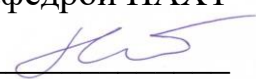




МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Утверждаю
Зав. кафедрой ПАХТ
Клинов А.В. 

Программа вступительного испытания по программе подготовки
научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре
по специальности «2.6.13 Процессы и аппараты химических
технологий»

Казань, 2025

Программа вступительного испытания сформирована на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования по программам специалитета или магистратуры.

1. Вопросы вступительного испытания

ВВЕДЕНИЕ

1. Предмет и задачи курса.
2. Классификация основных процессов химической технологии.
3. Стационарные и нестационарные процессы. Непрерывные и периодические процессы.
4. Проблема масштабного перехода при проектировании промышленных процессов и аппаратов.
5. Краткие исторические сведения о развитии курса процессов и аппаратов химической технологии. Вклад отечественных ученых в науку о процессах и аппаратах химической технологии.

Часть 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОЦЕССОВ ХИМИЧЕСКОЙ ТЕХНОЛОГИИ

6. Равновесное состояние системы. Условия термодинамического равновесия.
7. Механизмы и уравнения переноса импульса (молекулярный, конвективный, турбулентный).
8. Механизмы и уравнения переноса энергии (молекулярный, конвективный, турбулентный).
9. Механизмы и уравнения переноса массы (молекулярный, конвективный, турбулентный).
10. Интегральная форма закона сохранения массы (материальный баланс).
11. Локальная форма закона сохранения массы всей системы (уравнение неразрывности)

12. Локальная форма закона сохранения массы компонента системы (уравнение конвективного переноса массы)
13. Интегральная форма закона сохранения энергии (первый закон термодинамики).
14. Локальная форма закона сохранения энергии (уравнение Фурье-Кирхгофа).
15. Интегральная форма закона сохранения импульса
16. Локальная форма закона сохранения импульса (уравнение Навье-Стокса)
17. Поля скорости, давления, температуры и концентраций, понятие о пограничных слоях
18. Моделирование химико-технологических процессов. Общие сведения о моделировании. Математическое моделирование.
19. Моделирование химико-технологических процессов. Общие сведения о моделировании. Физическое моделирование. Теория подобия.
20. Структура потоков и ее характеристики. Экспериментальное изучение структуры потоков в аппаратах индикаторным методом.
21. Математические модели гидродинамической структуры потоков в аппаратах.
22. Процессы и уравнения массо-, тепло- и импульсоотдачи (Локальная интегральная форма уравнений)
23. Влияние структуры потока в аппарате на среднюю движущую силу процесса
24. Определение коэффициентов массо-, тепло- и импульсоотдачи, подобие соответствующих процессов.
25. Аналогия процессов массо-, тепло- и импульсоотдачи

Часть 2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

26. Предмет и задачи гидромеханики. Гидростатика: абсолютный и относительный покой. Основное уравнение гидростатики.

27. Уравнение расхода. Течение идеальной и реальной жидкости.
Уравнение Бернулли. Потерянный напор.
28. Ламинарное течение вязкой жидкости в трубе круглого сечения.
Уравнение Гагена-Пуазейля.
29. Турбулентное течение вязкой жидкости в трубе круглого сечения.
30. Пленочное течение жидкости. Ламинарный безволновой режим движения
31. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов.
Коэффициенты гидравлического сопротивления и трения.
32. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов.
33. Обтекание твердых тел. Осаждение частиц под действием сил тяжести.
34. Образование и движение газовых пузырей и капель.
35. Течение жидкости через неподвижные зернистые слои и пористые перегородки.
36. Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев.
Пневмотранспорт.
37. Особенности течения неньютоновских жидкостей.
38. Перемешивание в жидких средах. Виды перемешивания.
Интенсивность и эффективность перемешивания.
39. Движение жидкости в аппарате с мешалкой. Расход энергии на перемешивание. Конструкции мешалок, их характеристика и выбор.
40. Транспортирование жидкостей. Классификация насосов (объемных и динамических) их сравнительная характеристика и области применения.
41. Основные параметры насосов: производительность, напор, расход энергии, к.п.д.
42. Графики подачи. Работа центробежного насоса на сеть, рабочая точка.
Пуск и остановка насосов.
43. Конструкции насосов (поршневые, центробежные, осевые, шестеренчатые и др.).

- 44. Сжатие и транспортирование газов. Классификация машин для сжатия и перемещения газов. Степень сжатия. Объемный к.п.д. и производительность. Конструкции и основные области их применения.
- 45. Разделение жидких и газовых неоднородных систем. Классификация и основные характеристики неоднородных систем.
- 46. Отстаивание. Конструкции отстойников и их расчет.
- 47. Осаждение под действием центробежных сил. Циклонный процесс. Конструкции циклонов
- 48. Осаждение под действием центробежных сил. Осадительные центрифуги расчет и конструкции.
- 49. Фильтрация суспензий. Уравнение фильтрования и расчет фильтров.
- 50. Конструкции основных фильтров для разделения газовых неоднородных систем (рукавные, с зернистым слоем и др.).
- 51. Фильтрующие центрифуги.

Часть 3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

- 52. Общие сведения о теплообменных процессах и их виды. Значение теплообменных процессов в химической технологии.
- 53. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности плоской стенки (однослойной и многослойной).
- 54. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки (однослойной и многослойной).
- 55. Тепловое излучение. Теплообмен при излучении. Тепловое излучение газов.
- 56. Конвекция и теплоотдача. Профиль температур в потоке. Тепловой пограничный слой. Закон теплоотдачи Ньютона (уравнение теплоотдачи).
- 57. Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты (уравнение Фурье-Кирхгофа).

58. Подобие процессов теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи.
59. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителей в трубах и каналах. Входной эффект и длина участка гидродинамической и тепловой стабилизации.
60. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании труб.
61. Теплоотдача при конденсации насыщенных паров, виды конденсации – пленочная и капельная, влияние на коэффициент теплоотдачи наличие неконденсирующихся газов.
62. Теплоотдача при кипении, режимы кипения - пузырьковый и пленочный, критический температурный напор.
63. Теплопередача. Уравнение теплопередачи для плоской и цилиндрической стенок при постоянных температурах теплоносителей.
64. Уравнение теплопередачи при переменных температурах теплоносителей. Определение средней движущей силы при прямоточном противоточном, смешанном и перекрестном направлении движения теплоносителей.
65. Влияние гидродинамической структуры потоков на среднюю движущую силу процесса теплопередачи.
66. Определение температуры стенок. Расчет толщины тепловой изоляции аппаратов.
67. Промышленные способы подвода теплоты в химической аппаратуре. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Области применения. Нагревание водяным паром и парами высокотемпературных органических теплоносителей. Нагревание горячими жидкостями. Нагревание топочными газами. Нагревание электрическим током.
68. Промышленные способы отвода теплоты в химической аппаратуре. Классификация метода отвода теплоты. Охлаждение водой и изотемпературными жидкими хладагентами. Охлаждение воздухом. Водоборотные циклы химических производств.

- 69. Теплообменные аппараты. Классификация и конструкции основных поверхностных теплообменников (кожухотрубные, змеевиковые, пластинчатые и др.).
- 70. Конструкции смесительных теплообменников.
- 71. Расчет теплообменников проектный и поверочный и оптимальных режимов их работы.
- 72. Выпаривание. Общие сведения о процессе и области его применения. Методы проведения выпаривания.
- 73. Однокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой баланс. Движущая сила.
- 74. Многокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой баланс.
- 75. Распределение полезной разности температур по корпусам. Предел числа корпусов и оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке.
- 76. Расчет многокорпусных выпарных установок.
- 77. Выпарные аппараты. Классификация и конструкции основных типов выпарных аппаратов (с естественной и принудительной циркуляцией, пленочные, с погружными горелками и др.).

Часть 4. МАССООБМЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ

- 78. Общие сведения о массообменных процессах их классификация. Значение массообменных процессов в химической технологии.
- 79. Условия фазового равновесия. Коэффициент распределения. Выражение для химического потенциала для компонента газовых и жидких смесей.
- 80. Фазовое равновесие в системе пар-жидкость. Соотношение Рауля.
- 81. Фазовое равновесие в системе газ-жидкость. Соотношение Генри.
- 82. Фазовое равновесие в системе жидкость-жидкость.
- 83. Фазовое равновесие в системе твердое тело-жидкость(газ).

84. Уравнения материального баланса, рабочих и равновесных линий массообменных процессов.
85. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Подобие массообменных процессов.
86. Гидродинамический и диффузионный пограничные слои, их связь с процессом массоотдачи.
87. Упрощенные модели массоотдачи (плёночная, турбулентного пограничного диффузионного слоя).
88. Критериальные уравнения для коэффициентов массоотдачи.
89. Основное уравнение массопередачи. Локальная форма. Интегральная форма.
90. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи, (уравнение аддитивности фазовых сопротивлений) средняя движущая сила процессов массопередачи.
91. Влияние гидродинамической структуры потоков на величину средней движущей силы процесса массопередачи.
92. Объёмные коэффициенты массопередачи.
93. Число и высота единиц переноса.
94. Теоретическая ступень изменения концентраций (теоретическая тарелка). Высота, эквивалентная теоретической ступени изменения концентрации.
95. Коэффициент полезного действия колонны. Эффективность ступени по Мерфри. Построение кинетической кривой.
96. Основы расчёта высоты массообменных аппаратов. Определение рабочей высоты массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз (насадочных, плёночных).
97. Определение рабочей высоты аппарата со ступенчатым контактом фаз (тарельчатых).
98. Гидродинамические режимы в колоннах (насадочных, плёночных, тарельчатых).

99. Выбор рабочей скорости движения сплошной фазы в массообменном аппарате.
100. Абсорбция. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Материальный баланс, уравнение рабочих линий, минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента.
101. Неизотермическая абсорбция. Абсорбция, сопровождаемая химической реакцией.
102. Пленочные и насадочные колонны (виды насадок, их характеристики). Выбор насадки.
103. Тарельчатые колонны с организованным и неорганизованным сливом жидкости (ситчатые, провальные и др). Выбор конструкции тарелки.
104. Перегонка жидкостей. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Виды перегонки.
105. Простая перегонка (однократная, многократная).
106. Постепенная дистилляция. Фракционная дистилляция. Дистилляция с дефлегмацией.
107. Ректификация. Принцип ректификации. Схема установки непрерывной ректификации.
108. Материальный и тепловой баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнение линий рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающих частей ректификационной колонны.
109. Минимальное и оптимальное флегмовые числа.
110. Ректификация. Принцип ректификации. Схема установки периодической ректификации.
111. Экстрактивная и азеотропная ректификация. Физико-химические основы этих процессов. Схемы установок для проведения экстрактивной азеотропной ректификации.
112. Жидкостная экстракция. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Одноступенчатая экстракция.

113. Многоступенчатая противоточная экстракция.
114. Многоступенчатая прямоточная и перекрестная экстракция.
115. Конструкции экстракторов. Классификация.
116. Массообмен между жидкостью (газом или паром) и твердым телом.
117. Массоперенос во внешней фазе. Массоперенос в твердой фазе. Массопроводность.
118. Основные характеристики пористых тел (форма пор, их взаимное расположение и соединение, пористость, распределение пор, по размерам, удельная поверхность и коэффициент извилистости пор).
119. Основные виды элементарных процессов массопереноса в пористых телах.
120. Уравнение массопроводности. Критериальное уравнение массоотдачи для массопереноса в твердой фазе.
121. Адсорбция. Общие сведения о процессе и области его применения.
122. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства.
123. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
124. Кинетика периодической равновесной и неравновесной адсорбции.
125. Схемы проведения периодического и непрерывного процесса адсорбции. Конструкции адсорберов.
126. Сушка. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Конвективная и контактная сушка. Формы связи влаги с материалом.
127. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина, изображение на ней процессов нагревания, охлаждения, теоретической и адиабатической сушки. Температуры росы и мокрого термометра.
128. Материальный баланс конвективной сушки.

129. Тепловой баланс конвективной сушки. Линия реальной сушки, ее изображение на диаграмме Рамзина.
130. Кинетика процесса сушки. Тепло-массоперенос в процессе сушки. Периоды постоянной и падающей скоростей сушки и методы расчета скорости сушки.
131. Конвективные сушилки с неподвижным слоем высушиваемого материала (камерные, ленточные и др.).
132. Конвективные сушилки с перемешиванием высушиваемого материала слоем высушиваемого материала.
133. Конвективные сушилки и пневмотранс- шкафы, вальцовые и др.).
134. Растворение. Условия равновесия при растворении. Уравнение кинетики растворения. Определение времени полного растворения.
135. Кристаллизация из растворов. Общие сведения о процессе и области применения. Методы проведения кристаллизации. Равновесие при кристаллизации.
136. Материальный и тепловой балансы кристаллизации.
137. Кинетика кристаллизации. Скорости образования и роста кристаллов.
138. Мембранные процессы. Общие сведения о процессах и области их практического применения. Классификация мембранных процессов (баромембранные, диффузионномембранные, электромембранные).
139. Типы мембран. Основные механизмы мембранных процессов. Кинетика мембранных процессов.
140. Конструкции мембранных аппаратов. Классификация (плоскокамерные, рулонные, трубчатые, полволоконные). Выбор типа мембранного аппарата.
141. Современные проблемы химической технологии. Экология и химическая технология. Новые методы интенсификации и повышения эффективности химико-технологических процессов.

2. Учебно-методическое и информационное обеспечение

2.1. Литература

а) основная литература:

1. Разинов, А.И., Клинов А.В., Дьяконов Г.С. Процессы и аппараты химической технологии: Учебник для вузов – 3-е изд., испр: Изд-во ЛАНЬ, 2022. – 888 с.
2. Разинов, А.И., Клинов А.В., Дьяконов Г.С. Процессы и аппараты химической технологии: учебное пособие – Казань: Изд-во КНИТУ, 2017. – 860 с.
2. Дытнерский Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии. 1, 2 ч. М. - :Химия, 2002. 400, 368с.
3. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. -М: Альянс С, 2005. 750 с.
4. Павлов К.Ф., Романков П.Г., Носков А.А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. - М: Альянс С, 2006.575с.
5. Гельперин Н.И. Основные процессы и аппараты химической технологии – М.: Химия,1981, 811 с.
6. Основные процессы и аппараты химической технологии. Пособие по проектированию.под ред. Ю.И. Дытнерского. М.: Химия, 1991.496 с.

б) дополнительная литература:

1. Разинов А.И. , Маминов О.В., Дьяконов Г.С. Теоретические основы процессов химической технологии: Учебное пособие. Казань: КГТУ, 2005.362 с.
2. Выполнение и оформление курсового проекта по процессам и аппаратам химической технологии: Метод. Указания. Сост. О.В. Маминов и др. КазаньКГТУ, 2002. 40 с.
3. Лащинский А.А., Толчинский А.Г. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. Л.: Машиностроение, 1970.752 с.

4. Клинов, А.В. Лабораторный практикум по математическому моделированию химико-технологических процессов: учебное пособие / А.В. Клинов, А.В. Малыгин; М-во об-раз. и науки РФ, Казан. гос. технол. ун-т. – Казань: КГТУ, 2011. – 100 с.

2.2. Программное обеспечение и Интерне-ресурсы

- <http://www.kstu.ru/1leveltest.jsp?idparent=1818>

- <https://lanbook.com/catalog/khimiya/protsessy-i-apparaty-khimicheskoy-tekhnologii-73228201/>

-

3. Критерии оценки

Оценка знаний проводится в форме устного/письменного ответа на вопросы экзаменационной комиссии. Уровень знаний поступающего оценивается экзаменационной комиссией по стобалльной системе.

Минимальное количество баллов, подтверждающее успешное прохождение вступительного испытания – «60».

Билет вступительного испытания включает два вопроса. Каждый из вопросов билета оценивается баллами от 0 до 50 в соответствии с таблицей.

Критерии	Баллы
Ответ полный, логичный, конкретный, продемонстрированы полные знания	50-41
Ответ полный, с незначительными замечаниями и ошибками	40-31
Ответ неполный, существенные замечания, наличие ошибок и некоторых пробелов в знаниях	30-21
Неполный ответ, наличие ошибок и пробелов в знаниях	20-11
Ответ на поставленный вопрос не дан или несодержателен	10-0