коэффициент местных сопротивлений ξ_{mc} зависит от вида сопротивления.

1. При входе жидкости в трубу коэффициент местных сопротивлений ξ_{mc} зависит от формы входной кромки трубы. Если края острые, $\xi_{mc} = 0,5$, если края тупые, $\xi_{mc} = 0,25$. При закругленной кромке трубы $\xi_{mc} = 0,06—0,005$.

2. При выходе из трубы $\xi_{mc} = 1$

3. При внезапном расширении трубы коэффициент местных сопротивлений зависит от отношения квадрата диаметра узкой трубы к квадрату диаметра широкой трубы:

d_1^2 / d_2^2	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ξ_{mc}	0,81	0,64	0,49	0,36	0,3	0,16	0,09	0,04	0,01	0

4. При внезапном сужении трубы коэффициент местных сопротивлений ξ_{mc} также зависит от отношения квадрата диаметра узкой трубы к квадрату диаметра широкой:

d_1^2 / d_2^2	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1
ξ_{mc}	0,5	0,47	0,45	0,38	0,34	0,3	0,25	0,2	0,15	0,09	0

5. При наличии колен в трубах (рис. 1, а) коэффициент местных сопротивлений зависит от угла колена α :

α	5	10	15	30	45	60	90
ξ_{mc}	0,02	0,03	0,04	0,38	0,13	0,47	1,13

6. При отводах (рис. 1,б), устанавливаемых на коммуникациях трубопроводов, коэффициент местных сопротивлений определяют по формуле

$$\xi_{mc} = [0,131 + 0,16(d / R)^{3,5}] \alpha / 90, \quad (1.5)$$

где d —диаметр трубы, м; R — радиус закругления, м

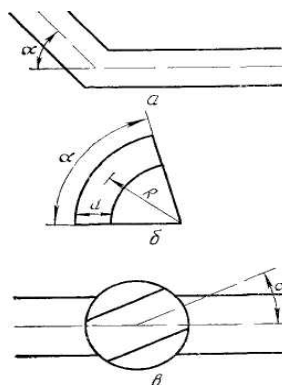


Рисунок 1 - Схема элементов трубопроводов:

a — колен; b — отводов; $в$ —кранов.

7. В кранах (рис. 1, в) коэффициент местных сопротивлений зависит от угла поворота крана α :

α	5	10	20	30	40	45	50	60	65	70
ξ_{mc}	0,05	0,29	1,56	5,47	17,3	31,2	52,6	20,6	48,6	675

Необходимое избыточное давление $p_{ж}$ (в Па) для подъема жидкости при вакуум-компрессионной системе подачи определяют по формуле

$$p_{и} = (H_n + H_c) \rho_{ж} g, \quad (1.6)$$

где H_n — высота подъема жидкости, м;

H_c — гидравлическое сопротивление движению жидкости в трубопроводе, м.

Гидравлическое сопротивление движению жидкости H_c рассчитывают по формуле (1.2). При этом скорость движения жидкости в трубопроводе определяют по формуле

$$v = \sqrt{2 (p_{и} - H_n^* \rho_{ж} g) / H_c \rho_{ж}} \quad (1.7)$$

Вакуум, необходимый для подъема жидкости на заданную высоту, (в Па) определяют по формуле

$$P_v = 10 \rho_v g - p_0 = 10 \rho_v g - (H_n^* \rho_{ж} g + H_c^* \rho_{ж} g), \quad (1.8)$$

где p_0 — остаточное давление в резервуаре, Па.

В молочной промышленности применяют плунжерные, центробежные, роторные, шестеренные, диафрагменные, винтовые, шланговые насосы. Наибольшее распространение получили центробежные насосы.

Известны центробежные насосы для перекачивания высоковязких и пластических продуктов (сливок, сметаны, сгущенного молока). Принцип действия всех центробежных насосов одинаков.

Основными показателями, характеризующими работу центробежных насосов, являются высота подачи жидкости и потребляемая мощность. Высота подачи жидкости от уровня всасываемой жидкости до наивысшей точки подъема ее, называемая полным напором Y^* (в м), зависит от расположения оси вращения (горизонтально или вертикально) рабочего колеса центробежного насоса.

Для горизонтального насоса

$$H = (p_d - p_s) / \rho_{ж} g + (v_d^2 - v_s^2) / 2g \quad (1.9)$$

Для вертикального насоса

$$H = H_s + p_d / \rho_{ж} g + v_d^2 / 2g \quad (1.10)$$

где p_d - гидростатическое давление продукта, измеряемое у выходного патрубка, Па;

p_s - гидростатическое давление, измеряемое у входного патрубка, Па;

H_s — расстояние от уровня жидкости до оси колена нагнетательного патрубка, м;

v_d - скорость движения жидкости в нагнетательном патрубке, м/с;

v_s - скорость движения жидкости во всасывающем патрубке, м/с.

Высоту подачи жидкости, или полный напор H , создаваемый рабочим колесом насоса, чаще всего определяют по формуле

$$H = v_0^2 / g = \pi^2 n^2 D^2 / g \quad (1.11)$$

где v_0 — окружная скорость рабочего колеса насоса, м/с;

n — частота вращения рабочего колеса, 1/с;

D — диаметр рабочего колеса, м

Мощность, потребляемую центробежными насосами, N (в кВт) определяют по формуле:

$$N = M \cdot H \cdot \rho_{\text{ж}} / 10^2 \cdot \eta \quad (1.12)$$

где M — производительность насоса, м³/с;

η - коэффициент полезного действия центробежного насоса ($\eta = 0,2—0,4$).

1.2 Индивидуальные задания

Определить диаметр трубопровода для транспортировки M м³ молока в час при температуре $t^\circ \text{C}$ из приемных резервуаров к универсальным пластинчатым установкам. Вычислить минимальный напор, создаваемый насосом, достаточный для преодоления гидравлических сопротивлений в трубопроводе, если общая длина его L м. На трубопроводе имеются n проходных кранов (с углом поворота α°), радиусом R см.

Данные своего варианта взять из таблицы 1.1

Таблица 1.1 – Данные для расчета по индивидуальным заданиям

Вариант	M , м ³ /ч	L м	n	α°	R см
0	12	15	5	90	45
1	15	20	6	20	60
2	10	16	4	25	90
3	14	15	5	30	50
4	16	18	4	90	45
5	18	16	5	45	50
6	20	12	6	60	45
7	12	16	4	90	50
8	18	22	5	45	45
9	16	20	6	60	50
10	14	16	4	90	45
11	20	16	5	60	50
12	18	20	6	90	45
13	12	16	4	90	40
14	16	22	5	60	60
15	12	15	6	45	45
16	15	18	4	60	60
17	10	22	5	90	90

1.3 Пример расчета

1. Из аппаратного цеха в один из резервуаров молокохранилища в 1 ч поступает 12 м³ молока при 5° С. Длина трубопровода 15 м. Трубопровод имеет 5 отводов R = 50 см, расположенных под углом 90°. Определить диаметр трубопровода и гидравлические сопротивления.

Диаметр трубопровода определяют по формуле (1.1), принимая $V=1$ м/с,

$$d = \sqrt{(12 \cdot 4) / (3600 \cdot 3,14 \cdot 1)} = 0,065 \text{ м.}$$

Стандартных трубопроводов такого диаметра нет, поэтому необходимо установить трубопровод диаметром 76 мм. Далее по формуле (1.5) вычисляют скорость движения молока в трубопроводе диаметром 76 мм

$$V = (12 \cdot 4) / (3600 \cdot 3,14 \cdot 0,076^2) = 0,8 \text{ м/с.}$$

Затем устанавливают режим движения жидкости. Для этого по формуле (III—6) определяют критерий Re

$$Re = (0,8 \cdot 0,076) / (0,028 \cdot 10^{-4}) = 21700$$

Следовательно, режим движения жидкости турбулентный. Исходя из этого, коэффициент трения определяют по формуле (1.3)

$$\xi_{\text{тр}} = 0,3164 / \sqrt[4]{21700} = 0,026$$

Суммарный коэффициент местных сопротивлений складывается из следующих величин:

$$\Sigma \xi_{\text{тр}} = \xi_{\text{вх}} + \xi_{\text{вых}} + \xi_{\text{отв}}, \quad (1.13)$$

где $\xi_{\text{вх}}$ —коэффициент местных сопротивлений на входе продукта в трубопровод; $\xi_{\text{вых}}$ — коэффициент местных сопротивлений на выходе продукта из трубопровода; $\xi_{\text{отв}}$ — коэффициент местных сопротивлений в отводах.

В соответствии с формулой (1.7) коэффициент местного сопротивления в отводах составит

$$\xi_{\text{отв}} = [0,131 + 0,16(0,076 / 0,5)^{3,5}] = 0,000128$$

Если принять, что края входной кромки трубы тупые, то суммарный коэффициент местных сопротивлений можно вычислить по формуле (1.13)

$$\Sigma \xi_{\text{мс}} = 0,25 + 1 + 5 \cdot 0,1311 = 1,9$$

Пользуясь формулой (1.2) можно установить общие гидравлические сопротивления в трубопроводе

$$H = (0,8^2 / 2 \cdot 9,81) \cdot [0,026(15 / 0,076) + 1,9 + 1] = 0,27 \text{ м}$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

ГИДРОСТАТИКА

Контрольные вопросы к разделу

1. Какие законы жидкостей изучаются в разделах «Гидростатика» и «Гидродинамика»?
2. Какими свойствами обладает капельная жидкость?
3. Какие силы действуют на жидкость в случае абсолютного и относительного покоя?
4. Какими свойствами обладает гидростатическое давление?
5. В каких единицах измерения выражается гидростатическое давление?
6. Какие приборы используют для измерения давления?
7. Что выражает основное уравнение гидростатики?
8. От чего зависит выигрыш в силе в гидравлических прессах?

Задача № 2.1

Определить абсолютное и избыточное давление на дно открытого резервуара, заполненного водой. Высота жидкости в резервуаре h м.

Таблица 2.1 – Индивидуальные задания к задаче 2.1

№ вар.	среда	$\rho_{\text{ср}}, \text{кг/м}^3$	$h, \text{м}$
1	вода	1000	2
2	вода	1000	4
3	вода	1000	6
4	вода	1000	8
5	вода	1000	10
6	масло	880	2
7	масло	880	4
8	масло	880	6
9	масло	880	8
10	масло	880	10
11	сироп	1250	2
12	сироп	1350	4
13	сироп	1150	6
14	сироп	1200	8
15	сироп	1400	10
16	сироп	1300	2
17	сироп	1400	4

Пример выполнения задания

Абсолютное давление определяется по формуле

$$P_{\text{абс}} = P_0 + \rho \cdot g \cdot h,$$

где давление P_0 – давление над поверхностью жидкости, а так как резервуар открыт, то

$$P_0 = P_{\text{атм}} = 9,81 \cdot 10^4 \text{ Па, тогда}$$

$$P_{\text{абс}} = 9,81 \cdot 10^4 + 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 = 127530 \text{ Па,}$$

$$P_{\text{изб}} = P_{\text{абс}} - P_{\text{атм}} = P_0 + \rho \cdot g \cdot h - P_0 = \rho \cdot g \cdot h.$$

$$P_{\text{изб}} = 1000 \cdot 9,81 \cdot 3 = 29430 \text{ Па.}$$

Задача № 2.1

Вакуумметр показывает вакуум в аппарате, равный $P_{\text{ВАК}}$ мм. рт. ст.,

$P_{\text{АТМ}} = 750$ мм. рт. ст. (98100 Па).

Определить абсолютное давление в аппарате (в Па). На какую высоту (h) поднимается вода в барометрической трубе?

Таблица 2.2 – Индивидуальные задания к задаче 2.1

№ вар.	$P_{\text{ВАК}}$, мм. рт. ст.
1	100
2	200
3	300
4	400
5	600
6	150
7	250
8	350
9	450
10	550
11	652
12	160
13	180
14	220
15	240
16	280
17	320

Пример выполнения задания

Абсолютное давление в аппарате для нашего случая будет равно

$$P_{\text{абс}} = P_{\text{атм}} - P_{\text{вак}}; P_{\text{абс}} = 750 - 500 = 250 \text{ мм. рт. ст. или}$$
$$P_{\text{абс}} = 250 \cdot 133,3 = 33325 \text{ Па,}$$

где 133,3 – коэффициент перевода из мм. рт. ст. в Па.

Высота столба воды в барометрической трубе рассчитывается по формуле:

$$P_{\text{атм}} = P_{\text{абс}} + \rho \cdot g \cdot h, \text{ отсюда}$$

$$h = \frac{P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}}}{\rho \cdot g} = \frac{98100 - 33325}{1000 \cdot 9,81} = 6,6$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

ГИДРОДИНАМИКА

Контрольные вопросы к разделу

1. Под действием, каких сил жидкость движется по трубопроводам?
2. Когда за расчетный линейный размер принимают эквивалентный размер?
3. В чем сущность закона неразрывности потока жидкости?
4. Какие выводы можно сделать из рассмотрения уравнения Бернулли?
5. Для каких расчетов используют уравнения Дарси, Вейсбаха?
6. Как рассчитывается коэффициент гидравлического сопротивления, и от каких факторов он зависит?
7. Как определить коэффициенты местных сопротивлений?
8. В чем заключается расчет трубопроводов?

Задача № 1.

Определить режим течения воды в межтрубном пространстве теплообменника типа «труба в трубе» при следующих условиях: наружный диаметр внутренней трубы $d_n \times \delta$ ст мм, наружный диаметр наружной трубы $D_n \times \delta$ ст мм, массовый расход воды G кг/ч, плотность ρ кг/м³, динамический коэффициент вязкости μ Па*с.

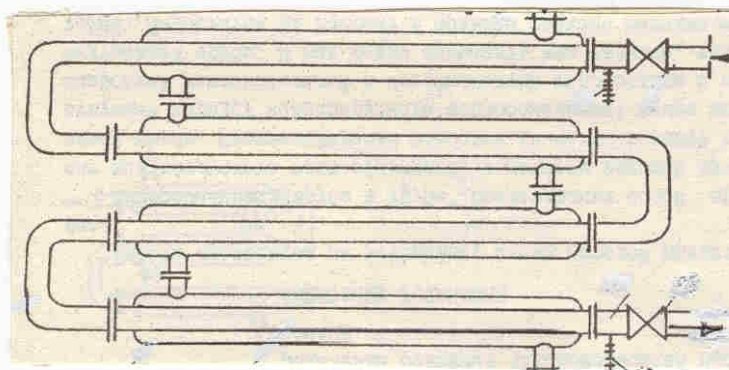


Рис. 3.1 – Схема теплообменника

Таблица 2.1 – Индивидуальные задания к задаче 2.1

№ вар.	$D_n \times \delta$ ст, мм	$d_n \times \delta$ ст, мм	G , кг/ч	ρ , кг/м	μ , Па*с
1	57x2,5	27x2,0	2000	1100	$1,10 \times 10^{-3}$
2	53x2,0	22x1,5	2500	1150	$1,20 \times 10^{-3}$
3	75x2,5	38x2,0	3500	1050	$1,30 \times 10^{-3}$
4	105x2,5	42x2,5	4000	1040	$1,05 \times 10^{-3}$
5	53x1,5	22x1,5	4500	1020	$1,07 \times 10^{-3}$
6	57x2,5	57x2,5	3600	1070	$1,25 \times 10^{-3}$
7	53x2,0	53x2,0	3200	1150	$1,15 \times 10^{-3}$
8	75x2,5	75x2,5	2000	1100	$1,17 \times 10^{-3}$
9	105x2,5	42x2,5	2500	1150	$1,20 \times 10^{-3}$
10	53x1,5	22x1,5	3500	1050	$1,10 \times 10^{-3}$
11	57x2,5	27x2,0	3600	1040	$1,20 \times 10^{-3}$
12	53x2,0	22x1,5	3800	1020	$1,30 \times 10^{-3}$
13	75x2,5	38x2,0	4200	1050	$1,17 \times 10^{-3}$
14	105x2,5	42x2,5	4800	1100	$1,22 \times 10^{-3}$
15	57x2,5	57x2,5	4500	1050	$1,10 \times 10^{-3}$
16	53x2,0	53x2,0	3600	1040	$1,20 \times 10^{-3}$
17	75x2,5	75x2,5	3200	1020	$1,30 \times 10^{-3}$

Пример решения

Определить режим течения воды в межтрубном пространстве теплообменника типа «труба в трубе» при следующих условиях: наружный диаметр внутренней трубы $d_H \times \delta_{ст} = 25 \times 2$ мм, наружный диаметр наружной трубы $D_H \times \delta_{ст} = 51 \times 2,5$ мм, массовый расход воды $G = 4000$ кг/ч, плотность $\rho = 1000$ кг/м³, динамический коэффициент вязкости $\mu = 1,0 \times 10^{-3}$ Па·с.

1. Определяем скорость движения воды в межтрубном пространстве

$$v = \frac{V}{f} = \frac{G}{\rho \cdot f \cdot 3600} = \frac{4000}{1000 \cdot 3600 \cdot 0,785 \cdot (0,046^2 - 0,025^2)} = 0,949 \text{ м/с},$$

где $V = G / \rho$ - объемный расход воды, м³/с;

f - площадь сечения кольцевого пространства, м²,

$$f = \frac{\pi}{4} \cdot (D_{ВН}^2 - d_H^2); \quad \frac{\pi}{4} = 0,785;$$

$D_{ВН}$ - внутренний диаметр наружной трубы, м. $D_{ВН} = D_H - 2\delta_{ст}$

2. Эквивалентный диаметр кольцевого сечения рассчитывается по формуле:

$$d_{\text{э}} = \frac{4 \cdot f}{\Pi} = \frac{4 \cdot \pi \cdot (D_{ВН}^2 - d_H^2)}{4 \cdot \pi \cdot (D_{ВН} + d_H)} = D_{ВН} - d_H = 0,046 - 0,025 = 0,021 \text{ м}.$$

3. Находим значение критерия Рейнольдса (Re):

$$Re = \frac{v \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,949 \cdot 0,021 \cdot 1000}{1 \cdot 10^{-3}} = 19929.$$

Таким образом, режим турбулентный.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

Расчет осадительного отстойника

Задание. Определить диаметр отстойника производительностью по водной суспензии G_n , т/ч с содержанием твердой фазы x_n , % (масс.). Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, d , мкм.

Температура суспензии 15°C . Влажность шлама (осадка) $w_{ос}$, %. Плотность твердых частиц ρ_t , кг/м³, плотность воды при температуре 15°C $\rho_{ср}$ = 1000 кг/м³, динамический коэффициент вязкости $\mu_{ср}$ = $1,14 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Индивидуальные задания приведены в таблице 2

№ варианта	G_n , т/ч	x_n , %	d , мкм	ρ_t
1	60	6	25	2400
2	40	7	30	2600
3	50	9	35	2800
4	25	10	40	2300
5	30	11	45	2200
6	45	9	50	2700
7	55	12	55	1900
8	70	14	60	2000
9	75	16	65	2100
10	65	12	70	1800
11	35	14	12	2400
12	50	10	16	2100
13	25	6	60	2800
14	30	7	65	2300
15	45	9	70	2200
16	55	10	12	2700
17	70	12	16	1900

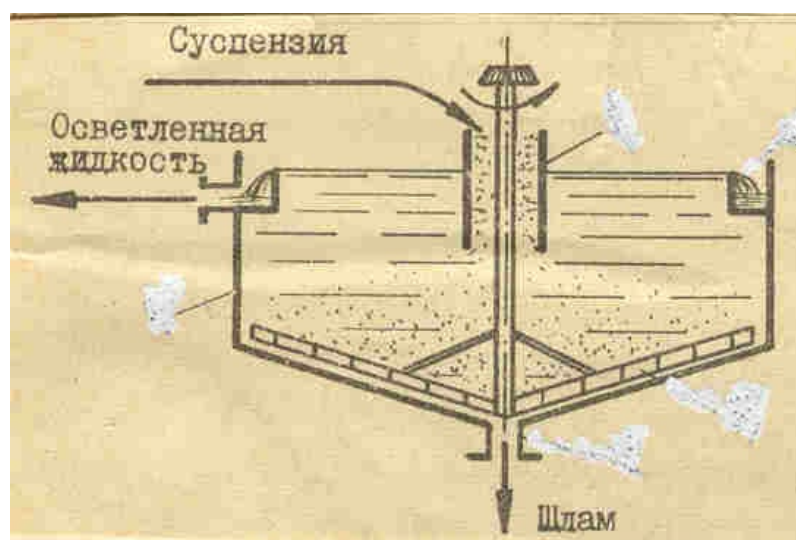


Рисунок 4.1 - Схема отстойника

Пример выполнения задания

Определить диаметр отстойника производительностью по водной суспензии $G_H = 80$ т/ч с содержанием твердой фазы $x_H = 8\%$ (масс.). Диаметр наименьших частиц, подлежащих осаждению, $d = 35$ мкм.

Температура суспензии 15°C . Влажность шлама (осадка) $v_{OC} = 70\%$. Плотность твердых частиц $\rho_T = 2710$ кг/м³, плотность воды при температуре 15°C , $\rho_{СРЕДЫ} = 1000$ кг/м³, динамический коэффициент вязкости $\mu_{СРЕДЫ} = 1,14 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Решение.

1. Определяют скорость осаждения частиц по формуле Стокса для ламинарного режима

$$v_{OC} = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_T - \rho_C)}{18 \cdot \mu_C} = \frac{9,81 \cdot (35 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2710 - 1000)}{18 \cdot 1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,001 \text{ м/с.}$$

2. Проверяют значение критерия Re (правильность выбора формулы Стокса)

$$Re = \frac{v_{OC} \cdot d \cdot \rho_C}{\mu_C} = \frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 35 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{1,14 \cdot 10^{-3}} = 0,0307$$

$Re < 0,2$, режим осаждения ламинарный.

3. Находят действительную скорость осаждения

$$v'_{OC} = \varphi \cdot v_{OC},$$

где $\varphi = 0,5$, учитывающий стесненность движения частиц и природу суспензии

$$v'_{OC} = 0,5 \cdot 0,001 = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

4. Рассчитывают площадь осаждения отстойника

$$F_{OC} = \frac{G_H \cdot \left(1 - \frac{x_H}{x_K}\right)}{3600 \cdot \rho_C \cdot v'_{OC}} = \frac{80 \cdot 10^3 \cdot \left(1 - \frac{8}{30}\right)}{3600 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3}} = 32,5 \text{ м}^2,$$

где $x_K = 100 - \omega_{ШЛ} = 100 - 70 = 30$ % (масс.).

5. Определяют диаметр отстойника, м

$$D = \sqrt{\frac{F}{0,785}} = \sqrt{\frac{32,5}{0,785}} = 6,4$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

Расчет осадительной центрифуги

Задание. Определить часовую производительность осадительной центрифуги по следующим данным: наименьший диаметр частиц $d = 5$ мкм, плотность частиц ρ_T , кг/м³, температура суспензии 30⁰С. Характеристики центрифуги: диаметр барабана D_B , мм, длина барабана L , мм, диаметр борта барабана $D_{БР}$, мм, частота вращения барабана n , об/мин. Цикл работы центрифуги составляет $\tau_{Ц}$, мин, из них $\tau_{П}$ - подача суспензии, 2 мин – разгрузка осадка.

Индивидуальные задания приведены в таблице 3

Таблица 3 – Индивидуальные задания

№ варианта	ρ_T , кг/м ³	D_B , мм	L , мм	$D_{БР}$, мм	$\tau_{Ц}$, мин
1	1800	830	420	510	21
2	1900	630	510	520	22
3	2100	730	470	490	23
4	2200	600	490	470	24
5	2300	800	530	500	25
6	1700	700	510	480	26
7	1600	750	560	520	27
8	1400	800	570	510	28
9	1500	810	600	540	29
10	2200	900	610	560	30
11	2300	1100	630	590	31
12	2100	1000	590	550	32
13	1800	700	510	490	25
14	1900	750	470	470	26
15	2100	800	490	500	27
16	2200	810	530	480	28
17	2300	900	510	520	29

Пример выполнения задания

Определить часовую производительность осадительной центрифуги по следующим данным: наименьший диаметр частиц $d = 5$ мкм, плотность частиц $\rho_T = 2000$ кг/м³, температура суспензии 30⁰С. Характеристики центрифуги: диаметр барабана $D_B = 800$ мм, длина барабана $L = 400$ мм, диаметр борта барабана $D_{БР} = 570$ мм, частота вращения барабана $n = 1200$ об/мин. Цикл работы центрифуги составляет $\tau_{Ц} = 22$ мин, из них $\tau_{П} = 20$ мин – подача суспензии, 2 мин – разгрузка осадка.

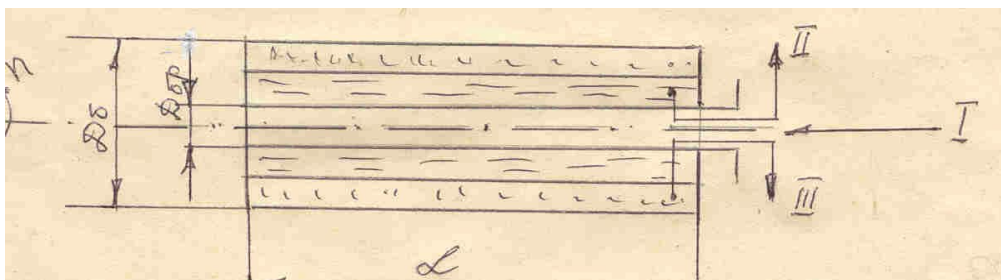


Рисунок 5.1 - Схема осадительной центрифуги

I – ввод суспензии; II – вывод осветленной жидкости; III – вывод осадка

Решение

Производительность центрифуги определяется по формуле

$$V_{\text{ч}} = 25,3 \cdot \eta \cdot L \cdot n^2 \cdot R_{\text{бp}}^2 \cdot v_{\text{ос}} \cdot k$$

1. Для этого сначала рассчитывается скорость осаждения частиц по формуле Стокса

$$v_{\text{ос}} = \frac{g \cdot d^2 \cdot (\rho_{\text{T}} - \rho_{\text{с}})}{18 \cdot \mu_{\text{с}}} = \frac{9,81 \cdot (5 \cdot 10^{-6})^2 \cdot (2000 - 1000)}{18 \cdot 0,8 \cdot 10^{-3}} = 1,7 \cdot 10^{-5} \text{ м/с}$$

где: $\mu_{\text{с}} = 0,8 \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_{\text{с}} = 1000$ кг/м³ – параметры воды соответственно динамический коэффициент вязкости и плотность при 30⁰С.

2. Находится скорость осаждения частиц под действием центробежной силы

$$v_{\text{ц}} = v_{\text{ос}} \cdot \frac{R_{\text{бp}} \cdot n^2}{900} = 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{0,285 \cdot 1200^2}{900} = 7,75 \cdot 10^{-3} \text{ м/с.}$$

3. Проверяется режим осаждения

$$\text{Re} = \frac{v_{\text{ц}} \cdot d \cdot \rho_{\text{с}}}{\mu_{\text{с}}} = \frac{7,75 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3}{0,8 \cdot 10^{-3}} = 0,048$$

$\text{Re} < 0,2$, режим ламинарный.

$$4. \quad V_{\text{ч}} = 25,3 \cdot 0,45 \cdot 0,4 \cdot 1200^2 \cdot 0,285^2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot 0,909 = 8,24 \text{ м}^3/\text{ч,}$$

причем принимается $\eta = 0,45$; $k = \tau_{\text{п}} / \tau_{\text{ц}} = 20/22 = 0,909$.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №6

Расчет рамного фильтр-пресса

Площадь поверхности фильтрования для разделения суспензии в количестве V_ϕ определяем, используя экспериментальные данные K и C . На основании эксперимента известно, что $K = 20 \cdot 10^{-4}$, м²/час, константа фильтрования $C = 1,4 \cdot 10^{-3}$, м³/м².

Продолжительность фильтрования τ_ϕ , час.

Количество фильтрата $V_\phi = V_c \cdot \tau_\phi$, м³.

Площадь поверхности фильтрования F_ϕ находим из уравнения (4.1):

$$V_\phi^2 + 2C \cdot F_\phi \cdot V_\phi = K \cdot F_\phi^2 \cdot \tau_\phi \quad (6.1)$$

Отсюда:

$$F_\phi = \frac{C \cdot V_\phi}{K \cdot \tau_\phi} + \sqrt{\left(\frac{C \cdot V_\phi}{K \cdot \tau_\phi} \right)^2 + \frac{V_\phi^2}{K \cdot \tau_\phi}}, \text{ м}^2$$

Размер плит и рам принимаем по заданию (А*В).

Толщина плиты и рамы 60 - 70 мм каждой.

Определяем число плит:

$$n = \frac{F_\phi}{2 \cdot f_{\text{пл}}} \quad (6.2)$$

где $f_{\text{пл}}$ - площадь поперечного сечения плиты, м²;

ϕ - коэффициент, принимается по заданию

Если в результате расчета получают более 50 плит, то устанавливают два или три фильтра.

Расчет диаметра патрубка для загрузки сортировки:

$$d = \sqrt{\frac{V_c}{3600 \cdot 0,785v}},$$

v - скорость жидкости, м/с.

Индивидуальные задания приведены в таблице 4.1.

Таблица 6.1 – Данные для расчета фильтр – пресса

№ варианта	$V_c, м^3$	ϕ	$\tau_{\phi, час}$	A*B,мм	$v, м/с$
1	2,0	1,05	3,0	500*500	0,5
2	2,1	1,06	2,8	630*630	0,55
3	2,2	1,07	2,6	1000*1000	0,6
4	2,3	1,08	2,5	500*500	0,7
5	2,4	1,09	2,4	630*630	0,65
6	2,5	1,10	2,8	1000*100	0,55
7	2,6	1,12	3,0	500*500	0,5
8	2,7	1,14	3,2	630*630	0,55
9	2,8	1,15	2,9	1000*1000	0,6
10	2,9	1,16	2,7	500*500	0,7
11	3,0	1,18	2,8	630*630	0,65
12	3,1	1,20	2,9	1000*1000	0,55
13	2,0	1,08	3,2	500*500	0,6
14	2,1	1,09	2,9	630*630	0,7
15	2,2	1,10	2,7	1000*100	0,65
16	2,3	1,12	2,8	500*500	0,55
17	2,4	1,08	2,9	630*630	0,5

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

- Рамный фильтр-пресс предназначен для очистки сахарного сиропа от активированного угля
- Производительность фильтра $G_c =$ кг/ч
- Площадь фильтрующей поверхности $F_{\phi} =$ м²
- Количество плит шт.
- Количество рам шт.
- Размеры плит, рам мм
- Фильтрующая перегородка-белтинг
- Плиты и рамы изготовлены из стали 12Х18Н9Т
- Станина изготовлена из чугуна
- Фильтрация проводится при постоянном давлении

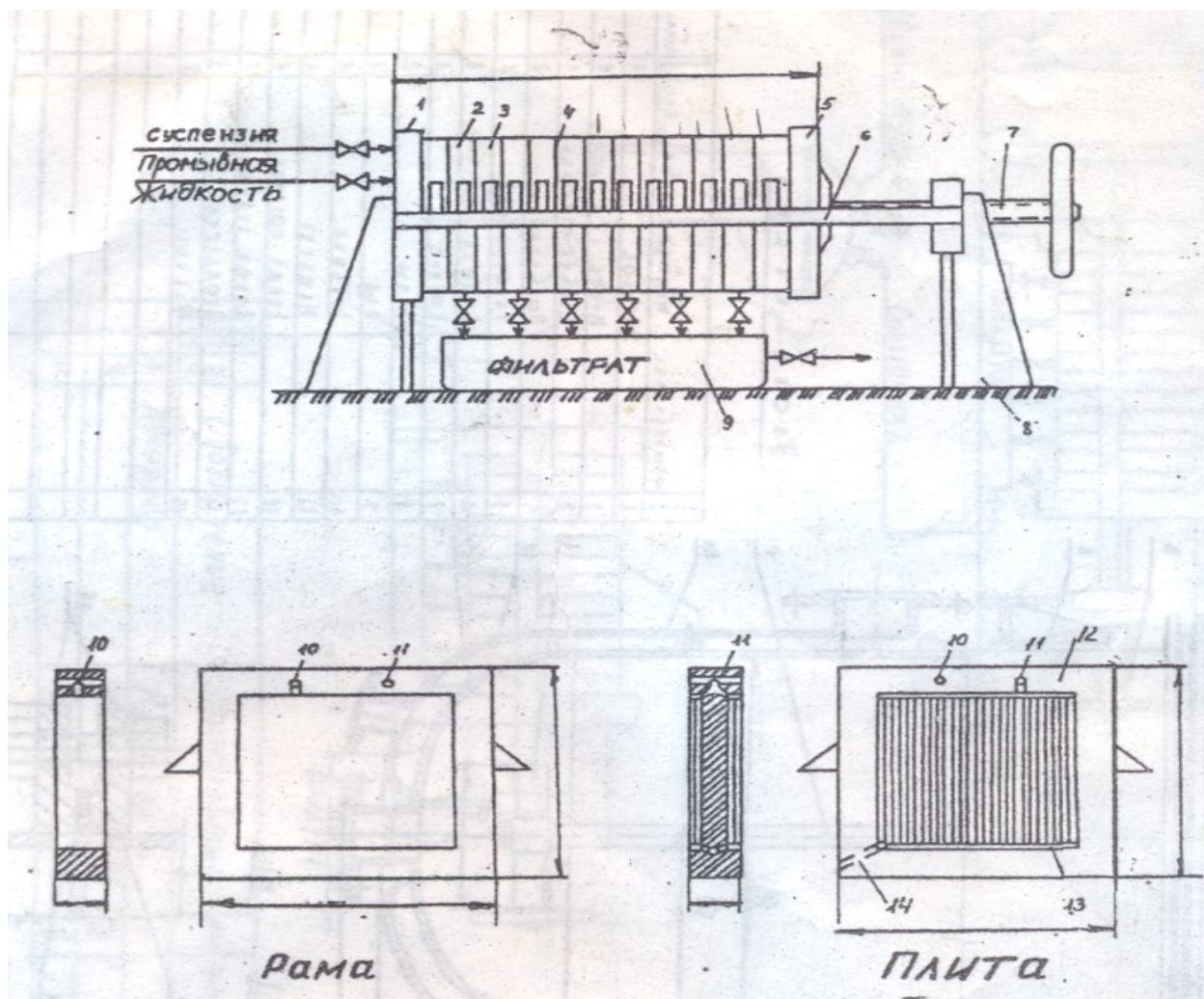


Рисунок 6.1 – Схема рамного фильтр - пресса

Практическое занятие №7

Расчет мешалок

Контрольные вопросы

1. С какой целью применяется перемешивание?
2. Какие существуют способы перемешивания в жидких средах?
3. Какие конструкции мешалок применяют в пищевой технологии?
4. От каких параметров зависит мощность, потребляемая мешалкой?
5. Почему в критериальное уравнение, описывающее процесс перемешивания, входят модифицированные критерия подобия?
6. Как определить мощность, потребляемую мешалкой?

Задача № 7.1.

С какой частотой будет вращаться пропеллерная мешалка диаметром d , мм при перемешивании суспензии плотностью ρ , кг/м³, если потребляемая мощность в рабочий период $N_p = 7$ кВт, $Re_m = 800$ (при этих условиях коэффициент мощности для пропеллерной мешалки будет равен 0,35).

Индивидуальные задания к задаче 7.1

№ варианта	d , мм	ρ , кг/м ³
1	300	1300
2	320	1250
3	330	1240
4	340	1230
5	350	1320
6	360	1340
7	370	1350
8	380	1100
9	390	1200
10	400	1240
11	290	1260
12	280	1280
13	300	1340
14	320	1350
15	330	1100
16	340	1200
17	350	1240

Решение

1. Определяется частота вращения пропеллерной мешалки по формуле

$$N_p = K_N \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho \Rightarrow n = \sqrt[3]{\frac{N_p}{K_N \cdot d^5 \cdot \rho}} = \sqrt[3]{\frac{7000}{0,35 \cdot 0,3^5 \cdot 1250}} = 18,8 \text{ об/с.}$$

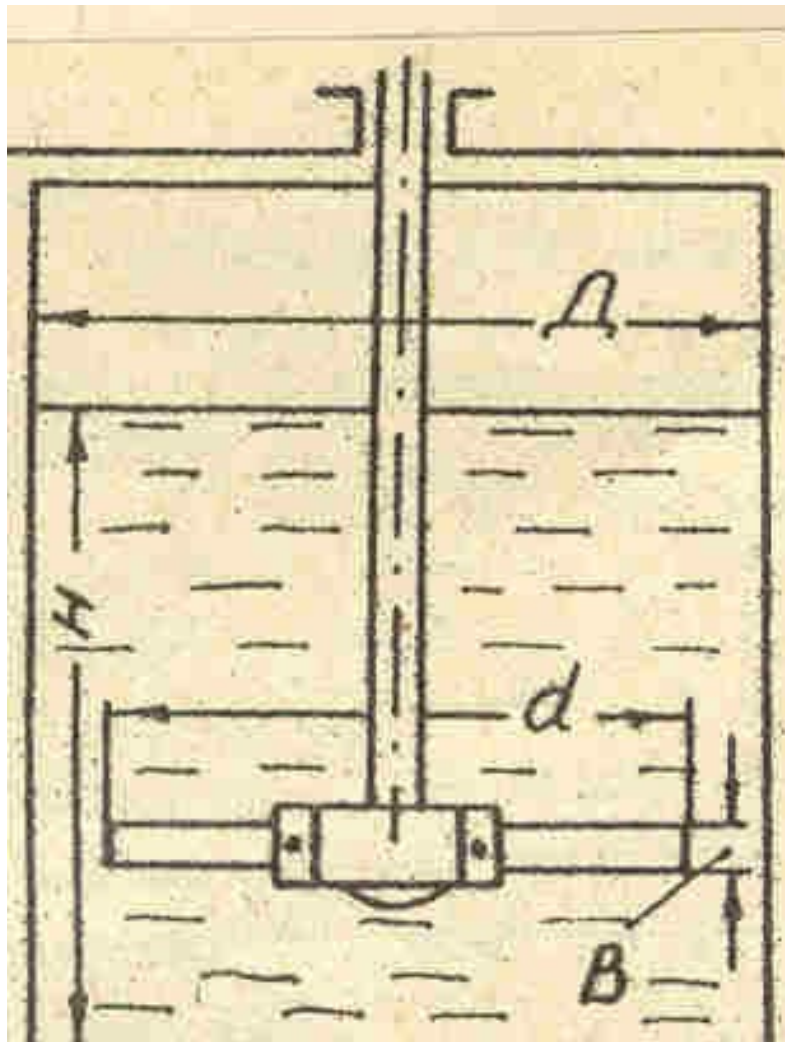


Рисунок 7.1 – Схема пропеллерной мешалки

Задача № 7.2

Рассчитать мощность, потребляемую турбинной мешалкой диаметром d , мм в рабочий период, для перемешивания суспензии плотностью ρ , кг/м³, μ , Па·с, если окружная скорость вращения мешалки ω , м/с.

Решение

1. Рассчитывается частота вращения мешалки $\omega = \pi \cdot d \cdot n$, отсюда

$$n = \frac{\omega}{\pi \cdot d} = \frac{7}{3,14 \cdot 0,3} = 7,4 \text{ об/с.}$$

2. Определяется модифицированный критерий Re

$$Re_M = \frac{\rho \cdot d \cdot n^2}{\mu} = \frac{1300 \cdot 0,3 \cdot 7,4^2}{0,12} = 179464$$

При данном значении Re_M и типе мешалки коэффициент мощности $K_N = 1,1$.

3. Затем рассчитывается мощность, потребляемая турбинной мешалкой

$$N_p = K_N \cdot d^5 \cdot n^3 \cdot \rho;$$

$$N_p = 1,1 \cdot 0,3^5 \cdot 7,4^3 \cdot 1300 = 1390 \text{ Вт.}$$

Индивидуальные задания к задаче 7.2

№ варианта	d, мм	ρ , кг/м ³	μ , Па·с	ω , м/с
1	300	1300	0,13	4
2	320	1250	0,12	5
3	330	1240	0,14	6
4	340	1230	0,15	7
5	350	300	0,16	8
6	360	320	0,13	9
7	370	330	0,14	10
8	380	340	0,15	5
9	390	350	0,16	6
10	400	1240	0,11	7
11	290	1260	0,12	8
12	280	1280	0,13	9
13	300	300	0,15	5
14	320	320	0,16	6
15	330	330	0,13	7
16	340	340	0,14	8
17	350	350	0,15	9

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №8

Расчет теплообменника «труба в трубе»

Задание

Определить необходимую поверхность теплопередачи теплообменника «труба в трубе» для нагревания G кг/ч продукта от t_1 °C до t_2 °C водяным паром давлением $P_{\text{п}}$ Мпа. Средняя теплоемкость массы C Дж/кг·K, коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту α_2 Вт/ м²·K, температура стенки $t_{\text{ст}}$ °C потери тепла в окружающую среду 3%.

Индивидуальные задания приведены в таблице 8.1

Таблица 8.1 – Индивидуальные задания

Вариант	G , кг/ч	C , Дж/кг·K	t_1	t_2	α_2 Вт/ м ² ·K	$t_{\text{п}}$ °C	$t_{\text{ст}}$ °C
1	1800	3600	21	73	750	81,33	56
2	2000	3800	24	69	760	85,94	57
3	2200	4200	8	72	780	89,95	58
4	2500	3400	28	74	800	93,50	60
5	3400	3200	23	85	820	96,71	61
6	3000	3600	25	90	840	99,62	62
7	2800	3800	21	100	880	104,80	63
8	3400	4200	23	102	750	109,31	64
9	1800	3600	16	104	760	113,31	65
10	1200	4000	8	72	780	116,93	66
11	2200	4500	28	74	800	120,23	67
12	1400	3500	24	82	820	99,62	62
13	2500	3400	21	73	840	104,80	63
14	3200	3200	24	69	780	109,31	64
15	4000	3600	18	90	800	113,31	65
16	4200	3800	22	92	820	116,93	66
17	5000	4000	23	88	840	120,23	67

Пример выполнения задания

Определить необходимую поверхность теплопередачи одноходового кожухотрубного теплообменника для нагревания томатной массы в количестве $G=4000$ кг/ч от $t_1 = 20^\circ\text{C}$ до $t_2 = 90^\circ\text{C}$ водяным паром температурой $t_{\text{п}} = 106^\circ\text{C}$.

Средняя теплоемкость массы $C = 4000$ Дж/кг·K, коэффициент теплоотдачи от стенки к продукту $\alpha_2 = 800$ Вт/ м²·K, $t_{\text{ст}} = 62,4$ °C потери тепла в окружающую среду принять равными 3%.

Решение

1. Определяется тепловая нагрузка теплообменника с учетом теплотерь

$$Q_{\tau} = 1,03 \cdot C \cdot \frac{G}{3600} \cdot (t_2 - t_1)$$

$$Q_{\tau} = 1,03 \cdot 4000 \cdot \frac{4000}{3600} \cdot (90 - 20) = 320444 \text{ Вт}$$

2. Находится средняя движущая сила процесса

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{с}} - \Delta t_{\text{м}}}{\ln \frac{\Delta t_{\text{с}}}{\Delta t_{\text{м}}}}$$

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{(106 - 20) - (106 - 90)}{\ln \frac{(106 - 20)}{(106 - 90)}} = 41,7^{\circ}\text{C} = 41,7 \text{ К}$$

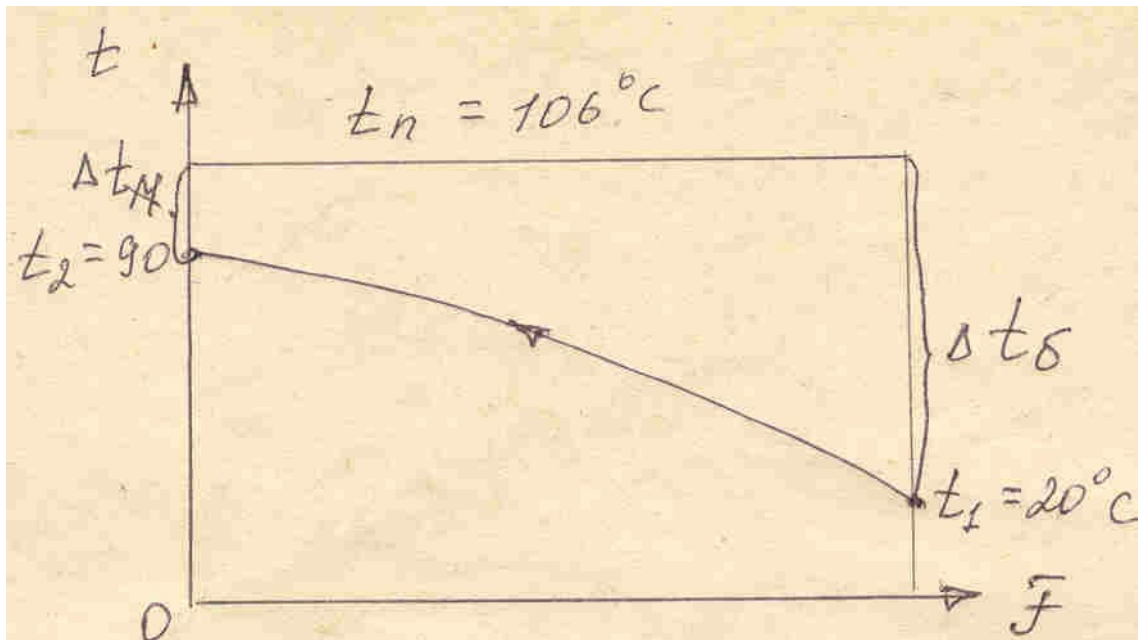


Рис.8 – Температурный график

3. Рассчитывается температура пленки конденсата

$$\Delta t = t_{\text{пл}} = t_{\text{п}} - t_{\text{сТ}} = 106 - 62,4 = 43,6^{\circ}\text{C}.$$

4. Определяется коэффициент теплоотдачи α_1 при конденсации водяного пара

$$\alpha_1 = 2,04 \cdot 4 \sqrt{\frac{\lambda^3 \cdot \rho^2 \cdot r}{\mu \cdot H \cdot \Delta t}},$$

где λ – теплопроводность пленки конденсата, Вт/мК;

ρ – плотность конденсата, кг/м³;

r – теплота конденсации, Дж/кг;

H – рабочая высота вертикальной трубки, м;

μ – динамический коэффициент вязкости конденсата Па·с;

$\Delta t(\Delta t_{\text{пл}})$ – разность температур пара и стенки, К.

Параметры λ , ρ , μ выбираются из таблицы физических свойств воды по температуре пленки.

Параметр r – из таблицы насыщенного водяного пара

Все параметры пленки конденсата принять по таблицам приложения 10.1.

Но так как, у нас температура пленки $t_{\text{пл}} < 120^\circ\text{C}$, то для определения коэффициента теплоотдачи α_1 можно воспользоваться формулой:

$$\alpha_1 = 1163 \cdot (1,9 + 0,04 \cdot t_{\text{пл}}) = 1163 \cdot (1,9 + 0,04 \cdot 43,6) = 4238 \text{ Вт/м}^2\text{·К}.$$

3. Находится коэффициент теплопередачи (Вт/м²·К)

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda_{\text{ст}}} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{4238} + \frac{2 \cdot 10^{-3}}{380} + \frac{1}{800}} = 670,5$$

3. Рассчитывается необходимая поверхность теплопередачи из основной кинетической закономерности

4.

$$Q_{\tau} = K \cdot F \cdot \Delta t_{\text{ср}};$$

$$F = \frac{Q_{\tau}}{K \cdot \Delta t_{\text{ср}}};$$

$$F = \frac{320444}{800 \cdot 41,7} = 9,6 \text{ м}^2.$$

Приложение 8.1

Параметры сухого насыщенного пара по линии насыщения (по давлениям)

Давление МПа	Температура насыщения °С	Удельный объем м³/кг	Плотность в кг/м³	Энтальпия кДж/кг		Теплота парообразования кДж/кг
				вода <i>i'</i>	пар <i>i''</i>	
P	t	v	ρ			r
0,005	32,89	28,24	0,03541	137,79	2560,9	2423,1
0,010	45,82	14,70	0,06805	191,84	2583,9	2392,1
0,014	52,57	10,69	0,09358	220,05	2596,1	2376,0
0,016	55,34	9,437	0,10600	231,63	2601,1	2369,5
0,018	57,82	8,448	0,1184	242,03	2605,4	2363,3
0,020	60,08	7,652	0,1307	251,48	2609,2	2357,7
0,025	64,99	6,201	0,1613	272,03	2617,6	2345,5
0,030	69,12	5,232	0,1911	269,30	2624,6	2335,3
0,040	75,87	3,999	0,2501	317,62	2636,3	2318,7
0,050	81,33	3,243	0,3083	340,53	2645,2	2304,7
0,060	85,94	2,734	0,3558	359,90	2653,1	2293,2
0,070	89,95	2,367	0,4224	376,79	2659,8	2283,1
0,080	93,50	2,089	0,4707	391,75	2665,3	2273,5
0,090	96,71	1,871	0,5345	405,19	2670,2	2265,1
0,10	99,62	1,696	0,5896	417,47	2674,9	2257,5
0,12	104,80	1,430	0,6992	439,34	2683,0	2243,6
0,14	109,31	1,237	0,8083	458,42	2690,1	2231,7
0,16	113,31	1,092	0,9160	475,41	2696,3	2220,8
0,18	116,93	0,9782	1,022	490,68	2701,8	2211,1
0,20	120,23	0,8860	1,129	504,74	2706,8	2202,0
0,22	123,27	0,8103	1,234	517,70	2711,0	2193,3
0,24	126,09	0,7469	1,338	529,90	2714,9	2185,0
0,26	128,73	0,6929	1,443	541,20	2713,9	2177,7
0,28	131,20	0,6463	1,547	551,70	2722,3	2170,7
0,30	133,54	0,6055	1,652	561,70	2752,5	2163,9
0,35	138,87	0,5241	1,908	584,40	2732,3	2147,9
0,40	143,62	0,4623	2,163	604,60	2738,7	2134,1
0,45	147,92	0,4139	2,416	623,00	2743,9	2120,9
0,50	151,84	0,3749	2,667	640,10	2748,8	2108,7
0,60	158,84	0,3156	3,169	670,60	2756,9	2086,3

Физические параметры воды (по линии насыщения)

t	ρ	Cp	λ	μ·10³
°С	кг/м³	кДж/кг·К	Вт/м·К	Па·с
0	1000	4,23	0,551	1,790
10	1000	4,19	0,575	1,310
20	998	4,19	0,599	1,000
30	996	4,18	0,618	0,804
40	992	4,18	0,634	0,657
50	988	4,18	0,648	0,549
60	983	4,18	0,659	0,470
70	978	4,19	0,668	0,406
80	972	4,19	0,675	0,355
90	965	4,19	0,680	0,315
100	958	4,23	0,682	0,283
120	943	4,27	0,685	0,238
140	923	4,27	0,685	0,201

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №9

Расчет кожухотрубного теплообменника

Исходные данные

Производительность G , кг/ч.

Температура продукта:

– начальная – t_n

– конечная – t_k

Давление греющего пара – P , бар

Продукт – по таблице 9.2

1 Выбор конструктивных элементов и скорости движения продукта

Предварительно принимается скорость движения продукта в пределах $w = 0,6 \dots 0,9$ м/с ,

определяется число труб в одном ходу

$$n_0 = 1,27 * G / (3600 * d_B^2 * \rho * w), \quad (9.1)$$

где ρ - плотность продукта при средней температуре, кг/м³;

G – производительность, кг/ч;

d_B – внутренний диаметр труб, $d_B = 25 \dots 40$ мм;

Общее число труб в пучке:

$$n = n_0 * Z_{Tr}, \quad (9.2)$$

где Z_{Tr} - количество ходов теплообменника, принимается $Z_{Tr} = 2, 4, 6, 8$

Выбирается схема расположения труб в трубной решетке (по правильным шестиугольникам или концентрическим окружностям) общее число труб округляем до ближайшего значения из таблицы 4 [1] и уточняется скорость движения продукта из формулы (1)

1.2 Определение средней разности температур

Средняя разность температур между паром и продуктом (температурный напор) определяется как средняя логарифмическая из значений Δt_6 и Δt_m при

$$\Delta t_6 / \Delta t_m \geq 2$$

по формуле

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 - \Delta t_m) / \ln \Delta t_6 / \Delta t_m \quad (9.3)$$

Если $\Delta t_6 / \Delta t_m < 2$, то с достаточной степенью точности можно пользоваться среднеарифметическим значением

$$\Delta t_{cp} = (\Delta t_6 + \Delta t_m) / 2 \quad (9.4)$$

1.3 Определение коэффициента теплоотдачи от стенки к нагреваемой жидкости

Для определения режима движения жидкости в трубах, вычисляется критерий подобия Рейнольдса

$$Re = w d_{\text{э}} / \nu, \quad (9.5)$$

где ν - кинематическая вязкость продукта, $\text{м}^2 / \text{с}$

$d_{\text{э}} = d_{\text{в}}$ – эквивалентный диаметр, м

Коэффициент теплоотдачи от стенки к нагреваемой жидкости определяется по следующим критериальным уравнениям:

а) для турбулентного режима движения продукта ($Re > 10000$) критериальное уравнение для Nu имеет вид:

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4}, \quad (9.6)$$

б) для переходного режима ($Re = 2300 \dots 10000$)

$$Nu = 0,008 \cdot Re^{0,9} \cdot Pr^{0,43}, \quad (9.7)$$

где Nu – критерий Нуссельта, $Nu = \alpha_2 d_3 / \lambda$

$Pr = \nu / a$ – критерий Прандтля

$a = \lambda / \rho c$ – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2 / \text{с}$

λ - коэффициент теплопроводности продукта, $\text{Вт} / \text{м} \cdot \text{К}$

$C_{\text{пр}}$ - удельная теплоемкость продукта, $\text{Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$

Все физические константы продукта берутся из таблиц при определяющей температуре

$$t_{\text{опр}} = t_{\text{н}} + t_{\text{к}} / 2$$

Затем вычисляется коэффициент теплоотдачи из формулы (9.7)

$$\alpha_2 = Nu \lambda / d_3$$

1.4 Определение коэффициента теплоотдачи от пара к стенке и коэффициента теплопередачи

Для определения коэффициента теплоотдачи при конденсации пара на наружной поверхности горизонтального пучка труб используется следующее критериальное уравнение

$$Nu = 0,72 \varepsilon (Ga Pr K)^{0,25}, \quad (9.8)$$

где ε - поправочный коэффициент, учитывающий компоновку поверхности нагрева;

$Ga = g l^3 / \nu^2$ - критерий Галилея;

$Pr = \nu / a$ - критерий Прандтля;

$K = r / c \Delta t_1$ - критерий конденсации (Кутателадзе);

$Nu = \alpha_1 l / \lambda$ - критерий Нуссельта

Здесь:

$g = 9,81 \text{ м / с}^2$ – ускорение силы тяжести;

c – удельная теплоемкость конденсата, Дж / кг К;

r – удельная теплота конденсации, Дж / кг;

ν – коэффициент кинематической вязкости пленки конденсата, $\text{м}^2 / \text{с}$;

a – коэффициент температуропроводности, $\text{м}^2 / \text{с}$;

λ – коэффициент теплопроводности пленки конденсата, Вт / м К;

α_1 – коэффициент теплоотдачи от пара к стенке, Вт / $\text{м}^2 \text{ К}$;

l – определяющий геометрический размер, м;

для горизонтального пучка труб $l = d_n$ – наружный диаметр труб пучка;

Δt_1 – температурный напор в пограничном слое, $^{\circ}\text{C}$

Все физические константы пленки конденсата принимаются при температуре пленки конденсата на поверхности пучка труб ($t_{\text{опр}} = t_s$)

Уравнение (11.8) решается относительно α_1 и приводится к виду:

$$\alpha_1 = A / \Delta t_1^{0,25}, \quad (9.9)$$

где A – симплекс параметров пленки конденсата, определяемый по формуле

$$A = 0,72 \varepsilon \lambda (g r / \nu a c d_n)^{0,25}, \quad (9.10)$$

Поскольку величина температурного напора в пограничном слое (Δt_1) неизвестна задаемся несколькими значениями Δt :

$$\Delta t_1' = 0,1 \Delta t_{\text{ср}}, \Delta t_1'' = 0,15 \Delta t_{\text{ср}}, \Delta t_1''' = 0,2 \Delta t_{\text{ср}}$$

Определение коэффициента теплопередачи

$$K = 1 / (1 / \alpha_1 + 1 / \alpha_2 + R_{\text{ст}}), \quad (9.11)$$

где: $R_{\text{ст}}$ – термическое сопротивление стенки, $\text{м}^2 \text{ К} / \text{Вт}$

$$R_{\text{ст}} = \delta_{\text{ст}} / \lambda_{\text{ст}} + \delta_{\text{заг}} / \lambda_{\text{заг}}$$

$\delta_{\text{ст}}$ – толщина стенки труб, м, $\delta_{\text{ст}} = 1,5 \dots 2,5 \text{ мм}$;

$\delta_{\text{заг}}$ – толщина слоя накипи, м, $\delta_{\text{заг}} = 0,5 \dots 1,0 \text{ мм}$;

$\lambda_{\text{ст}}, \lambda_{\text{заг}}$ – теплопроводность, соответственно стали и слоя накипи

Для принятых приближений определяем коэффициент теплопередачи K по формуле (11.11), затем удельный тепловой поток

$$q = \Delta t_1 \alpha_1, \quad (9.12)$$

$$\Delta t = q / K, \quad (9.13)$$

Вычисленные значения сводим в таблицу 11.1

Таблица 9.1 – Результаты расчета

Определяемая величина	Размерность	Температурный напор		
		$\Delta t_1' = 0,1\Delta t_{cp}$	$\Delta t_1'' = 0,15\Delta t_{cp}$	$\Delta t_1''' = 0,2\Delta t_{cp}$
α_1	Вт / м ² К			
K	Вт / м ² К			
q	Вт / м ²			
Δt	°C			

По полученным данным строим нагрузочную характеристику в виде графика функции $\Delta t = f(q)$ и по известной величине Δt_{cp} определяем значение удельного теплового потока (рисунок 9.1)

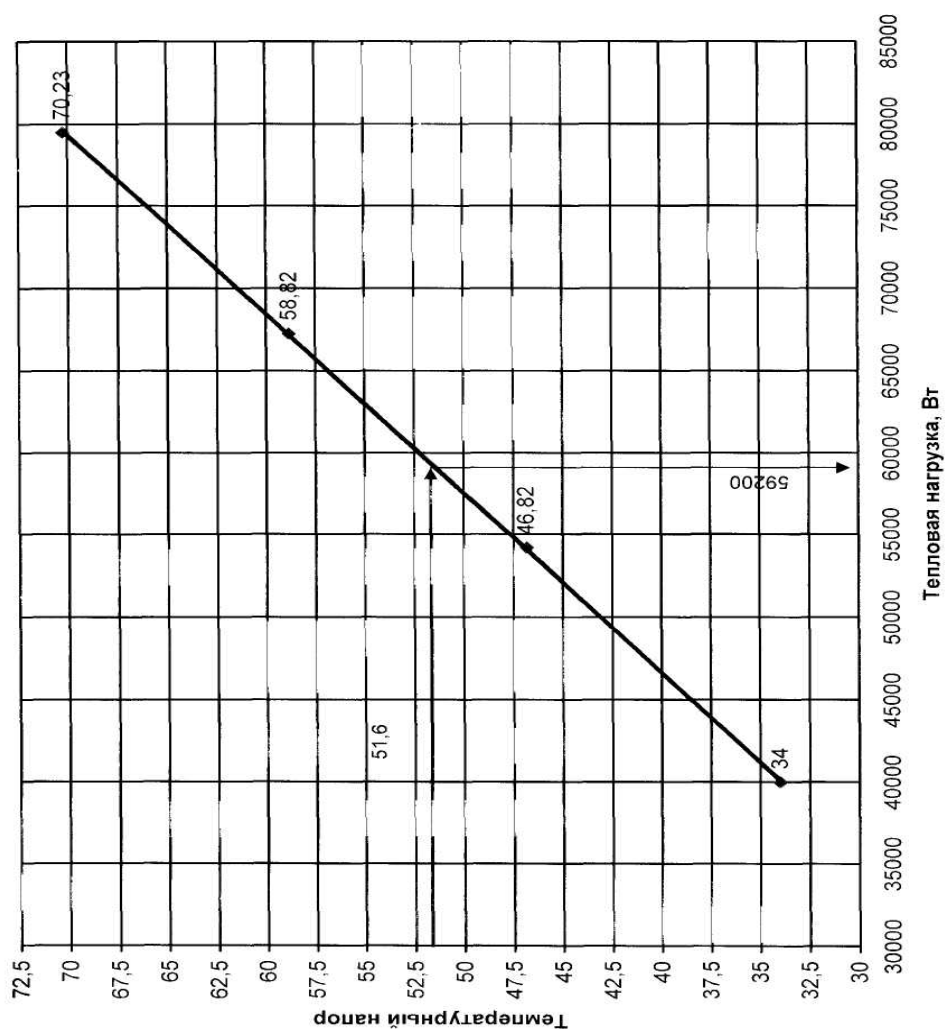


Рисунок 9.1 – Определение полезной разности температур

Определяется коэффициент теплопередачи по формуле

$$K = q / \Delta t_{cp}, \text{ Вт / м}^2 \text{ К}, \quad (9.14)$$

Определение тепловой нагрузки аппарата

Тепловая нагрузка определим по уравнению теплового баланса:

$$Q = G C_{пр} (t_k - t_n), \quad (9.15)$$

где G - производительность теплообменника, кг/с;

6 Определение поверхности теплообмена и основных размеров теплообменника

Поверхность теплообмена определяется по формуле:

$$F = Q / K \Delta t_{cp}, \text{ м}^2, \quad (9.16)$$

Длина труб в пучке по формуле

$$L = F / \pi d_p n, \text{ м}, \quad (9.17)$$

n – общее число труб в пучке

В качестве расчетного диаметра принимают:

при $\alpha_1 > \alpha_2$ $d_p = d_v$

при $\alpha_1 = \alpha_2$ $d_p = (d_v + d_n) / 2$

при $\alpha_1 < \alpha_2$ $d_p = d_n$

Диаметр кожуха теплообменника по формуле

$$D_k = t - (b - 1) + 4 d_n, \text{ м} \quad (9.18)$$

t- шаг расположения труб по трубной решетке, м,

$t = (1,3 \dots 1,4) d_n$

b - число труб по диагонали наибольшего шестиугольника

Таблица 9.2 – Индивидуальные задания

Вариант	Продукт	СВ, %	G, кг/ч	t_n	t_k	P, бар
1	Сахароза	16	18000	24	86	1,4
2	Сахароза	18	20000	23	88	1,6
3	Сахароза	20	22000	27	87	1,3
4	Поваренная соль	5	25000	27	75	1,8
5	Поваренная соль	10	34000	23	100	2,5
6	Поваренная соль	15	30000	25	90	2,2
7	Уксусная кислота	100	28000	21	100	2,3
8	Уксусная кислота	100	34000	23	104	2,5
9	Уксусная кислота	100	18000	16	105	3,1
10	Молоко	12,5	12000	8	72	1,1
11	Молоко	9,0	10000	28	74	1,2
12	Молоко	9,0	14000	24	82	1,3
13	Этанол	20	25000	21	73	1,1
14	Этанол	40	32000	24	69	1,1
15	Молочная сыворотка	6	12000	8	76	1,05
16	Молочная сыворотка	6	14000	6	76	1,05
17	Молочная сыворотка	6	15000	4	75	1,05

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 10

Расчет пластинчатого теплообменника

Цель работы: изучить устройство, комплектность пастеризационно-охладительных установок; принцип их работы; составить принципиальную схему движения сырья, греющей и охлаждающей жидкости в аппарате; рассчитать потребность тепла для пастеризации и холода для охлаждения продукта; рассчитать экономию тепла и холода в секции регенерации; по заданным параметрам определить поверхность нагрева каждой секции и рассчитать количество пластин для них.

Исходные данные:

Производительность установки:

Вид сырья:

Сухие вещества сырья, %

Начальная температура сырья (t_n), °C

Температура пастеризации (t_p), °C

Конечная температура сырья (t_k), °C

Теплоемкость сырья -

Теплоноситель - горячая вода

Начальная температура горячей воды ($t_{вгн}$), °C

Хладоагент - холодная вода и рассол

Начальная температура холодной воды ($t_{вхн}$), °C

Начальная температура рассола ($t_{рн}$), °C

Порядок выполнения задания:

1. Приводится описание пастеризационно-охладительных установок, их назначение, преимущества и недостатки, перечисляется оборудование, входящее в комплект установки, и указывается его назначение.
2. Составляется график температур.

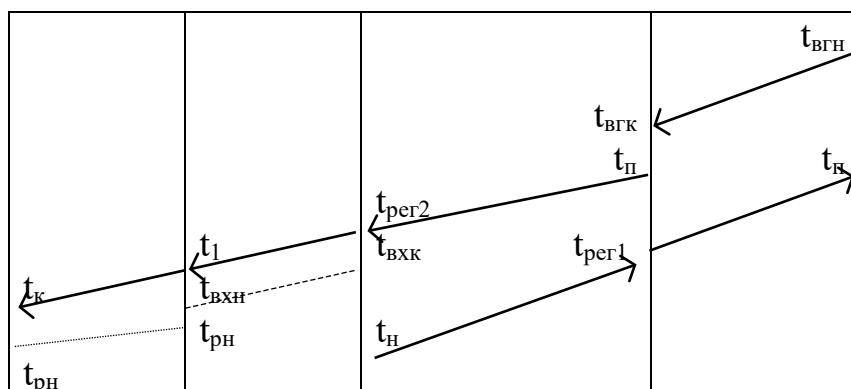


Рисунок 10.1 - График температур установки

3. Определяются недостающие температуры - температура сырья на выходе из секции регенерации при подогреве (t_{per1}), температура сырья на выходе из секции регенерации при охлаждении (t_{per2}), температура сырья при выходе из секции охлаждения водой (t_1) температура воды горячей конечная ($t_{вгк}$), температура холодной воды конечная ($t_{вхк}$), температура рассола конечная ($t_{рк}$).

Температура сырья на выходе из секции регенерации (t_{per1}) рассчитывается на основании коэффициента регенерации ($K_{рег}$), который представляет собой отношение количества тепла, отданного холодному сырью горячим в секции регенерации ($Q_{рег}$), к общему количеству тепла ($Q_{п}$), необходимому для нагрева сырья от начальной температуры до температуры пастеризации

$$K_{per} = \frac{Q_{per}}{Q_{п}} = \frac{G \cdot c \cdot (t_{per} - t_{н})}{G \cdot c \cdot (t_{п} - t_{н})} = \frac{t_{per1} - t_{н}}{t_{п} - t_{н}}$$

где $Q_{рег}$ - количество тепла, воспринятое холодным сырьем в секции регенерации, Дж; $Q_{п}$ - количество тепла, необходимое для пастеризации сырья, Дж; G - производительность аппарата, кг/ч; c - удельная теплоемкость сырья, Дж/кг *град.

Каждому теплообменному аппарату соответствует свой коэффициент регенерации, который колеблется в пределах от 0,6 до 0,82. Принимаем коэффициент регенерации в установленных пределах и определяем температуру сырья на выходе из секции регенерации (t_{per})

$$t_{per1} = t_{н} + K_{рег} * (t_{п} - t_{н})$$

Температура пастеризованного сырья на выходе из секции регенерации (t_{per2}) определяется из уравнения теплового баланса в секции регенерации:

$$G_1 * c * (t_{per1} - t_{н}) = G_2 * c * (t_{п} - t_{per2})$$

G_1 может быть равен G_2 (как в нашем варианте), а может быть и не равен ему. Для нашего варианта при равенстве G и теплоемкости уравнение примет вид: $t_{per1} - t_{н} = t_{п} - t_{per2}$

Температура конечная для горячей воды определяется также из уравнения теплового баланса в секции пастеризации:

$$G * c * (t_{п} - t_{per}) = G_{в} * c_{в} * (t_{вгн} - t_{вгк})$$

Отношение $G_{в}/G = n$ называется кратностью воды и принимается равным 3-4. Отсюда $G_{в} = G \cdot n$. Подставив это значение в формулу материального баланса, легко найдем конечную температуру горячей воды:

$$t_{вгк} = t_{вгн} - [c/(n * c_{в})] * (t_{п} - t_{per})$$

Конечные температуры воды холодной и рассола рассчитываются аналогично из формул теплового баланса в секции охлаждения холодной водой и рассолом.

$$t_{вхк} = t_{вн} + [c/(n * c_{в})] * (t_{per} - t_1)$$

Кратность для холодной воды принять равной 3, температуру на выходе молока из секции охлаждения водой принять равной на 2-3 градуса выше начальной температуры холодной воды.

$$t_{pk} = t_{pn} + (c/(n * c_p)) * (t_1 - t_k)$$

Кратность для рассола принять равной 2.

4. Рассчитать поверхность нагрева для каждой секции по формуле:

$$F_c = \frac{G \cdot c \cdot (t_k - t_n)}{K \cdot \Delta T} \text{ м}^2$$

где F_c - поверхность нагрева секции, м²,

G - производительность аппарата, кг/с;

c - удельная теплоемкость сырья, Дж/ кг * град;

K - коэффициент теплопередачи, Вт/м² * град (для пластинчатых теплообменников он равняется 2000 - 2500, Вт/ м² * град);

ΔT - средняя логарифмическая разность температур секции.

Среднюю логарифмическую разность температур для каждой секции можно рассчитать по формуле:

$$\Delta t_{cp} = \frac{\Delta t_{\sigma} - \Delta t_m}{2,3 \cdot \lg \frac{\Delta t_{\sigma}}{\Delta t_m}}$$

где Δt_{σ} - большая разность температур между теплоносителем и продуктом;

Δt_m - малая разность температур между теплоносителем и продуктом.

Пример расчета разности температур показан ниже.

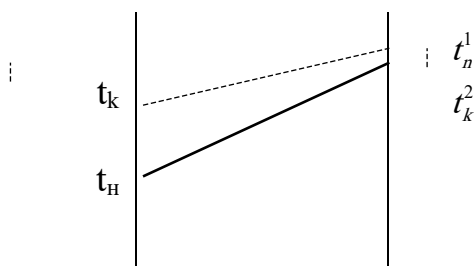


Рисунок 10.2 - График к расчету Δt

$$\Delta t_{\sigma} = t_k - t_n; \Delta t_m = t_n^1 - t_k^2.$$

5. Определить количество пластин в каждой секции:

$$n = \frac{F_c}{f} + 1$$

где f - теплопередающая поверхность одной пластины, м².

6. Рассчитать общую поверхность теплообменника и привести характеристику аппарата по полученным данным.

Общую поверхность теплообмена определяют по формуле:

$$F = F_{\Pi} + F_{\text{рег}} + F_{\text{во}} + F_{\text{ро}}, \text{ м}^2.$$

Расчетные данные представить в виде таблицы.

Таблица 10.1 – Сводные данные расчета

Показатели	Расчетные данные
Производительность, кг/ч	
Температура : начальная сырья пастеризации конечная сырья	
Коэффициент регенерации	
Температура: горячей воды начальная холодной воды начальная рассола начальная	
Количество пластин в секциях пастеризации регенерации охлаждения водой охлаждения рассолом	
Общая поверхность теплообмена, м ²	

В дальнейшем по этим данным можно подобрать необходимую охлаждающе - пастеризационную установку, которые выпускаются серийно.

7. Рассчитать потребность в тепле для пастеризации сырья, холоде - для его охлаждения согласно индивидуальному заданию. Оценить экономию тепла и холода при использовании пастеризационно - охлаждающей установки.

Таблица 10.2 – Индивидуальные задания для расчетов

№ вар	Прои звод. т/ч	Вид сырья	С.В., %	t _н , °C	t _п , °C	t _к , °C	с, Дж/кг град	t _{вгн} , °C	t _{вхн} , °C	t _{рн} , °C
1	25	бульон костный	0,2	10	85	5	4063	92	15	-2
2	5	то же	0,3	9	85	5	4031	90	12	-5
3	15	то же	0,4	8	85	5	3964	93	14	-4
4	10	то же	0,5	7	85	5	3921	91	13	-2
5	15	то же	0,6	6	85	5	3856	94	12	-3
6	10	молоко обезж	9,0	5	92	5	3935	98	14	-6
7	15	молоч сывор	6,0	4	75	5	4074	85	13	-5
8	5	плазма крови	10,0	5	75	5	3955	83	15	-4
9	5	барда паточ	10,0	10	85	5	3950	95	16	-5
10	25	хлор. кальц	5,0	7	90	5	3902	97	15	-4
11	15	то же	7,0	8	90	5	3764	97	14	-3
12	10	то же	10,0	9	90	5	3563	96	14	-5
13	10	Молоко обезж	9,0	8	87	5	3935	90	13	-5
14	12	молоч сывор	6,0	6	75	5	4072	86	14	-4
15	5	плазма крови	8,0	4	75	5	3955	90	14	-3
16	5	барда паточ	12,0	8	87	5	3950	95	16	-5
17	10	Молоко обезж	14,0	6	87	5	3935	90	14	-3

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 11

Расчет однокорпусного вакуум-аппарата

Задание

Определить расход теплоты и греющего пара на выпаривание раствора в количестве G_1 кг/ч, его начальная концентрация $x_1\%$ масс., конечная $x_2\%$ масс. Температура поступающего раствора t_1 °С, температура кипения раствора t_2 °С, удельная теплоемкость раствора C Дж/кг·К. Давление в аппарате $P_{вг}$ МПа. Давление греющего пара $P_{г}$ МПа.

Таблица 11.1 – Индивидуальные задания для расчетов

Вариант	G , кг/ч	C , Дж/кг·К	t_1	t_2	$P_{г}$ МПа	$P_{вг}$ МПа	$x_1\%$ масс.	$x_2\%$ масс.
1	18000	3600	35	73	0,06	0,016	6	56
2	20000	3800	40	75	0,07	0,017	8	57
3	22000	4200	48	78	0,08	0,018	10	58
4	25000	3400	38	74	0,09	0,019	12	60
5	34000	3200	42	85	0,10	0,020	14	61
6	30000	3600	45	90	0,12	0,016	16	62
7	28000	3800	32	80	0,14	0,017	18	63
8	34000	4200	38	82	0,16	0,018	20	64
9	18000	3600	46	84	0,18	0,019	6	65
10	12000	4000	44	72	0,20	0,020	8	66
11	10000	4500	48	74	0,10	0,016	10	67
12	14000	3500	34	82	0,12	0,017	12	62
13	25000	3400	42	73	0,14	0,018	14	63
14	32000	3200	24	79	0,16	0,019	16	64
15	40000	3600	18	80	0,18	0,020	18	65
16	42000	3800	22	92	0,20	0,016	20	66
17	50000	4000	23	88	0,10	0,018	22	67

Пример решения задания

Определить расход теплоты и греющего пара на выпаривание раствора в количестве $G_1 = 20000$ кг/ч, его начальная концентрация $x_1 = 25\%$ масс., конечная $x_2 = 45\%$ масс. Температура поступающего раствора $t_1 = 40^\circ\text{C}$, температура кипения раствора $t_2 = 85^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость раствора 3450 Дж/кг·К. Давление в аппарате $P_{вг} = 0,019$ МПа. Давление греющего пара $P_{г} = 0,14$ МПа.

Решение.

1. Масса выпаренной воды находится по формуле

$$W = G_1 \cdot \left(1 - \frac{x_1}{x_2}\right) = 20000 \cdot \left(1 - \frac{25}{45}\right) = 8800 \text{ кг/ч.}$$

2. Масса упаренного раствора определяется по формуле

$$G_1 = G_2 + W; \quad G_2 = G_1 - W \\ G_2 = 20000 - 8800 = 11200 \text{ кг/ч.}$$

3. Расход теплоты на выпаривание определяется из уравнения

$$Q_\tau = G_1 \cdot C \cdot (t_2 - t_1) + W \cdot (i_{\text{BT}} - C_{\text{В}} \cdot t_2),$$

где $i_{\text{BT}} = 2358 \cdot 10^3$ Дж/кг·К - энтальпия выбирается из таблиц термодинамических свойств водяного пара ($P_{\text{BT}} = 0,019$ Мпа) (Приложение 1).

$$Q_\tau = \frac{20000}{3600} \cdot 3450 \cdot (85 - 40) + \frac{8800}{3600} \cdot (2358 \cdot 10^3 - 4190 \cdot 85) = 5722614 \text{ Вт.}$$

4. Расход греющего пара находится по формуле

$$D = \frac{Q_\tau}{r} = \frac{5722614}{2208 \cdot 10^3} = 2,59 \text{ кг/с} = 9324 \text{ кг/ч.}$$

где $C_{\text{В}} = 4190$ Дж/кг·К – удельная теплоемкость воды; $r = 2208 \cdot 10^3$ Дж/кг - теплота парообразования греющего пара, выбирается из таблицы термодинамических свойств по давлению P_r .

Контрольные вопросы

1. В чем заключается процесс выпаривания?
2. Какими методами в промышленности осуществляют выпаривание?
3. Из какого уравнения определяется расход греющего пара?
4. Чем отличается полезная разность температур от общей разности?
5. За счет чего происходит экономия греющего пара в многокорпусных выпарных установках?
6. В чем заключается расчет выпарных установок?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 12

Расчет многокорпусного вакуум-аппарата

Задание

Выполнить расчет 2-х корпусного циркуляционного вакуум-аппарата для выпаривание раствора в количестве G_1 кг/ч, его начальная концентрация $X_1\%$ масс., конечная $X_2\%$ масс.

Температура поступающего раствора $t_1^0\text{C}$, температура кипения раствора $t_2^0\text{C}$, удельная теплоемкость раствора C Дж/кг·К. Давление греющего пара P_{Γ} МПа.

Таблица 12.1 – Индивидуальные задания для расчетов

Вариант	G , кг/ч	C , Дж/кг·К	$t_{\text{н}}$	t_1	P_{Γ} МПа	$X_1\%$ масс.	$X_2\%$ масс.
1	18000	3600	35	73	0,06	6	56
2	20000	3800	40	75	0,07	8	57
3	22000	4200	48	78	0,08	10	58
4	25000	3400	38	74	0,09	12	60
5	34000	3200	42	85	0,10	14	61
6	30000	3600	45	90	0,12	16	62
7	28000	3800	32	80	0,14	18	63
8	34000	4200	38	82	0,16	20	64
9	18000	3600	46	84	0,18	6	65
10	12000	4000	44	72	0,20	8	66
11	10000	4500	48	74	0,10	10	67
12	14000	3500	34	82	0,12	12	62
13	25000	3400	42	73	0,14	14	63
14	32000	3200	24	79	0,16	16	64
15	40000	3600	18	80	0,18	18	65
16	42000	3800	22	92	0,20	20	66
17	50000	4000	23	88	0,10	22	67

Пример решения задания

Определить расход теплоты и греющего пара на выпаривание раствора в количестве $G_1 = 4000$ кг/ч, его начальная концентрация $X_1 = 5,5\%$ масс., конечная $X_2 = 62\%$ масс. Температура поступающего раствора $t_n = 40^\circ\text{C}$, температура кипения раствора в первом корпусе $t_1 = 65^\circ\text{C}$, удельная теплоемкость раствора $C = 3450$ Дж/кг·К. Давление в аппарате. Давление греющего пара $P_\Gamma = 0,06$ Мпа

Решение

Тепловой расчет аппарата

1. Производительность по выпаренной воде $W = 4000/3600 = 1,111$ кг/с

Из уравнения материального баланса определяем производительность установки по исходной среде (W , кг/с):

$$W = G_n \cdot (1 - B_n / B_k) \quad 12.1$$

$$G_n = 1,111 / (1 - 5,5 / 62) = 1,219 \text{ кг/с}$$

Общее количество выпаренной воды состоит из суммы выпаренной воды в каждом корпусе: $W = W_1 + W_2$

Принимаем соотношение выпаренной воды по корпусам:

$$W_1 : W_2 = 1 : 1,1.$$

Воду, выпаренную в первом корпусе, определяем по уравнению:

$$W_1 = W \cdot 1,0 / (1 + 1,1) = 1,111 \cdot 1,0 / (1 + 1,1) = 0,529 \text{ кг/с} \quad 12.2$$

Воду, выпаренную во втором корпусе, определяем по уравнению:

$$W_2 = W \cdot 1,1 / (1 + 1,1) = 1,111 \cdot 1,1 / (1 + 1,1) = 0,582 \text{ кг/с}$$

Концентрацию упаренного раствора после первого корпуса определяем по формуле:

$$B_{k1} = G_n \cdot B_n / (G_n - W_1) = 1,219 \cdot 5,5 / (1,219 - 0,529) = 9,72 \%$$

Концентрацию упаренного раствора после второго корпуса определяем по формуле:

$$B_{k2} = G_n \cdot B_n / (G_n - W_1 - W_2) \quad 12.3$$

$$B_{k2} = 1,219 \cdot 5,5 / (1,219 - 0,529 - 0,582) = 62,08 \%$$

Соотношение коэффициентов теплопередачи по корпусам принимаем:

$$K_1 : K_2 = 1 : 0,7$$

Для аппаратов циркуляционного типа с принудительной циркуляцией сгущаемого раствора по таблице 1 (приложение А, [13]) $K_1 = 2000$ Вт/(м² · К).

Тогда $K_2 = 1400$ Вт/(м² · К).

Режимы сгущения по корпусам выбираем с учетом состава и свойств концентрируемой среды: первый корпус - 65 °С; второй корпус - 60 °С. Температуру греющего пара в первом корпусе (при $P_{г} = 0,06$ Мпа) $t_{гп} = 85$ °С, во втором - 64 °С.

По таблице насыщенного пара находим скрытую теплоту парообразования (r) для каждого корпуса:

$$r_1 = 2295 \text{ кДж / кг}; r_2 = 2616 \text{ кДж / кг}$$

Рассчитаем тепловую нагрузку по корпусам, используя формулы:

$$Q_1 = W_1 * r_1, \quad 12.4$$

$$Q_2 = W_2 * r_2, Q_1 = W_1 * r_1, \quad 12.5$$

$$Q_1 = 0,529 * 2295 = 1214 \text{ кДж / с};$$

$$Q_2 = 0,582 * 2616 = 1522,5 \text{ кДж / с};$$

Суммарно полезную разность по корпусам рассчитаем по формуле, приняв суммарные потери температуры по корпусам 4 °С:

$$\Delta t_{п} = t_{гп} - t_{вп2} - \sum \Delta t_{пп}, \quad 14.6$$

$$\Delta t_{п} = 85 - 60 - 4 = 11 \text{ °С}.$$

Принимаем, что поверхности нагрева всех корпусов равны между собой. Тогда полезную разность температур определяем по формулам:

$$\Delta t_{п1} = (\Delta t_{п} * Q_1 / K_1) / (Q_1 / K_1 + Q_2 / K_2) \quad 12.7$$

$$\Delta t_{п1} = (\Delta t_{п} * Q_2 / K_2) / (Q_1 / K_1 + Q_2 / K_2), \quad 12.8$$

$$\Delta t_{п1} = (11 * 1214 / 2000) / (1214 / 2000 + 1522,5 / 1400) = 3,94 \text{ °С}$$

$$\Delta t_{п1} = (11 * 1522,5 / 1400) / (1214 / 2000 + 1522,5 / 1400) = 7,06 \text{ °С}$$

Определим расчетные площади поверхности нагрева по корпусам по формулам:

$$F_{п1} = Q_1 / (K_1 * \Delta t_{п1}), \quad 12.9$$

$$F_{п2} = Q_2 / (K_2 * \Delta t_{п2}), \quad 12.10$$

$$F_{п1} = 1214 / 2,0 * 3,94 = 154,06 \text{ м}^2;$$

$$F_{п2} = 1522,5 / 1,4 * 7,06 = 154,04 \text{ м}^2$$

Максимальную расчетную площадь поверхности нагрева получаем путем увеличения расчетной площади на 25 %:

$$F_{р.м.} = (154,06 + 154,04) * 1,25 = 385,12 \text{ м}^2.$$

Выбираем вакуум-выпарную установку по максимальной площади поверхности нагрева (предположим, что выбрали аппарат с поверхностью нагрева 400 м²).

Рассчитаем фактическую производительность вакуум-выпарной установки по формуле:

$$G_{\phi} = G_n \cdot F_B / F_{p.m.}, \quad 12.11$$

$$G_{\phi} = 1,219 \cdot 400 / 385,12 = 1,266 \text{ кг / с.}$$

Фактический расход греющего пара рассчитываем по формуле:

$$D_{гр.п.} = W_1 \cdot F_B / F_{p.m.}, \quad 12.12$$

$$D_{гр.п.} = 0,529 \cdot 3600 \cdot 400 / 385,12 = 1978 \text{ кг / ч}$$

Удельный расход греющего пара определяем по формуле:

$$d = D_{гр.п.} / W, \quad 12.13$$

$$d = 1978 / 1,111 \cdot 3600 = 0,494 \text{ кг / кг}$$

Расход тепла в подогревателе для подогрева среды перед подачей её на сгущение рассчитываем по формуле:

$$Q_{II} = 3600 \cdot G_{\phi} \cdot c \cdot (t_2 - t_1), \quad 12.14$$

$$Q_{под} = 1,266 \cdot 4,078 \cdot 3600 \cdot (67 - 17) = 929294,64 \text{ кДж / ч}$$

Количество пара, поступающего в конденсатор из второго корпуса, рассчитываем по формуле:

$$D = W_2 \cdot F_B / F_{pm} = 0,582 \cdot 400 / 385,12 = 0,604 \text{ кг / с}$$

Конструктивный расчет

Расчет основных размеров греющей камеры

Общее число греющей камеры находят по формуле:

$$n = F_{pm1} / \pi \cdot d_n \cdot l \quad 12.15$$

где d_n – наружный диаметр кипятильных труб;

l – длина пучка кипятильных труб.

По данным циркуляционного аппарата Wiegand принимаем

$$d_n = 38 \text{ мм}; l = 1700 \text{ мм}$$

$$n = 200 / 3,1415 \cdot 0,038 \cdot 1,7 = 986 \text{ шт}$$

Общее число труб размещают на трубной решетке по периметру правильных шестиугольников с шагом, определяемым по формуле:

$$t = (1,3 \div 1,4) d_n = 1,4 \cdot 0,038 = 0,054 \text{ м} \quad 12.16$$

При размещении труб в аппаратах для сгущения молока, сыворотки можно не учитывать циркуляционную трубу.

Внутренний диаметр корпуса греющей камеры определяется по формуле:

$$D = t \cdot (b - 1) + 4d_n \quad 12.17$$

b – число труб по диагонали наибольшего шестиугольника, которое находят по таблице 14.2 в зависимости от общего числа труб, полученных по формуле.

Таблице 14.2 - Число труб по диагонали наибольшего шестиугольника

n	127	169	217	817	919	1027	1141
b	13	15	17	31	35	37	39

Принимаем $b = 37$ шт, тогда:

$$D = 0,054 \cdot (37 - 1) + 4 \cdot 0,038 = 2,06 \text{ м}$$

Принято $D = 2000 \text{ мм}$

Толщину трубной решетки $h_{тр}$ определяют из соотношения:

$$h_{тр} = 0,125 \cdot d_n + 5 \text{ мм} \quad 12.18$$

Если $d_n < 38 \text{ мм}$, то $h_{тр}$ принимают равной 10 мм.

$$h_{тр} = 0,125 \cdot 38 + 5 = 10 \text{ мм}$$

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №13

Расчет адсорбера

Требуется определить габариты адсорбера и загрузку активированного угля в адсорбер G_a для очистки V_c сортировки. Если продолжительность адсорбции $\tau_a=0,5$ часа, общая начальная концентрация примесей в сортировке $y_n=0,15$ кг/м³. Динамическая емкость угля по примесям $x_k=0,025$ кг/кг. Общая начальная концентрация примесей в угле $x_n=0,006$ кг/кг. Насыпная плотность угля $\rho_n=600$ кг/м³.

Определяем расход адсорбента из материального баланса:

$$G_a \cdot (X_k - X_n) = V_c \cdot Y_n$$

Принимаем, что $x_k \rightarrow x_p$, а $y_k = 0$. тогда расход адсорбента:

$$G_a = V_c \cdot \frac{Y_n}{X_k - X_n}, \text{ кг/час}$$

Объемный расход адсорбента:

$$V_a = \frac{G_a}{\rho_n}, \text{ м}^3/\text{час}.$$

Определяем объем адсорбера:

$$V_{аб.} = 1,25(V_c + V_a)\tau_a, \text{ м}^3;$$

где V_c - объемный расход сортировки, м³/час;

V_a - объемный расход адсорбента, м³/час;

τ_a - продолжительность адсорбции, час;

$1/\varphi=1,25$ -величина, обратная коэффициенту заполнения, $\varphi=0,8$.

Определяем высоту абсорбера:

Расчет мощности, потребляемой мешалкой

Расчет производим по критериальному уравнению:

$$Eu_m = f(Re_m)$$

Определяем модифицированные критерии подобия:

Критерий Рейнольдса

Критерий Эйлера

$$Re_m = \frac{n^1 \cdot d_m^2 \cdot \rho_c}{\mu_c}$$

$$Eu_m = \frac{N}{\rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5}$$

где n' - частота вращения мешалки, с⁻¹;

d_m - диаметр мешалки, м;

ρ_c - плотность суспензии, кг/м³;

N - потребляемая мощность;

$\mu_{ж}$ - вязкость суспензии, Па·С.

Частоту вращения лопастной мешалки принимаем согласно задания.

Вязкость 40% раствора этилового спирта в воде при температуре 20°C

$$\mu_{жс} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{С}.$$

Вязкость суспензии: $\mu_c = \mu_{жс}(1+2,5\varphi)$,

где φ - объемная доля адсорбента

$$\varphi = \frac{V_a}{V_c}$$

Плотность суспензии $\rho_c = \rho_a \varphi + \rho_{жс}(1-\varphi)$,

где ρ_a - плотность адсорбента, $\rho_a = 1400 \text{ кг/м}^3$;

$\rho_{жс}$ - плотность 40% этилового спирта, $\rho_{жс} = 950 \text{ кг/м}^3$.

Диаметр мешалки: $d_m = 0,33 \cdot D_{ад.}$, м.

Определяем критерий Рейнольдса и по графику, рис. 13.1, по кривой 1 (1) находим число Эйлера, а затем потребляемую мешалкой мощность N :

$$N = Eu_m \cdot \rho_c \cdot n^3 \cdot d_m^5, \text{ Вт}$$

Мощность в пусковой момент в 3 - 4 раза превышает потребляемую:

$$Nn = (3 \div 4)N, \text{ Вт}$$

Установочная мощность при КПД передачи 0,9 и запасе мощности 20 %:

$$Ny = Nn \cdot 1,2 / 0,9, \text{ Вт}$$

Таблица 13.1 – Индивидуальные задания

Вариант	Производительность V'_c , дал*/час	Диаметр адсорбера $D_{ад.}$, м	Число оборотов мешалки n , об/мин,
1	240	1,0	180
2	280	1,1	200
3	320	1,2	210
4	300	1,1	220
5	320	1,1	210
6	360	1,4	230
7	240	1,1	240
8	260	1,15	250
9	280	1,2	240
10	300	1,20	250
11	240	1,1	210
12	280	1,4	230
13	320	1,1	240
14	300	1,15	250
15	320	1,2	180
16	360	1,20	200
17	240	1,1	210

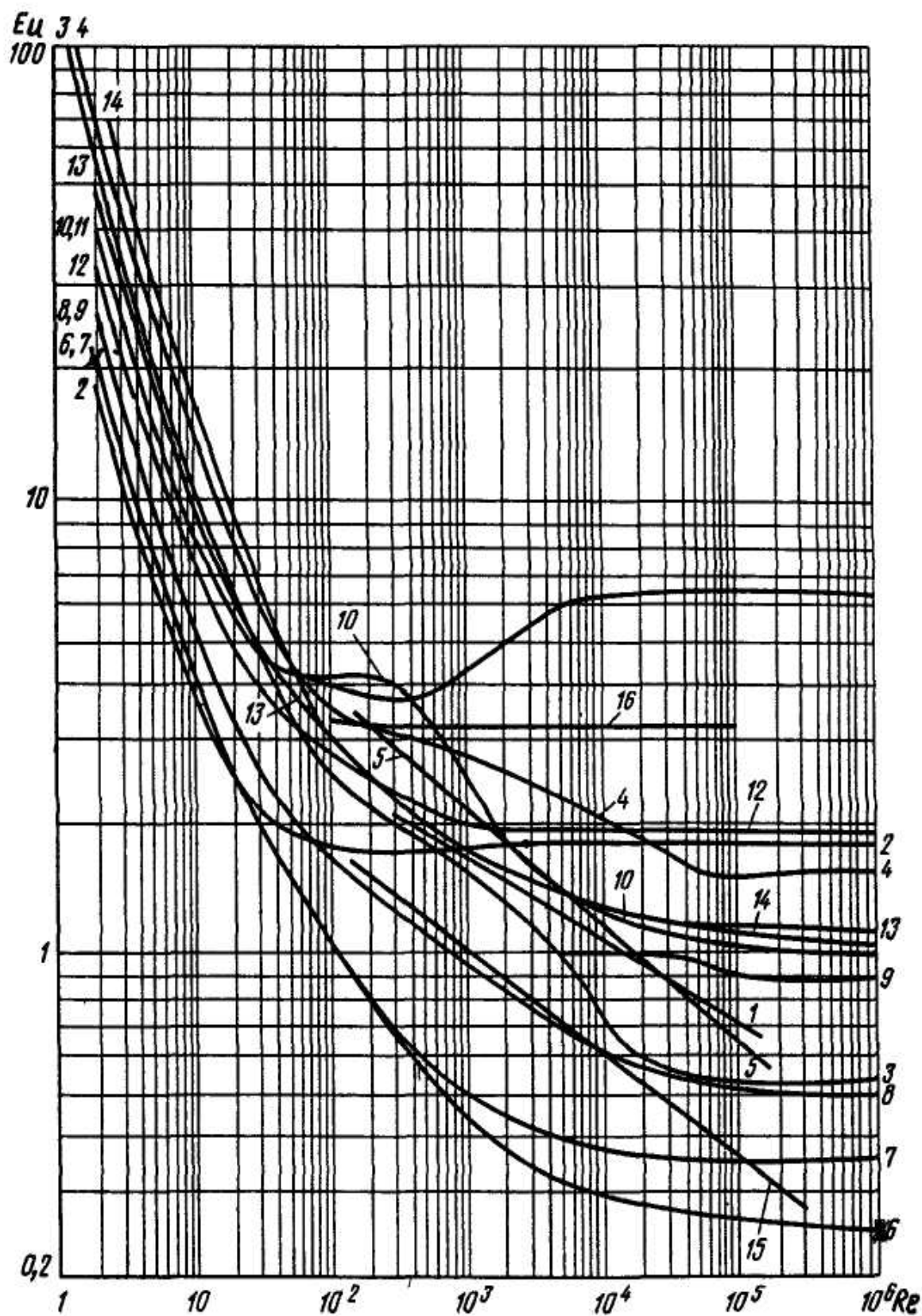


Рисунок 13.1 - Графическая зависимость $Eu = f(Re)$ для различных типов мешалок (нумерация кривых соответствует номеру и типу мешалки в табл. 8 2)

13.2 - Характеристики мешалок и аппаратов

№ кривой на рис 8.1	Тип мешалки	Характеристика мешалки				Характеристика сосуда
		D/d	H/D	b/d	s/D	
1	Двухлопастная	3	1	0,25	—	Без перегородок
2	»	3	1	0,167	—	С четырьмя перегородками шириной 0,1 D
3	»	2	1	0,885	—	Без перегородок
4	»	2	1	0,885	—	Со змеевиком ($d = 1,9d$; $d_{тр} = 0,066d$; $t=0,12d$)
5	Шестилопастная	1,11	1	0,066	—	Без перегородок
6	Пропеллерная	3	1	—	1	То же
7	»	3	1	—	1	С четырьмя перегородками шириной 0,1 D
8	»	3	1	—	2	Без перегородок
9	»	3	1	—	2	С четырьмя перегородками шириной 0,1 D
10	Открытая турбинная с шестью плоскими лопатками	3	$l(l/d = 0,25)$			Без перегородок
11	То же	3	1	0,2	—	С четырьмя перегородками шириной 0,1 D
12	Открытая турбинная с восемью плоскими наклонными лопатками	3	1	0,125	—	То же
13	Закрытая турбинная с шестью лопатками	3	1	—	—	Без перегородок
14	Закрытая турбинная с шестью лопатками и направляющим аппаратом	3	1	—	—	То же
15	Якорная	1,11	1	0,066	—	»
16	Дисковая с шестью лопатками	2,5	1	0,1	—	С четырьмя перегородками шириной 0,1 D

Примечание: D — диаметр сосуда; H — высота слоя жидкости в мешалке, b — ширина лопасти мешалки, s — шаг винта, l — длина лопасти: d , $d_{тр}$, $d_{зм}$ — диаметр соответственно мешалки, трубы и змеевика, t — шаг змеевика

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Адсорбер предназначен для очистки сортировки активированным углем

- Производительность адсорбера по сортировке составляет $V_c, \text{м}^3/\text{ч}$
- Поверхность теплообменника $F, \text{м}^2$
- Адсорбер реакторного типа с лопастной мешалкой с электроприводом.
- Давление в адсорбере атмосферное
- Давление в рубашке P
- Детали адсорбера соприкасающиеся с сортировкой изготовлены из стали 12Х18Н10Т

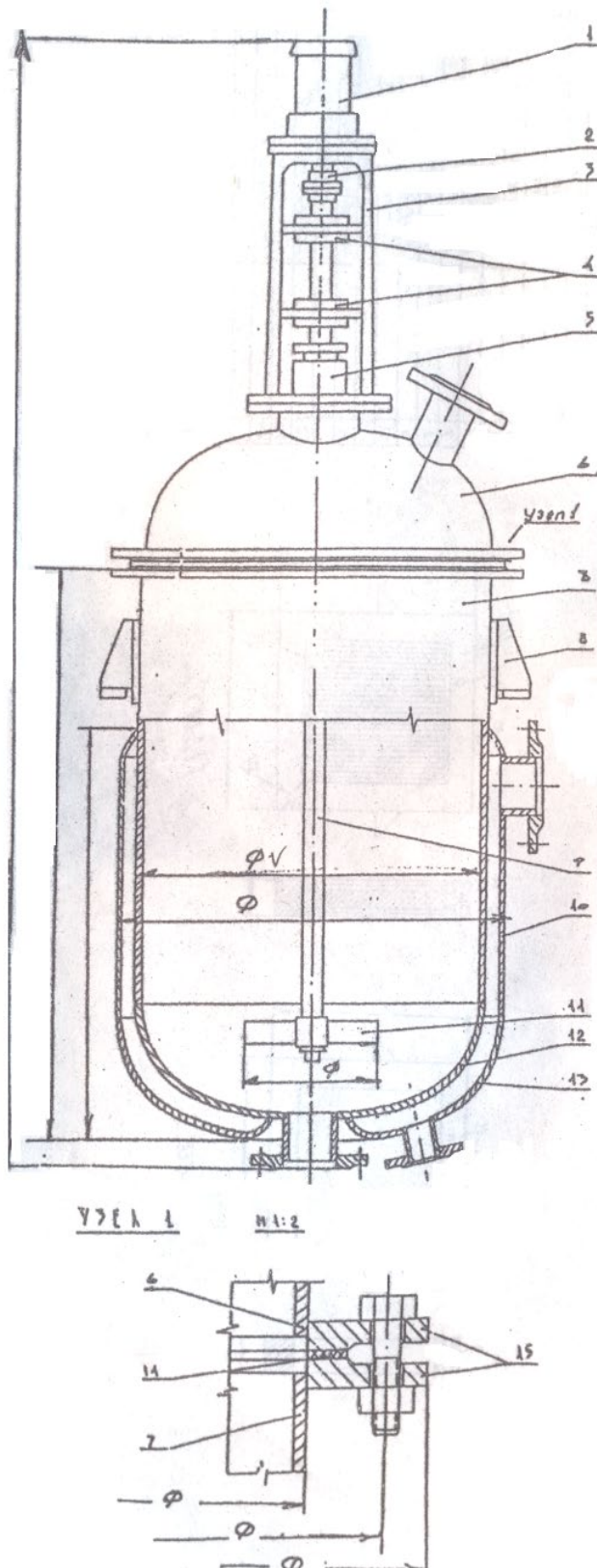


Рисунок 13.1 – Общий вид адсорбера

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 14

Расчет абсорбера

Задание

В производстве кукурузного крахмала из смеси воздуха и двуокиси серы (SO_2) в количестве G кг/с, содержащей двуокиси серы y_H , % (масс.), двуокись серы поглощается водой.

Содержание SO_2 в воде на входе в абсорбер $x_H = 0$ и на выходе из него x_K , % (масс.).
Степень извлечения SO_2 из газа – φ , %.

Определить расход воды на поглощение SO_2 . В производстве кукурузного крахмала из смеси воздуха и двуокиси серы (SO_2) в количестве G , кг/с, содержащей двуокиси серы y_H , % (масс.), двуокись серы поглощается водой.

Содержание SO_2 в воде на входе в абсорбер $x_H = 0$ и на выходе из него x_K , % (масс.).
Степень извлечения SO_2 из газа – φ , %.

Определить расход воды на поглощение SO_2 .

Массовые составы жидкости и газа

1. Массовые составы жидкости и газа на входе в аппарат и выходе из него по формулам

$$y_0 = \frac{y}{(1-y)}; \quad x_0 = \frac{x}{(1-x)}.$$

Жидкая фаза:

на входе в абсорбер $x_H = 0$

на выходе из абсорбера $x_K = \frac{X_K / 100}{(1 - X_K / 100)}$, кг SO_2 /кг воды.

Газовая фаза:

на входе в абсорбер $y_H = \frac{Y_H / 100}{(1 - Y_H / 100)}$, кг SO_2 /кг воздуха

на выходе из абсорбера $y_K = (1 - \varphi) \cdot Y_H$ кг SO_2 /кг воздуха.

2. Определяется количество SO_2 , поглощаемое водой в абсорбере (M , кг)

$$M = G \cdot (y_H - y_K), \text{ кг/с.}$$

3. Расход воды на поглощение SO_2 находится из уравнения материального баланса

$$M = G \cdot (y_H - y_K) = L \cdot (x_K - x_H), \text{ кг/с.}$$

Индивидуальные задания приведены в таблице 14.1

Таблица 14.1 – Индивидуальные задания

Вариант	G, кг/с	x_k , % (масс.)	y_H , % (масс.)	φ , %
1	0,28	2,2	47	86
2	0,29	2,3	48	88
3	0,30	2,4	46	87
4	0,31	2,5	45	75
5	0,32	2,6	49	85
6	0,33	2,7	50	86
7	0,34	2,8	51	88
8	0,35	2,9	52	89
9	0,36	3,0	46	90
10	0,27	3,1	45	82
11	0,26	3,2	49	84
12	0,25	2,5	50	84
13	0,28	2,6	51	83
14	0,29	2,8	52	89
15	0,30	2,9	47	75
16	0,31	3,0	48	85
17	0,32	3,1	46	86

Пример выполнения задания

В производстве кукурузного крахмала из смеси воздуха и двуокиси серы (SO_2) в количестве $G = 0,3$ кг/с, содержащей двуокиси серы $y_H = 48\%$ (масс.), двуокись серы поглощается водой.

Содержание SO_2 в воде на входе в абсорбер $x_H = 0$ и на выходе из него $x_k = 2,5\%$ (масс.). Степень извлечения SO_2 из газа – 85%.

Определить расход воды на поглощение SO_2 .

Решение

1. Рассчитываются относительные массовые составы жидкости и газа на входе в аппарат и выходе из него по формулам

$$y_0 = \frac{y}{(1-y)}; \quad x_0 = \frac{x}{(1-x)}.$$

Жидкая фаза:

на входе в абсорбер $x_H = 0$

на выходе из абсорбера $x_K = \frac{0,025}{(1-0,025)} = 0,0256$ кг SO₂/кг воды.

Газовая фаза:

на входе в абсорбер $y_H = \frac{0,48}{(1-0,48)} = 0,92$ кг SO₂/кг воздуха

на выходе из абсорбера $y_K = (1-0,85) \cdot 0,92 = 0,138$ кг SO₂/кг воздуха.

2. Определяется количество SO₂, поглощаемое водой в абсорбере (М, кг)

$$M = G \cdot (y_H - y_K) = 0,3 \cdot (0,92 - 0,138) = 0,235 \text{ кг/с.}$$

3. Расход воды на поглощение SO₂ находится из уравнения материального баланса

$$M = G \cdot (y_H - y_K) = L \cdot (x_K - x_H)$$

$$L = \frac{G \cdot (y_H - y_K)}{(x_K - x_H)} = \frac{0,235}{(0,0256 - 0)} = 7,18 \text{ кг/с.}$$

Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
Перечень основной и дополнительной литературы, необходимый
для освоения дисциплины

1. Перечень основной литературы:

1. Белкина, Р.И. Технология производства солода, пива и спирта : учебное пособие для СПО / Р.И. Белкина, В.М.Губанов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 104 с. : ил. – Текст : непосредственный.
2. Донченко, Л. В. Основы виноделия : Учебное пособие / Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта, В. Т. Косюра. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 422 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-07279-2. – EDN GPMUYA.
3. Технология виноделия : Учебник / А. В. Кочерга, Г. И. Касьянов, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 200 с. – ISBN 978-5-534-19536-1. – EDN DVLUMH.
4. Хозиев О.А. Технология пивоварения : учебное пособие для вузов / О.А. Хозиев, А.М. Хозиев, В.Б. Цугкиева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 560 с.: ил. – Текст : непосредственный.

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Захаров, В. Л. Химико-технологический контроль дрожжевого производства : учебное пособие / В. Л. Захаров, О. А. Дубровина. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. – 83 с. – ISBN 978-5-00151-432-9. – EDN VQNM RB.
2. Проектирование и строительство винодельческих предприятий с основами планирования и технологии отрасли : Учебник / Г. И. Касьянов, А. В. Кочерга, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 445 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14553-3. – EDN GWUPEF.

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети
«Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <https://magarach-institut.ru/zhurnal-magarach-vinogradarstvo-i-vinodelie/> – портал журнала «Виноделие и виноградарство»;
2. <https://www.foodprom.ru/pivo-i-napitki> портал журнала «Пиво и напитки».
3. [www. foodprom.ru](http://www.foodprom.ru) – портал журнала «Пищевая промышленность».

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

по организации самостоятельной работы обучающихся
по дисциплине **«Инновационные инженерные решения в биотехнологии
бродительных и винодельческих производств»**
для студентов направления подготовки
19.04.01 Биотехнология
Направленность (профиль): «Биотехнология производства продукции из
растительного сырья, виноделия и бродительных производств»

Методические рекомендации разработаны для организации самостоятельной работы студентов по дисциплине «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» для студентов очной формы обучения по направлению подготовки 19.04.01 Биотехнология, направленность (профиль) «Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств».

Методические рекомендации содержат:

- общую характеристику самостоятельной работы студента при изучении дисциплины, включающую цель и задачи каждого вида самостоятельной работы студента, предусмотренного учебным планом и рабочей программой дисциплины и формируемые данным видом деятельности компетенции;

- план-график выполнения самостоятельной работы;

- контрольные точки и виды отчетности по ним;

- методические рекомендации по изучению теоретического материала – рекомендации по организации работы с литературой.

Составитель: старший преподаватель, к.т.н., Салманова Д.А.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Общая характеристика самостоятельной работы	3
План-график выполнения самостоятельной работы	5
Методические рекомендации по изучению теоретического материала	5
Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой	6
Список рекомендуемой литературы	7

ВВЕДЕНИЕ

Освоение программы дисциплины предполагает освоение теоретических знаний и формирование навыков их практического применения.

Самостоятельная работа студентов – важнейшая составная часть занятий, необходимая для полного усвоения программы курса.

Целью самостоятельной работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами на лекциях, подготовке к текущим лабораторным работам, промежуточным формам контроля знаний и к итоговому контролю.

Дидактические цели самостоятельных занятий:

- формирование профессиональных умений;
- формирование умений и навыков самостоятельного умственного труда;
- мотивирование регулярной целенаправленной работы по освоению дисциплины;
- развитие самостоятельности мышления;
- формирование убежденности, волевых черт характера, способности к самоорганизации.

Методическое обеспечение самостоятельной работы дисциплине состоит из:

- определения учебных вопросов, которые студенты должны изучить самостоятельно;
- подбора необходимой учебной литературы, обязательной для проработки и изучения;
- поиска дополнительной научной литературы, к которой студенты могут обращаться по желанию, если у них возникает интерес в данной теме;
- определения контрольных вопросов, позволяющих студентам самостоятельно проверить качество полученных знаний;
- организации консультаций преподавателя со студентами для разъяснения вопросов, вызвавших у студентов затруднения при самостоятельном освоении учебного материала.

Самостоятельная работа студента – это особым образом организованная деятельность, включающая в свою структуру такие компоненты, как: уяснение цели и поставленной учебной задачи; четкое и системное планирование самостоятельной работы; поиск необходимой учебной и научной информации; освоение собственной информации и ее логическая переработка; проведение самоанализа и самоконтроля.

Основные виды самостоятельных работ по учебной дисциплине:

работа с понятийным аппаратом; поисковая работа с различными источниками; составление аннотированного списка литературы по проблеме.

Контроль знаний студентов включает формы текущего и итогового контроля.

Текущий контроль осуществляется в процессе изучения курса и включает в себя оценку работы студентов на лабораторных работах.

1 Общая характеристика самостоятельной работы

Целью изучения дисциплины «Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств» является формирование профессиональных компетенций будущего магистра в соответствии с требованиями ФГОС ВО по направлению подготовки 19.04.01 -Биотехнология, направленность (профиль) – Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств

Задачи дисциплины состоят в изучении на базе фундаментальных законов физики и химии общих процессов, протекающих в различных пищевых производствах, изучении современных аппаратов, общих методов их расчёта, путей рационализации процессов, выбора оптимальных конструкций аппаратов в конкретных производствах, в освещении основных технических проблем, научных достижений и современных тенденций использования новых физических методов обработки пищевых продуктов в тесной взаимосвязи с вопросами технологии.

Цели и задачи самостоятельной работы. Самостоятельная работа направлена на решения ряда задач, к которым относятся:

- систематизация и закрепление полученных теоретических знаний и

лабораторных умений студентов;

- углубление и расширение теоретических знаний;
- формирование умения использовать справочную литературу;
- развитие познавательных способностей и активности студентов;
- творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирование самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- развитие исследовательских умений.

Актуальность: Работа выпускника в современных условиях обуславливает необходимость изучения принципиальных подходов к изучению дисциплины. Знания, полученные в рамках изучения дисциплины необходимы на протяжении всей профессиональной деятельности.

Виды самостоятельной работы

Рабочей программой по дисциплине предусмотрено самостоятельное изучение материалов в т. ч. по темам лабораторных работ. Для успешного выполнения данного вида работ, необходимо самостоятельно детально изучить материалы представленных тем по рекомендуемым источникам информации:

№ п/п	Виды самостоятельной работы	Рекомендуемые источники информации (№ источника)			
		Основная	Дополнительная	Методическая	Интернет-ресурсы
1	Подготовка к лекции	1 2	1 2	1 2	1
2	Подготовка к лабораторному занятию	1 2	1 2	1 2	1
3	Подготовка к практическому занятию	1 2	1 2	1 2	1
4	Самостоятельное изучение литературы	1 2	1 2	1 2	1

При изучении материалов по каждой теме необходимо составить краткий конспект наиболее важной информации.

Работа с конспектом лекций.

Просмотрите конспект сразу после занятий. Отметьте материал конспекта лекций, который вызывает затруднения для понимания. Попытайтесь найти ответы на затруднительные вопросы, используя предлагаемую литературу. Если самостоятельно не удалось разобраться в материале, сформулируйте вопросы и обратитесь на текущей консультации или на ближайшей лекции за помощью к преподавателю.

Каждую неделю отводите время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам и тестам.

Помимо самостоятельного изучения материалов по темам к самостоятельной работе студентов относится подготовка к лабораторным работам по результатам которой студент представляет отчет преподавателю и проходит собеседование.

При самостоятельной подготовке к лабораторной работе студент:

- организует свою деятельность в соответствии с методическим руководством по выполнению лабораторных работ;
- изучает информационные материалы;
- подготавливает и оформляет материалы лабораторных работ в соответствии с требованиями.

В результате выполнения указанных видов самостоятельной работы происходит **формирование компетенций** представленных ниже:

Код	Формулировка
ОПК-5.	Способен планировать и проводить комплексные экспериментальные и расчетно-теоретические исследования по разработанной программе, критически анализировать, обобщать и интерпретировать полученные экспериментальные данные
ОПК-6.	Способен разрабатывать и применять на практике инновационные решения в научной и производственной сферах биотехнологии на основании новых знаний и проведенных исследований, с учетом экономических, экологических, социальных и других ограничений
ПК-3.	Способность к применению методов математического моделирования и оптимизации технологических процессов производства пищевой и биотехнологической продукции
ПК-5	Готовность к анализу влияния новых технологий, новых видов сырья и технологического оборудования на конкурентоспособность и потребительские качества биотехнологической и пищевой продукции

2 План-график выполнения самостоятельной работы

Правильная организация самостоятельной работы и ее систематичность, позволяет развивать умения и навыки; проводить систематизацию полученных знаний, обеспечивать высокий уровень успеваемости в период обучения, получить навыки повышения профессионального уровня.

3. Методические рекомендации по изучению теоретического материала

При изучении дисциплины у студентов должен вырабатываться рационально-критический подход к изучаемым проблемам и явлениям. Это включает понимание того, что со временем ряд информационных и теоретических материалов устаревает, требуя критического отношения. С другой стороны, каждый текущий вопрос имеет свою историю, которую тоже полезно знать.

Чтобы понять содержание теоретического материала, нужно уметь его прочитывать. Начинать следует с предварительного просмотра, в ходе которого ознакомиться с названием работы, с аннотацией, оглавлением, предисловием. Часто замысел работы ясен уже при ознакомлении с ее названием. Но особенно интересен просмотр оглавления, в результате которого становится ясным развитие мысли автора. Неплохо было бы появившиеся при этом мысли зафиксировать на бумаге.

Просматривая текст оглавления, нужно остановиться на тех главах, которые представляют для вас особенный интерес, бегло ознакомиться с ними, составляя в общих чертах свое представление о них. Цель этого действия – найти места, относящиеся к искомой теме, определив при этом, что ценного в каждом из них.

Следующий этап – прочтение выделенных мест с фиксацией самых главных сведений. При этом надо четко и ясно осознавать цель чтения, постоянно держа ее перед собой: по какому вопросу нужна информация, для чего нужна, ее характер и т.д. необходимо менять режим чтения – от беглого вдумчивого – в зависимости от ценности информации, останавливаясь там, где это требуется для глубокого понимания текста.

Следует научиться определять структуру текста по соподчиненности его частей, учитывая взаимосвязь текста с рисунками, сносками, примечаниями и таблицами. Все это поможет пониманию текста при беглом ознакомлении с ним. Так вырабатывается способность при прочтении сразу понимать смысл и значение новой информации.

Многие книги и статьи имеют в своем аппарате списки литературы, которые дают возможность пополнить информационную осведомленность о дополнительной литературе по данному вопросу.

Отдельный этап прочтения – ведение записей прочитанного. Существует несколько видов записей: план, выписки, тезисы, аннотация, резюме, конспект.

Планом удобно пользоваться при подготовке к устному выступлению по выбранной теме. Каждый пункт плана должен раскрывать одну из сторон избранной темы, а весь план должен охватывать ее целиком.

Тезисы предполагают сжатое изложение основных положений текста в форме утверждения или отрицания. Они являются более совершенной формой записей и представляют основу для дискуссии. К тому же их легко запомнить.

Аннотация – краткое изложение содержания – дает общее представление о работе.

Резюме кратко характеризует выводы, главные итоги произведения.

Конспект является наиболее распространенной формой ведения записей. Основную ткань конспекта составляют тезисы, дополненные доказательствами и рассуждениями. Конспект может быть текстуальным, свободным или тематическим. Текстуальный представляет собой цитатник с сохранением логики работы и структуры текста. Свободный конспект основан на изложении материала в том порядке, который более удобен автору. В этом смысле конспект представляет собрание воедино мыслей, разбросанных по всей книге. Тематический конспект может быть составлен по нескольким источникам, где за основу берется тема, интерпретируемая по-разному.

Экономия времени дает использование при записях различного рода сокращений, аббревиатуры и т.д. многие используют для регистрации исследуемых тем систему карточек. Преимущество карточек в том, что тема там излагается очень сжато, и они очень удобны в использовании, т.к. их можно разложить на столе, перегруппировать и без труда найти искомую тему.

4. Методические указания по видам работ, предусмотренных рабочей программой

Работа на лекции является очень важным видом студенческой деятельности для изучения дисциплины «Проектирование предприятий общественного питания», т.к. на лекции происходит не только сообщение новых знаний, но и систематизация и обобщение накопленных знаний, формирование на их основе идейных взглядов, убеждений, мировоззрения, развитие познавательных и профессиональных интересов. Лектор ориентирует студентов в действующем законодательстве Российской Федерации и соответственно в учебном материале.

Краткие записи лекций (конспектирование) помогает усвоить материал. Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Конспект лучше подразделять на пункты, параграфы, соблюдая красную строку. Принципиальные места, определения, формулы следует сопровождать замечаниями: «важно», «особо важно», «хорошо запомнить» и т.п. или подчеркивать красной ручкой. Целесообразно разработать собственную символику, сокращения слов, что позволит сконцентрировать внимание студента на важных сведениях. Прослушивание и запись лекции можно производить при помощи современных устройств (диктофон, ноутбук, нетбук и т.п.).

Работая над конспектом лекций, всегда следует использовать не только учебник, но и ту литературу, которую дополнительно рекомендовал лектор, в том числе нормативно-правовые акты соответствующей направленности. По результатам работы с конспектом лекции следует обозначить вопросы, термины, материал, который вызывают трудности, пометить и попытаться найти ответ в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на консультации, на лабораторной работе.

Лекционный материал является базовым, с которого необходимо начать освоение соответствующего раздела или темы.

В процессе подготовки к лабораторной работе студент знакомится с рабочей программой дисциплины, темами и планами лабораторных работ, уделяя особое внимание целям и задачам, структуре и содержанию дисциплины, проводит анализ основной нормативно-правовой и учебной литературы, после чего работает с рекомендованной дополнительной литературой.

Формы организации лабораторных работ определяются в соответствии со специфическими особенностями учебной дисциплины и целями обучения. При устном выступлении по контрольным вопросам студент должен излагать (не читать) материал выступления свободно. Необходимо концентрировать свое внимание на том, что выступление должно быть обращено к аудитории, а не к преподавателю, т.к. это значимый аспект профессиональных компетенций выпускника.

По окончании занятия студенту следует повторить выводы, проследив логику их построения, отметив положения, лежащие в их основе. Для этого студенту в течение лабораторной работы следует делать пометки. Более того, в случае неточностей и (или) непонимания какого-либо вопроса пройденного материала студенту следует обратиться к преподавателю для получения необходимой консультации и разъяснения возникшей ситуации.

Для подготовки к зачету необходимо выполнить цикл лабораторных работ, тщательно изучить и проанализировать теоретические сведения по каждому виду работ. При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования основной и дополнительной литературой, научными статьями, а также ресурсами сети интернет.

Список рекомендуемой литературы

1. Перечень основной литературы:

1. Белкина, Р.И. Технология производства солода, пива и спирта : учебное пособие для СПО / Р.И. Белкина, В.М.Губанов. – 4-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2024. – 104 с. : ил. – Текст : непосредственный.

2. Донченко, Л. В. Основы виноделия : Учебное пособие / Л. В. Донченко, В. Д. Надыкта, В. Т. Косюра. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2019. – 422 с. – (Профессиональное образование). – ISBN 978-5-534-07279-2. – EDN GPMUYA.

3. Технология виноделия : Учебник / А. В. Кочерга, Г. И. Касьянов, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е издание, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 200 с. – ISBN 978-5-534-19536-1. – EDN DVLUMH.

4. Хозиев О.А. Технология пивоварения : учебное пособие для вузов / О.А. Хозиев, А.М. Хозиев, В.Б. Цугкиева. – 2-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2025. – 560 с.: ил. – Текст : непосредственный.

2. Перечень дополнительной литературы:

1. Захаров, В. Л. Химико-технологический контроль дрожжевого производства : учебное пособие / В. Л. Захаров, О. А. Дубровина. – Елец : Елецкий государственный университет им. И.А. Бунина, 2024. – 83 с. – ISBN 978-5-00151-432-9. – EDN VQNM RB.

2. Проектирование и строительство винодельческих предприятий с основами планирования и технологии отрасли : Учебник / Г. И. Касьянов, А. В. Кочерга, Е. А. Ольховатов [и др.]. – 2-е изд., пер. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2024. – 445 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-14553-3. – EDN GWUPEF.

3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1. <https://magarach-institut.ru/zhurnal-magarach-vinogradarstvo-i-vinodelie/> – портал журнала «Виноделие и виноградарство»;
2. <https://www.foodprom.ru/pivo-i-napitki> портал журнала «Пиво и напитки».
3. [www. foodprom.ru](http://www.foodprom.ru) – портал журнала «Пищевая промышленность».

8.2. Перечень учебно-методического обеспечения самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

1. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ по дисциплине **Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств**. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология (профиль) Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств. Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2025.
2. Методические рекомендации по выполнению практических работ по дисциплине **Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств**. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология (профиль) Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств. Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2025.
3. Методические рекомендации по организации самостоятельной работы студентов по дисциплине **Инновационные инженерные решения в биотехнологии бродильных и винодельческих производств**. Направление подготовки 19.04.01 Биотехнология (профиль) Биотехнология производства продукции из растительного сырья, виноделия и бродильных производств. Квалификация выпускника - магистр. Ставрополь, СКФУ, 2025.

3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

1	Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека онлайн» - www.biblioclub.ru (Договор № 50-04/19 об оказании информационных услуг от 13.05.2019г.)
2	Электронная библиотечная система «IPRbooks» (ЛИЦЕНЗИОННЫЙ ДОГОВОР № 5168/19 от 13.05.2019 г. на предоставление доступа к электронно-библиотечной системе IPRbooks. Организация: ООО Компания «Ай Пи Ар Медиа»)
3	«eLIBRARY.RU»: [Научная электронная библиотека]. – URL: http://elibrary.ru
4	Информационно-правовой портал "Гарант" - http://www.garant.ru/
5	Справочно-правовая система Российское законодательство и судебная практика в свободном доступе - http://www.pravo.ru/

Программное обеспечение:

1	Альт Рабочая станция 10
	Альт Рабочая станция К
3	Альт «Сервер»
4	Пакет офисных программ – Р7-Офис