

**федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова
Министерства здравоохранения Российской Федерации
(Сеченовский Университет)**

Институт фармации им. А.П. Нелюбина
Кафедра биотехнологии

Методические материалы по дисциплине:

Масштабирование процессов

основная профессиональная образовательная программа высшего
профессионального образования - программа бакалавриата

19.03.01 Биотехнология

Раздел дисциплины (тема): **Моделирование и подобие технологических процессов и реакторов**

Контрольные вопросы

1. Что такое подобие геометрических величин?
2. Что такое подобие начальных условий?
3. Что такое подобие граничных условий?
4. При исследовании каких процессов в химической технологии и биотехнологии нашли широкое применение физическое моделирование и теория подобия?
5. В чем заключается преимущество математического моделирования?
6. Опишите метод декомпозиции при анализе биотехнологических систем.
7. Какие процессы являются подобными?
8. Что такое временное подобие?
9. Что такое геометрическое подобие?
10. Что такое моделирование?
11. Что такое модель?
12. Как можно классифицировать модели?
13. Чем математическое моделирование отличается от физического?
14. Что такое теория подобия?
15. На какие вопросы дает ответ теория подобия?
16. Что называется условиями однозначности?
17. Основные задачи теории подобия.
18. Опишите условия однозначности, позволяющие выделить из всего класса процессов конкретный единичный процесс.
19. Опишите функциональные зависимости между переменными, характеризующими подобные процессы.
20. Для чего используется моделирование в биотехнологии?
21. Опишите принцип физического моделирования.
22. Опишите принцип математического моделирования.
23. Что такое критерии подобия? Приведите примеры критериев подобия.
24. В каком порядке проводится исследование технологических процессов методом подобия?
25. В каком порядке проводится преобразование дифференциальных уравнений методом теории подобия?

Раздел дисциплины (тема): **Масштабирование биотехнологических процессов**

Контрольные вопросы

1. Почему концентрация растворенного кислорода может быть использована в качестве критерия масштабирования с целью высокоэффективного и экономичного биосинтеза целевого продукта в промышленных условиях?
2. Какими методами производится контролирование содержания кислорода в воде?
3. Какие существуют критерии масштабного перехода для биотехнологических процессов?
4. Опишите метод масштабирования биотехнологических процессов по удельной мощности перемешивания. В чем заключаются недостатки этого метода?
5. Опишите способ определения мощности, расходуемой на перемешивание механической мешалкой, с использованием критериальных уравнений.
6. Опишите способ определения интенсивности процесса массопереноса в барботажном биореакторе с использованием критериальных уравнений.
7. В чем заключаются особенности масштабирования биотехнологических процессов?
8. В чем заключаются проблемы масштабирования при увеличении объемов аппаратов?
9. Что является центральной проблемой при масштабировании биотехнологических процессов?
10. Что такое масштабирование?
11. Что называется масштабированием «снизу вверх»?
12. Что называется масштабированием «сверху вниз»?
13. В чем заключаются проблемы масштабирования технологических процессов?
14. Что дает использование автоматизированных систем научных исследований?
15. Чем отличаются лабораторные, пилотные и промышленные биореакторы?
16. Охарактеризуйте особенности моделирования биотехнологических процессов.
17. В чем заключается ограничение применения методов теории подобия для масштабирования биотехнологических процессов?
18. Какие критерии можно использовать для масштабирования биотехнологических процессов?
19. Опишите принцип масштабирования «снизу вверх».
20. Опишите принцип масштабирования «сверху вниз».
21. Дайте общую характеристику метода поэтапной отработки технологии производственного процесса.
22. Опишите подход к масштабированию биотехнологических процессов на основе концентрации растворенного кислорода.
23. Опишите метод масштабирования биотехнологических процессов по удельному объемному расходу воздуха. В чем заключаются недостатки этого метода?
24. Опишите метод масштабирования биотехнологических процессов по фиктивной удельной скорости газа. В чем заключаются недостатки этого метода?

Раздел дисциплины (тема): **Способы расчета процессов и аппаратов при масштабном переходе**

Контрольные вопросы

1. Можно ли на практике привести к расчетному виду дифференциальные уравнения молекулярной диффузии?
2. Назовите критерии подобия, характеризующие явления массообмена.
3. Можно ли на практике привести к расчетному виду дифференциальное уравнение массопроводности?
4. Опишите методы теории подобия для получения диффузионных критериев подобия.
5. Опишите, каким образом общее критериальное уравнение конвективной приводится к расчетному виду?
6. Приведите уравнения подобия для расчета коэффициента массотдачи при вынужденной и при естественной конвекции.
7. Опишите, каким образом общее критериальное уравнение массопроводности приводится к расчетному виду? Приведите критериальное уравнение для одномерного потока уравнения.
8. По какому критерию подобия определяется коэффициент теплоотдачи ?
9. Какие тепломассообменные аппараты называются аппаратами идеального смешения?
10. Какие тепломассообменные аппараты называются аппаратами идеального вытеснения?
11. Какие тепломассообменные аппараты называются аппаратами смешанного типа?
12. Эффективность тепломассообменных промышленных аппаратов ниже или выше по сравнению с подобной лабораторной моделью?
13. Как можно выразить движущую силу в реальном аппарате промежуточного типа?
14. Для чего используются гидродинамические модели перемешивания?
15. Опишите псевдосекционную модель перемешивания
16. Опишите диффузионную модель перемешивания.
17. Опишите методы теории подобия для получения расчетных уравнений теплообмена.
18. Составьте общее критериальное уравнение теплоотдачи.
19. Опишите распределение концентраций и температур в рабочем объеме тепломассообменных аппаратов идеального смешения, идеального вытеснения и в аппаратах смешанного типа.
20. Опишите причины понижения эффективности тепломассообменных промышленных аппаратов по сравнению с подобной лабораторной моделью.
21. Как можно рассчитать фактор масштабного перехода, который характеризует влияние гидродинамической обстановки при масштабном переходе на движущую силу процесса?
22. Опишите, каким образом общее критериальное уравнение теплоотдачи приводится к расчетному виду?
23. Опишите, как выглядит критериальное уравнение для стационарного процесса теплообмена, для теплообмена при вынужденной и при естественной конвекции.
24. Приведите уравнения подобия для расчета среднего коэффициента теплоотдачи по окружности одиночной трубы теплообменного аппарата.
25. Приведите уравнения подобия для расчета среднего коэффициента теплоотдачи для аппарата с турбинной мешалкой.

Задачи

Жидкофазная реакция $2A \rightarrow R$ с константой скорости реакции $0,4 \text{ мин}^{-1}$ проводится в реакторе идеального смешения объемом $0,5 \text{ м}^3$. Объемный расход вещества А составляет 20 л/мин . Определить, какую степень превращения можно достигнуть в этих условиях, рассчитать объем реактора идеального вытеснения для достижения той же степени превращения и производительность по продукту R.

Газофазная необратимая реакция второго порядка $A \rightarrow 3R$ исследовалась в опытном реакторе, представляющем собой трубу длиной $1,8 \text{ м}$ и диаметром $2,54 \text{ см}$. реакцию изучали при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ под давлением $4,9 \cdot 10^5 \text{ Па}$. Расход исходной смеси газа составлял $31 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$. Промышленный процесс проводят при температуре $350 \text{ }^\circ\text{C}$ и давлении $2,45 \cdot 10^6 \text{ Па}$. Мощность промышленной установки по газу составляет $2,35 \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$. Исходная газовая смесь содержит 50% вещества А и 50% инерта. Требуемая степень превращения – $0,8$. Определить, какое количество труб указанного размера должен иметь промышленный реактор.

Жидкофазный процесс описывается обратимой реакцией второго порядка $A + B \leftrightarrow R + S$ проводится в реакторе идеального смешения объемом $0,5 \text{ м}^3$. Константа скорости прямой реакции равна $k_1 = 22 \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{мин})$; обратной – $k_2 = 2 \text{ л}/(\text{моль} \cdot \text{мин})$. Потoki веществ А и В подаются в реактор отдельно с концентрациями $C_{A,\text{исх}} = C_{B,\text{исх}}$. После взаимного разбавления потоков: $C_A = 1,6 \text{ кмоль}/\text{м}^3$, а соотношение концентраций $C_{A0} : C_{B0} = 1 : 1,5$. Процесс проводится до достижения концентрации $x_B = 0,6$. Определить объемные потоки исходных веществ и производительность по продукту R. Рассчитать производительность системы, состоящей из трех реакторов указанного объема, соединенных последовательно, при достижении заданной степени превращения.

В аппарате диаметром $D = 1,2 \text{ м}$ и высотой 16 м происходит перемешивание суспензии. Плотность жидкости составляет $1070 \text{ кг}/\text{м}^3$, вязкость жидкости – $0,02 \text{ Па} \cdot \text{с}$. Содержание твердой фазы составляет $0,3$, плотность частиц твердой фазы – $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$. Используется турбинная мешалка. Мощность, потребляемая мешалкой составляет 1490 Вт . Режим перемешивания турбулентный, число Эйлера равно $1,2$. Определить необходимую частоту вращения мешалки. Принять, что диаметр нормализованной мешалки d составляет $d = 0,33D$.

Пользуясь критериальными уравнениями определить коэффициент теплоотдачи при нагревании 500 т/ч воды от 20 до $80 \text{ }^\circ\text{C}$, которая течет по трубе длиной 3 м , диаметром 37 мм со скоростью 1 м/с . Температура стенки трубы составляет $95 \text{ }^\circ\text{C}$. Определить режим течения воды в трубе и вид уравнения для расчета критерия Нуссельта (Nu). Принять критерий Прандтля для стенки трубы $Pr_{\text{ст}} = 1,85$.

Определить число Рейнольдса (Re), вид критериального уравнения для расчета критерия Нуссельта (Nu) и коэффициент теплоотдачи от воздуха к стенке трубчатого теплообменника с диаметром труб 57 мм . Теплоноситель течет внутри труб. Воздух омывает трубы в поперечном направлении. Средняя температура воздуха – $100 \text{ }^\circ\text{C}$, средняя скорость воздуха между трубами – 10 м/с , вязкость воздуха при $100 \text{ }^\circ\text{C}$ – $0,022 \cdot 10 \text{ Па} \cdot \text{с}$, плотность – $0,944 \text{ кг}/\text{м}^3$.