Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Максимов Алексей Борисович
Должность: директор департамента по образовательной политике
Дата подписания: 29.05.2025 16:04:57
Уникальный программный ключ:
8db180d1a3f02ac9e60521a5672742735c18b1d6

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
**«МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**
**(МОСКОВСКИЙ ПОЛИТЕХ)**

Факультет химической технологии и биотехнологии

УТВЕРЖДАЮ
Декан
/ А.С. Соколов /
«13» февраля 2024 г.

# РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

# «Б1.1.6 Тепломассообмен и гидродинамика в биореакторах»

Направление подготовки
**19.04.01 Биотехнология**

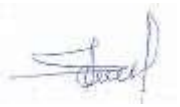
Профиль
**«Промышленная биотехнология и биоинженерия»**

Квалификация
**Магистр**

Формы обучения
**Очная**

Москва, 2025 г.

**Разработчики:**

Профессор, к.т.н.  /Николайкина Н.Е. /

Заведующий кафедрой,

д.с.-х.н.  / Н.В. Мясищева. /

## Цели, задачи и планируемые результаты обучения по дисциплине

К целям освоения дисциплины «Тепломассообмен и гидродинамика в биореакторах» следует отнести:
- подготовка магистра к решению научных, инженерных и производственных вопросов биотехнологической отрасли в комплексе с ее достижениями и возможными технологическими решениями;
- формирование у студентов знаний и навыков по проведению научных исследований в области совершенствования оборудования и технологий поучения. БАВ.

Основные задачи освоения дисциплины:
- ознакомление с методами теории подобия и методами анализа размерностей при изучении процессов, протекающих в биореакторах, и методологией научных исследований в области биотехнологии;
- приобретение студентами навыков расчетов параметров и режимов технологического процесса получения БАВ;
- приобретение навыков по управлению и реализации проектов по исследованию процессов тепломассообменна и гидродинамики в биореакторах.

Обучение по дисциплине «Тепломассообмен и гидродинамика в биореакторах» направлено на формирование у обучающихся следующих компетенций:

| Код и наименование компетенций | Индикаторы достижения компетенции |
|---|---|
| ОПК-4. Способен выбирать и использовать современные инструментальные методы и технологии, осваивать новые методы и технику исследований для решения конкретных задач профессиональной деятельности | ИОПК-4.1. Знает методы, средства и практика планирования, организации, проведения и внедрения научных исследований и опытно-конструкторских разработок<br>ИОПК-4.2. Готов к применению новейших методов биотехнологии, профессиональной эксплуатации современного биотехнологического оборудования и научных приборов<br>ИОПК-4.3. Владеет методами к профессиональной эксплуатации современного биотехнологического оборудования и научных приборов |

## 1. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина относится к обязательной части блока Б1 Дисциплины (модули).

Дисциплина «Право интеллектуальной собственности» взаимосвязана логически и содержательно-методически со следующими дисциплинами: «Методология разработки биотехнологических объектов», «Методы исследования в биотехнологии», «Технология ферментных препаратов».

## 2. Структура и содержание дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 зачетные единицы (108 часов).

### 3.1. Виды учебной работы и трудоемкость

| № п/п | Вид учебной работы | Количество часов | Семестры | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 2 | - |
| **1** | **Аудиторные занятия** | **72** | **72** | - |
| | В том числе: | | | |
| 1.1 | Лекции | 18 | 18 | - |
| 1.2 | Семинарские/практические занятия | 38 | 38 | - |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1.3 | Лабораторные занятия | - | - | - |
| **2** | **Самостоятельная работа** | **16** | **16** | - |
| **3** | **Промежуточная аттестация** | | | - |
| | зачет | | | - |
| | **Итого** | **72** | **72** | - |

## 2.2. Тематический план изучения дисциплины

| № п/п | Разделы/темы дисциплины | Трудоемкость, час | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Всего | Аудиторная работа | | | | Самостоятельная работа |
| | | | Лекции | Семинарские/ практические занятия | Лабораторные занятия | Практическая подготовка | |
| 1. | Тема 1. Введение в курс | 6 | 2 | 2 | - | - | 2 |
| 2. | Тема 2. Теория подобия процессов и метод анализа размерностей | 8 | 2 | 4 | - | - | 2 |
| 3. | Тема 3. Сырье и свойства ферментативных сред | 8 | 2 | 4 | - | - | 2 |
| 4. | Тема 4. Гидродинамика биореакторов | 10 | 2 | 6 | - | - | 2 |
| 5. | Тема 5. Теплообмен в биореакторах | 14 | 4 | 8 | - | - | 2 |
| 6. | Тема 6. Массопередача в биореакторах | 12 | 2 | 8 | - | - | 2 |
| 7. | Тема 7. Составление проекта плана проведения экспериментальных работ по гидродинамики и тепломассобмену в биореакторах | 14 | 4 | 6 | - | - | 4 |
| | **Итого** | **72** | **18** | **38** | **-** | **-** | **16** |

## 2.3. Содержание дисциплины

**Тема 1. Введение в курс.**

Предмет и задачи курса. Связь с другими дисциплинами курса. Типы биореакторов, применяемых в технологических схемах.

**Тема 2. Теория подобия процессов и метод анализа размерностей.**

Применение методов теории подобия к изучению процессов, протекающих в биореакторах. Физическая модель процесса, основные уравнения задачи и условия единства решения. Условия однозначности. Геометрическое и временное подобие. Подобие полей физических величин. Числа подобия.

Метод анализа размерностей при изучении протекающих процессов.

Гидравлические числа подобия. Соотношение между теорией подобия и анализом размерностей.

**Тема 3. Сырье и свойства ферментативных сред.**

Характеристика и особенности основных источников субстратов для процессов ферментации. Физико-химические свойства ферментативных сред.

Особенности процессов культивирования микроорганизмов на углеводсодержащем сырье, низших спиртах, углеродном сырье, мелассе и др.

**Тема 4. Гидродинамика биореакторов.**

Гидродинамические процессы в биореакторах. Гидродинамические режимы течения вязкой жидкости.

Методы исследования гидродинамических характеристик ферментёров.

Влияние структуры потоков в биореакторе на эффективность аппарата. Методы экспериментальной оценки структуры потоков. Гидродинамическое моделирование аппаратов. Масштабный переход.

**Тема 5. Теплообмен в биореакторах.**

Теплопередача в процессе биосинтеза. Механизмы передачи тепла. Тепловое подобие и основные критерии теплового подобия. Тепловой баланс ферментера.

Теплоотдача при свободном и вынужденном движении жидкости. Теплоотдача в аппаратах с мешалкой. Процесс теплопередачи. Тепловые потери в аппаратах. Тепловой эффект процесса ферментации.

**Тема 6. Массопередача в биореакторах.**

Материальный баланс массообменных процессов. Модифицированные уравнения массоопередачи.

Экспериментальные методы исследования масообменных характеристик биореактора. Определение скорости транспорта кислорода и величины объемного коэффициента массопередачи кислорода.

**Тема 7. Составление проекта плана проведения экспериментальных работ по гидродинамики и тепломассобмену в биореакторах.**

Формулировка целей, путей достижения, задач экспериментальных исследований работы биореакторов. Разработка плана реализации проведения экспериментальных исследований биореакторов. Варианты исследовательских (лабораторных) ферментационные установки. Программа мониторинга реализации исследований.

### 2.4. Тематика семинарских/практических и лабораторных занятий

3.4.1. Семинарские/практические занятия

1. Тема 1. Введение в курс.
2. Тема 2. Теория подобия процессов и метод анализа размерностей.
3. Тема 3. Сырье и свойства ферментативных сред.
4. Тема 4. Гидродинамика биореакторов.
5. Тема 5. Теплообмен в биореакторах.
6. Тема 6. Массопередача в биореакторах.
7. Тема 7. Составление проекта плана проведения экспериментальных работ по гидродинамики и тепломассобмену в биореакторах.

3.4.2. Лабораторные занятия

Лабораторные работы учебным планом не предусмотрены.

## 3. Учебно-методическое и информационное обеспечение

### 4.1. Основная литература

1. Процессы и аппараты биотехнологии: ферментационные аппараты: учебное пособие для вузов / А. Ю. Винаров [и др.] ; под редакцией В. А. Быкова. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2021. — 274 с.
2. Бирюков В.В. Основы промышленной биотехнологии. – М.: КолосС, 2004. - 296 с.

3. Процессы и аппараты биотехнологических производств – учебное пособие для вузов /А.Г. Новосельцев и др. – СПб: университете ИТМО, 2018.

### 4.2. Дополнительная литература

1. Биотехнологические процессы и аппараты : учебное пособие / В. Н. Долгунин, В. А. Пронин. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2020. – 80 с. https://tstu.ru/book/elib/pdf/2020/dolgunin.pdf

### 4.3. Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение

1. Программы пакета Microsoft Office (Word, Excel, PowerPoint).

### 4.4. Современные профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. www.elibrary.ru – научная электронная библиотека.
2. www.molbiol.ru - Учебники, научные монографии, обзоры, лабораторные практикумы в свободном доступе на сайте практической молекулярной биологии.
3. www.scopus.com (Scopus) – единая реферативная и наукометрическая база данных (индекс цитирования).
4. www.scincedirect.com/ (Архивные коллекции журналов издательства Elsevier) – архивные коллекции различных тематик, в том числе Biochemistry, Engineering and Technology.
5. http://www.fp7-bio.ru - НКТ «Биотехнологии».
6. http://cyberleninka.ru/article/c/biotehnologiya - научная электронная библиотека «КИБЕРЛЕНИНКА».
7. http://www.springerprotocols.com/ - доступ к базе данных SpringerLink.
8. http://grebennikon.ru/ - электронная бибоиотека Grebennicon.
9. http://login.webofknowledge.com/ - ресурсы на платформе Web of Knowledge.
10. https://www.garant.ru/ - справочно-правовая система «ГАРАНТ».
11. http://www.consultant.ru/ - справочно-правовая система «КонсультантПлюс».
12. https://www1.fips.ru/ - Федеральный институт промышленной собственности (доступ к документам, поисковой системе).

## 5. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория кафедрального фонда, оборудованная компьютерной техникой, мультимедийным проектором, для проведения лекционных и семинарских занятий.

Реализация образовательной программы обеспечивается доступом каждого студента к информационным ресурсам – библиотечному фонду и сетевым ресурсам Интернет.

## 6. Методические рекомендации

### 6.1. Методические рекомендации для преподавателя по организации обучения

Преподавание дисциплины осуществляется в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования по направлению подготовки 19.04.01 «Биотехнология» (уровень магистратуры), изучение

дисциплины должно базироваться на использовании поступающих в библиотеку периодических и непериодических изданий. С учетом этого разрабатываются содержание курса и основные методические рекомендации, соответствующие современному уровню знаний в области биотехнологических производств.

Информация о временном графике работ сообщается преподавателем на первой лекции. Преподаватель дает указания также по организации самостоятельной работы студентов, семинарских и практических занятий, проведения текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

В процессе чтения лекций преподаватель должен формировать у студентов системное представление об изучаемой дисциплине как науке, формировать профессиональные интересы, воспитывать сознательное отношение к процессу обучения, стремление к самостоятельной творческой работе, всестороннему овладению специальностью. В лекциях необходимо использовать внутри- и междисциплинарные логические связи, знание фундаментальных и общепрофессиональных дисциплин, внедрять проблемные лекции, используя обратную связь с аудиторией.

Для организации изучения дисциплины рекомендуется использовать следующие средства: основную и дополнительную литературу; учебную программу дисциплины; методические рекомендации.

Профессиональная подготовка магистров по данной дисциплине предполагает реализацию, разработку и применение современных образовательных технологий, выбор оптимальной стратегии преподавания и целей обучения, создание творческой атмосферы образовательного процесса; выявление взаимосвязей научно-исследовательского и учебного процессов в высшей школе.

### 6.2. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Прежде чем приступить к освоению курса студент целесообразно ознакомиться с рабочей программой дисциплины. Это позволит оценить объем предстоящей работы по изучению курса, рационально распределить время, ознакомиться с информационно-методическим обеспечением дисциплины и получить доступ к необходимым учебникам и учебным пособиям.

Обращаем внимание студента, что основными видами учебных занятий являются лекции и практические занятия, посещение которых является обязательным. Тематика лекций указана в рабочей программе, что позволит предварительно ознакомиться с содержанием материала.

Лекции имеют цель:

- дать систематизированные основы научных знаний по курсу;
- сконцентрировать внимание на наиболее сложных узловых проблемных вопросах.

В процессе лекции целесообразно вести свой конспект, который позволит лучше усвоить курс и подготовиться к промежуточной и итоговой аттестации.

Семинарские и практические занятия дают возможность на практике проверить отдельные вопросы теории, глубже вникнуть в физическую сущность изучаемых явлений и получить навыки самостоятельной подготовки и проведения эксперимента.

## 7. Фонд оценочных средств

### 7.1. Методы контроля и оценивания результатов обучения

Сформированность компетенций при изучении дисциплины определяется посредством оценки соответствия ответов и/или выполнения заданий заявленным индикаторам в рамках мероприятий текущего контроля и промежуточной аттестации (зачета).

## 7.2. Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Форма промежуточной аттестации: зачет.

Промежуточная аттестация обучающихся в форме зачета проводится по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки. По итогам промежуточной аттестации по дисциплине выставляется оценка «зачтено», «не зачтено».

| Шкала оценивания | Описание |
|---|---|
| Зачтено | Выполнены все виды учебной работы, предусмотренные учебным планом. Студент демонстрирует соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, оперирует приобретенными знаниями, умениями, навыками, применяет их в ситуациях повышенной сложности. При этом могут быть допущены незначительные ошибки, неточности, затруднения при аналитических операциях, переносе знаний и умений на новые, нестандартные ситуации. |
| Не зачтено | Не выполнен один или более видов учебной работы, предусмотренных учебным планом. Студент демонстрирует неполное соответствие знаний, умений, навыков приведенным в таблицах показателей, допускаются значительные ошибки, проявляется отсутствие знаний, умений, навыков по ряду показателей, студент испытывает значительные затруднения при оперировании знаниями и умениями при их переносе на новые ситуации. |

## 7.3. Оценочные средства

**Задания в открытой форме**

1. Принципиальная технологическая схема биотехнологических производств. Основные стадии процесса.
2. Типы ферментеров для глубинного культивирования микроорганизмов. Достоинства и недостатки различных типов ферментеров.
3. В чем необходимость теории подобия и основные достоинства разработки теории подобия процессов.
4. Что такое условия однозначности. Что они включают в себя.
5. Что такое группа подобных процессов.
6. Геометрическое подобие аппаратов, временное подобие процессов, подобие физических величин, подобие граничных условий и т.п.
7. В каких случаях возможно применение метода размерностей.
8. Как определить количество чисел подобия, входящих в уравнение подобия исследуемого процесса
9. Основные требования к сырьевой базе промышленного микробиологического синтеза.

10. Углеводородное сырье для промышленной биотехнологии. Продукты перегонки нефти. Дизельная фракция прямой перегонки.
11. Получение н-парафинов для культивирования микроорганизмов.
12. Особенности процесса ферментации на различных субстратах
13. Влияние гидродинамических режимов в биореакторах на рост клеточной популяции.
14. Количественная оценка гидродинамики многофазных потоков в биореакторах.
15. Выбор модели структуры потоков в биореакторе.
16. Сущность экспериментальной оценки структуры потоков.
17. Значение функции интенсивности для оценки неоднородностей потока в биореакторах
18. Определение оптимальных режимных гидродинамических параметров работы биореакторов.
19. Расчет систем регулирования температуры культивирования с учетом теплового эффекта микробиологического синтеза
20. Зависимость тепловыделения при микробиологическом синтезе от концентрации биомассы и скорости роста
21. Тепловой баланс ферментера
22. Методы определения скорости абсорбции или биохимического потребления кислорода в биореакторе.
23. Влияние перемешивания в биореакторе на увеличение коэффициента массоотдачи и поверхность контакта фаз.
24. Виды уравнений для расчета коэффициентов массопередачи кислорода (система газ-жидкость) в биореакторах различных конструкций
25. Особенности процесса массопередачи при аэробной ферментации
26. Изменение концентрации растворенного в среде кислорода при накоплении биомассы дрожжей.
27. Влияние концентрации растворенного кислорода на удельную скорость роста микроорганизмов.
28. Исследовательские (лабораторные) ферментационные установки.
29. Формулировка целей, путей достижения, задач исследования работы биореакторов.
30. Методы осуществления мониторинга реализации целей и задач исследований.

**Тестовые вопросы по дисциплине**

**Вопрос 1.** Идеальной жидкостью называется:
**а) жидкость, в которой отсутствует внутреннее трение**;
б) жидкость, подходящая для применения;
в) жидкость, способная сжиматься;
г) жидкость, существующая только в определенных условиях.

**Вопрос 2**. Массу жидкости заключенную в единице объема называют:
**а) весом;**
б) удельным весом;
в) удельной плотностью;
г) плотностью.

**Вопрос 3**. Вес жидкости в единице объема называют:
а) плотностью;
**б) удельным весом;**

в) удельной плотностью;
г) весом.

**Вопрос 4**. Вязкость жидкости это:
**а) способность сопротивляться скольжению или сдвигу слоев жидкости;**
б) способность преодолевать внутреннее трение жидкости;
в) способность преодолевать силу трения жидкости между твердыми стенками;
г) способность перетекать по поверхности за минимальное время.

**Вопрос 5**. Текучестью жидкости называется:
а) величина прямо пропорциональная динамическому коэффициенту вязкости;
**б) величина обратная динамическому коэффициенту вязкости;**
в) величина обратно пропорциональная кинематическому коэффициенту вязкости;
г) величина пропорциональная градусам Энглера.

**Вопрос 6**. Площадь поперечного сечения потока, перпендикулярная направлению движения называется:
а) открытым сечением;
**б) живым сечением;**
в) полным сечением;
г) площадь расхода.

**Вопрос 7**. Объем жидкости, протекающий за единицу времени через живое сечение называется:
**а) расход;**
б) объемный поток;
в) скорость потока;
г) скорость расхода.

**Вопрос 8**. Гидравлическое сопротивление это:
а) сопротивление жидкости к изменению формы своего русла;
б) сопротивление, препятствующее свободному проходу жидкости;
**в) сопротивление трубопровода, которое сопровождается потерями энергии жидкости;**
г) сопротивление, при котором падает скорость движения жидкости по трубопроводу.

**Вопрос 9**. Тепловой поток – это количество теплоты:
**а) Передаваемое в единицу времени через произвольную поверхность.**
б) Передаваемое в единицу времени через единичную площадь.
в) Проходящее в единицу времени через единичную площадь при градиенте температуры, равном единице.

**Вопрос 10**. Коэффициент теплопроводности λ, Вт/(м•К) характеризует:
**а) Способность вещества передавать теплоту.**
б) Интенсивность теплообмена между поверхностью тела и средой.
в) Интенсивность собственного излучения тела.

**Вопрос 11**. Градиент температуры - это:
а) Вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону убывания температуры.
б) Количество теплоты, которое проходит в единицу времени через единицу поверхности.

**в)** Вектор, направленный по нормали к изотермической поверхности в сторону возрастания температуры и численно равный производной от температуры по этому направлению.

**Вопрос 12**. Перенос теплоты при соприкосновении частиц, имеющих различную температуру, называется:

**а) Теплопроводностью.**

б) Конвекцией.

в) Излучением.

**Вопрос 13**. Перенос теплоты макро объемами жидкости или газа, называется:

а) Теплопроводностью.

**б) Конвекцией.**

в) Излучением.

**Вопрос 14**. В каком случае интенсивность теплоотдачи ниже:

а) При кипении.

б) В случае вынужденной конвекции.

**в) В случае свободной конвекции.**

15. О режиме течения жидкости судят по значению числа:

**а) Рейнольдса (Re).**

б) Нуссельта (Nu).

в) Прандтля (Pr).

**Вопрос 16**. Теплоотдачей называется перенос теплоты:

а) От жидкости к жидкости через разделяющую их стенку.

**б) Между потоком жидкости (или газа) и стенкой.**

в) Молекулярный перенос теплоты в телах.

**Вопрос 17**. Коэффициент теплоотдачи α, Вт/(м$^2$•К) характеризует:

а) Способность вещества проводить теплоту.

б) Интенсивность собственного излучения тела.

**в) Интенсивность теплообмена между поверхностью тела и средой.**

**Вопрос 18**. Укажите число Рейнольдса (Re).

**а) α•ℓ$_0$/λ.**

б) w•ℓ0/ν.

в) ν/a.

**Вопрос 19**. Укажите формулу Ньютона-Рихмана (формулу теплоотдачи).

а) $q_w = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n}$.

б) $q_w = c_0 \left( \frac{T_w}{100} \right)^4$.

**в)** $q_w = \alpha (T_w - T_\infty)$.

**Вопрос 20**. Коэффициент теплоотдачи α:

а) рассчитывается из критериального уравнения Рейнольдса

б) рассчитывается из критериального уравнения Прандтля

**в) рассчитывается из критериального уравнения Нуссельта**

г) рассчитывается из критериального уравнения Грасгофа

**Вопрос 21**. Цель_____расчета теплообменника состоит в определении конечных параметров теплоносителей.

**а) поверочного**

б) конструктивного

в) гидравлического

г) технико-экономического

**Вопрос 22**. Твердая поверхность охлаждается в потоком жидкости. Укажите изменение температуры поверхности при уменьшении коэффициента теплоотдачи.

**а) Температура поверхности увеличится.**

б) Температура поверхности уменьшится.

в) Температура поверхности не изменится.

**Вопрос 23**. Теплообменником называют аппарат, предназначенный:

а) для отвода теплоты от теплоносителей

б) для подвода теплоты к теплоносителям

**в) для сообщения теплоты одному из теплоносителей в результате его отвода от другого теплоносителя**

г) для сообщения теплоты одному из теплоносителей в результате его сообщения к другому теплоносителю

**Вопрос 24**. Стальная стенка, толщиной 10 мм с $\lambda_{CT}$ = 50 Вт/(м•К) с двух сторон омывается жидкостью с коэффициентами теплоотдачи $\alpha_1$ = 1000 Вт/(м$^2$•К) и $\alpha_2$ = 10 Вт/(м$^2$•К). Определить коэффициент теплопередачи.

а) 10,1 Вт/(м2•К).

**б) 9,88 Вт/(м2•К).**

в) 9,65 Вт/(м2•К).

**Вопрос 25**. Плоскую поверхность аппарата с температурой 340ºС надо изолировать так, чтобы потери тепла не превышали 300 Вт/м$^2$. Температура на внешней поверхности изоляции 40 ºС. Найти толщину изоляции. $\lambda_{из}$ =0,05 Вт/(м•К).

а) 0,5 м.

**б) 0,05 м.**

в) 0,1 м.

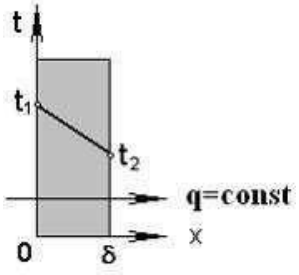
**Вопрос 26**. Если $\lambda$ =1 Вт/(мК), $\delta$=100 мм, $t_1$=500°С, $t_2$=400°С , то плотность теплового потока q в Вт/м2 твердого тела, показанного на рисунке, равна…

**а) 1000**

б) 0,001

в) 100

г) 10




**Вопрос 27**. Найти коэффициент теплопередачи через стенку биореактора, если ее толщина $\delta_{ст}$ = 9 мм, $\lambda_{ст}$ = 90 Вт/(м•К) и она покрыта слоем теплоизоляции $\delta_{из}$= 30 мм, $\lambda_{из}$ = 0,3 Вт/(м•К). Коэффициенты теплоотдачи: $\alpha_1$ = 100 Вт/(м2•К), $\alpha_2$ = 10 Вт/(м$^2$•К), Расчет провести по формулам плоской стенки.

**а) 4,76 Вт/(м$^2$•К)**
б) 0,21 Вт/(м$^2$•К).
в) 9,1 Вт/(м$^2$•К).

**Вопрос 28**. Определите тепловой поток в калорифере (теплообменном аппарате для нагрева воздуха в системе воздухоподготовки и термостатирования реакторов), если в нем нагревается 0,5 кг/с воздуха от $t_1 = -10$ ºС до $t_2 = 40$ ºС. Теплоемкость воздуха принять равной 1,006 кДж/(кг•К).
а) 19,76 кВт.
б) 21,83 кВт.
**в) 25,15 кВт.**

**Вопрос 29**. Тепловой баланс биореактора характеризует равенство между количествами теплоты:
**а) выделяемой и отведенной**
б) подведенной и теряемой
в) теряемой и расходуемой

**Вопрос 30**. Рекуперативным называется теплообменник, у которого:
а) происходит передача теплоты от одного теплоносителя к другому
б) передача теплоты от одного теплоносителя к другому осуществляется через разделяющую их границу раздела
**в) передача теплоты от одного теплоносителя к другому осуществляется через разделяющую их твердую стенку**
г) передача теплоты от одного теплоносителя к другому осуществляется через разделяющую их жидкость

**Ключ к тестовым заданиям:**

| № вопроса | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Ответ | а | а | б | а | б | б | а | в | а | а |
| № вопроса | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| Ответ | в | а | б | в | а | б | в | а | в | в |
| № вопроса | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 |
| Ответ | а | а | в | б | б | а | а | в | а | в |