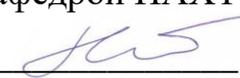




МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

---

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, 2022

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. Аналогия процессов переноса
19. Моделирование химико-технологических процессов. Общие сведения о моделировании.
20. Математическое моделирование.
21. Физическое моделирование. Теория подобия.
22. Структура потоков и ее характеристики. Экспериментальное изучение структуры потоков в аппаратах индикаторным методом.
23. Математические модели гидродинамической структуры потоков в аппаратах.
24. Процессы и уравнения массо-, тепло- и импульсоотдачи (Локальная интегральная форма уравнений)
25. Влияние структуры потока в аппарате на среднюю движущую силу процесса
26. Определение коэффициентов массо-, тепло- и импульсоотдачи, подобие соответствующих процессов.
27. Аналогия процессов массо-, тепло- и импульсоотдачи
28. Уравнения массо-, тепло- и импульсопередачи (Локальная и интегральная форма уравнений)

## **Часть 2. ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

29. Предмет и задачи гидромеханики. Гидростатика: абсолютный и относительный покой. Основное уравнение гидростатики.
30. Уравнение расхода. Течение идеальной и реальной жидкости. Уравнение Бернулли. Потерянный напор.
31. Уравнение Гагена-Пуазейля. Коэффициенты гидравлического сопротивления и трения
32. Ламинарное течение вязкой жидкости в трубе круглого сечения.
33. Турбулентное течение вязкой жидкости в трубе круглого сечения.
34. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов.
35. Течение жидкости через неподвижные зернистые слои и пористые перегородки.
36. Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев. Пневмотранспорт.
37. Элементы гидродинамики двухфазных потоков в системах газ (пар)-жидкость и жидкость-жидкость. Пленочное течение жидкости. Движение газа через слой жидкости (барботаж). Движение капель жидкости в сплошной среде.
38. Особенности течения неньютоновских жидкостей.
39. Перемешивание в жидких средах. Виды перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания.
40. Движение жидкости в аппарате с мешалкой. Расход энергии на перемешивание.
41. Конструкции мешалок, их характеристика и выбор.
42. Пневматическое перемешивание. Определение давления и расхода газа. Циркуляционное перемешивание.
43. Транспортирование жидкостей. Классификация насосов (объемных и динамических) их сравнительная характеристика и области применения.

44. Основные параметры насосов: производительность, напор, расход энергии, к.п.д.
45. Графики подачи. Работа центробежного насоса на сеть, рабочая точка. Пуск и остановка насосов.
46. Конструкции насосов (поршневые, центробежные, осевые, шестеренчатые и др.).
47. 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.
48. Разделение жидких и газовых неоднородных систем. Классификация и основные характеристики неоднородных систем.
49. Разделение в поле действия сил тяжести. Отстаивание. Конструкции отстойников и их расчет.
50. Разделение под действием сил разности давления. Фильтрация. Виды осадков (сжимаемые и несжимаемые).
51. Скорость фильтрации и ее зависимость от основных факторов (перепада давления, температуры).
52. Конструкции основных фильтров для разделения газовых неоднородных систем (рукавные, с зернистым слоем и др.).
53. Основы расчета фильтров: отстаивание и центробежное фильтрование.
54. Циклонный процесс. Фактор разделения. Конструкции циклонов
55. Центрифугирование. Классификация центрифуг.
56. Конструкции основных фильтрующих и отстойных центрифуг периодического и непрерывного действия.
57. Расчет производительности центрифуг и расхода энергии на центрифугирование.
58. Очистка газов в электрическом поле. Конструкции основных электрофильтров (трубчатых и пластинчатых).
59. Мокрая очистка газов. Конструкции основных типов мокрых пылеуловителей (тарельчатые, насадочные и др.).

### **Часть 3. ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ И АППАРАТЫ**

60. Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи.
61. Стационарный и нестационарный перенос теплоты. Понятие о температурном поле, изотермической поверхности, температурном градиенте.
62. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности Фурье.
63. Уравнение теплопроводности плоской стенки (однослойной и многослойной).
64. Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки (однослойной и многослойной).
65. Тепловое излучение. Теплообмен при излучении. Тепловое излучение газов.
66. Конвекция и теплоотдача. Профиль температур в потоке. Тепловой пограничный слой. Закон теплоотдачи Ньютона (уравнение теплоотдачи).
67. Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты (уравнение Фурье-Кирхгофа).
68. Подобие процессов теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи.
69. Анализ теплоотдачи в турбулентном потоке. Коэффициенты турбулентной теплопроводности и температуропроводности.
70. Условия подобия полей температур и скоростей в турбулентном потоке. Аналогия Рейнольдса.
71. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителей в трубах и каналах. Входной эффект и длина участка гидродинамической и тепловой стабилизации.
72. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании труб.
73. Теплоотдача при естественной конвекции.
74. Теплоотдача в аппаратах с механическими мешалками.

75. Теплоотдача к пленке жидкости.
76. Теплоотдача при конденсации насыщенных паров, виды конденсации – пленочная и капельная, влияние на коэффициент теплоотдачи наличие неконденсирующихся газов.
77. Теплоотдача при кипении, режимы кипения - пузырьковый и пленочный, критический температурный напор.
78. Расчет потерь тепла в окружающую среду.
79. Теплоотдача при непосредственном контакте теплоносителей (в системах газ-жидкость, газ – твердое тело).
80. Теплопередача. Уравнение теплопередачи для плоской и цилиндрической стенок при постоянных температурах теплоносителей.
81. Уравнение теплопередачи при переменных температурах теплоносителей. Определение средней движущей силы при прямоточном противоточном, смешанном и перекрестном направлении движения теплоносителей.
82. Влияние гидродинамической структуры потоков на среднюю движущую силу процесса теплопередачи.
83. Определение температуры стенок. Расчет толщины тепловой изоляции аппаратов.
84. Теплопередача при нестационарном режиме. Определение времени нагревания или охлаждения теплоносителей до заданной температуры.
85. Методы интенсификации процессов теплоотдачи.
86. 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.
87. Промышленные способы отвода теплоты в химической аппаратуре. Классификация метода отвода теплоты. Охлаждение водой и

- изкотемпературными жидкими хладагентами. Охлаждение воздухом.  
Водооборотные циклы химических производств.
88. Теплообменные аппараты. Классификация и конструкции основных поверхностных теплообменников (кожухотрубные, змеевиковые, пластинчатые и др.).
  89. Конструкции смесительных теплообменников.
  90. Расчет теплообменников проектный и поверочный и оптимальных режимов их работы.
  91. Выпаривание. Общие сведения о процессе и области его применения. Методы проведения выпаривания.
  92. Однокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой баланс. Движущая сила.
  93. Многокорпусное выпаривание. Материальный и тепловой баланс.
  94. Распределение полезной разности температур по корпусам. Предел числа корпусов и оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке.
  95. Расчет многокорпусных выпарных установок.
  96. 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**

97. Общие сведения о массообменных процессах их классификация. Значение массообменных процессов в химической технологии.
98. Условия фазового равновесия. Коэффициент распределения. Выражение для химического потенциала для компонента газовых и жидких смесей.
99. Фазовое равновесие в системе пар-жидкость. Соотношение Рауля.
100. Фазовое равновесие в системе газ-жидкость. Соотношение Генри.

101. Фазовое равновесие в системе жидкость-жидкость.
102. Фазовое равновесие в системе твердое тело-жидкость(газ).
103. Уравнения материального баланса, рабочих и равновесных линий массообменных процессов.
104. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии. Подобие массообменных процессов.
105. Гидродинамический и диффузионный пограничные слои, их связь с процессом массотдачи.
106. Упрощенные модели массоотдачи (пленочная, турбулентного пограничного диффузионного слоя).
107. Упрощенные модели массоотдачи (проницания, обновления поверхности).
108. Критериальные уравнения для коэффициентов массоотдачи.
109. Основное уравнение массопередачи. Локальная форма. Интегральная форма.
110. Выражение коэффициента массопередачи через коэффициенты массоотдачи, (уравнение аддитивности фазовых сопротивлений) средняя движущая сила процессов массопередачи.
111. Влияние гидродинамической структуры потоков на величину средней движущей силы процесса массопередачи.
112. Объемные коэффициенты массопередачи.
113. Число единиц переноса. Высота единиц переноса.
114. Теоретическая ступень изменения концентраций (теоретическая тарелка). Высота, эквивалентная теоретической ступени изменения концентрации.
115. Коэффициент массопередачи и число единиц переноса отнесенные к рабочей площади тарелки.
116. Коэффициент полезного действия колонны. Эффективность ступени по Мерффри.

117. Основы расчета высоты массообменных аппаратов. Определение рабочей высоты массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз (насадочных, пленочных).
118. Определение рабочей высоты аппарата со ступенчатым контактом фаз (тарельчатых).
119. Построение кинетической кривой. Явление брызгоуноса в тарельчатых аппаратах.
120. Гидродинамические режимы в колоннах (насадочных, пленочных, тарельчатых).
121. Выбор рабочей скорости движения сплошной фазы в массообменном аппарате.
122. Абсорбция. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
123. Материальный баланс абсорбции. Уравнение рабочих линий для прямоточной и противоточной схемы процесса абсорбции.
124. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Условия проведения абсорбции и десорбции. Схема абсорбционной установки.
125. Неизотермическая абсорбция. Абсорбция, сопровождаемая химической реакцией.
126. Конструкции абсорберов. Классификация.
127. Пленочные и насадочные колонны (виды насадок, их характеристики). Выбор насадки.
128. Тарельчатые колонны с организованным и неорганизованным сливом жидкости (ситчатые, провальные и др). Выбор конструкции тарелки.
129. Абсорберы с разбрызгиванием жидкости. Сравнительная характеристика абсорберов и тенденции их совершенствования.
130. Схема расчета насадочного абсорбера.

131. Перегонка жидкостей. Общие сведения о процессе и области его практического применения. Виды перегонки.
132. Равновесие в системе пар-жидкость. Виды диаграмм равновесия в двухкомпонентных парожидкостных системах.
133. Простая перегонка (однократная, многократная).
134. Постепенная дистилляция. Фракционная дистилляция. Дистилляция с дефлегмацией.
135. Перегонка с водяным паром.
136. Ректификация. Принцип ректификации. Схема установки непрерывной ректификации.
137. Ректификация. Принцип ректификации. Схема установки периодической ректификации.
138. Материальный и тепловой баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнение линий рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающих частей ректификационной колонны.
139. Минимальное и оптимальное флегмовые числа.
140. Схема расчета ректификационной тарельчатой колонны непрерывного действия.
141. Конструкции ректификационных аппаратов. Особенности устройства ректификационных колонн.
142. Экстрактивная и азеотропная ректификация. Физико-химические основы этих процессов.
143. Схемы установок для проведения экстрактивной азеотропной ректификации.
144. Жидкостная экстракция. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
145. Основные схемы проведения экстракционных процессов. Материальный баланс.
146. Одноступенчатая и многоступенчатая противоточная экстракция.
147. Одноступенчатая и многоступенчатая прямоточная экстракция.

148. Особенности расчета экстракционных аппаратов. Пути интенсификации процессов экстракции.
149. Конструкции экстракторов. Классификация.
150. Гравитационные экстракторы с непрерывным контактом фаз: распылительные, насадочные.
151. Экстракторы со ступенчатым контактом фаз (смесительно - отстойные, тарельчатые).
152. Механические экстракторы с непрерывным контактом фаз (ротаторные, пульсационные и др.).
153. Выбор типа экстрактора. Сравнительная характеристика экстракторов и тенденции их совершенствования.
154. Массообмен между жидкостью (газом или паром) и твердым телом.
155. Массоперенос во внешней фазе. Массоперенос в твердой фазе. Массопроводность.
156. Основные характеристики пористых тел (форма пор, их взаимное расположение и соединение, пористость, распределение пор, по размерам, удельная поверхность и коэффициент извилистости пор).
157. Основные виды элементарных процессов массопереноса в пористых телах.
158. Уравнение массопроводности. Критериальное уравнение массоотдачи для массопереноса в твердой фазе.
159. Адсорбция. Общие сведения о процессе и области его применения.
160. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства.
161. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
162. Материальный баланс адсорбции.
163. Динамика равновесной и неравновесной адсорбции.
164. Расчет адсорберов.
165. Десорбция, способы ее проведения и расчета.

166. Схемы проведения периодического и непрерывного процесса адсорбции.
167. Ионный обмен. Равновесие при ионном обмене. Динамика ионного обмена.
168. Расчет ионообменных аппаратов.
169. Конструкции адсорберов и ионообменников. Аппараты с неподвижным, псевдооживленным и плотно движущимся слоем зернистого материала.
170. Сушка. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
171. Конвективная и контактная сушка. Формы связи влаги с материалом.
172. Основные параметры влажного воздуха. I-x диаграмма Рамзина, изображение на ней процессов нагревания, охлаждения, теоретической и адиабатической сушки. Температуры росы и мокрого термометра.
173. Равновесие и скорость сушки.
174. Материальный баланс конвективной сушки.
175. Тепловой баланс конвективной сушки. Линия реальной сушки, ее изображение на диаграмме Рамзина.
176. Варианты организации проведения конвективной сушки.
177. Кинетика процесса сушки. Тепло-массообнос в процессе сушки. Кинетические кривые сушки.
178. Периоды постоянной и падающей скоростей сушки и методы расчета скорости сушки при этих условиях
179. Методы интенсификации процессов сушки.
180. Схема расчета конвективной сушилки.
181. Конструкция сушилок. Классификация.
182. Конвективные сушилки с неподвижным слоем высушиваемого материала (камерные, ленточные и др.).

183. Конвективные сушилки с перемешиванием высушиваемого материала слоем высушиваемого материала.
184. Конвективные сушилки и пневмотранс- шкафы, вальцовые и др.).
185. Специальные виды сушки: радиационная, сублимационная, токами высокой частоты.
186. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело - жидкость.
187. Растворение. Условия равновесия при растворении. Уравнение кинетики растворения. Определение времени полного растворения.
188. Экстрагирование растворенного вещества. Кинетика процессов.
189. Способы экстрагирования и растворения замкнутый периодический процесс, проточный и противоточный процессы, процесс в неподвижном слое.
190. Кристаллизация из растворов и расплавов. Общие сведения о процессе и области применения.
191. Методы проведения кристаллизации.
192. Равновесие при кристаллизации.
193. Материальный и тепловой балансы кристаллизации.
194. Кинетика кристаллизации. Скорости образования и роста кристаллов.
195. Способы разделения смесей кристаллизацией, многократной перекристаллизацией.
196. Конструкции кристаллизаторов. Классификация.
197. Кристаллизаторы с удалением части растворителя.
198. Кристаллизаторы с охлаждением раствора.
199. Барабанные кристаллизаторы.
200. Вакуум-кристаллизаторы.
201. Кристаллизаторы с псевдоожиженным слоем.
202. Пути интенсификации процесса кристаллизации.

203. Мембранные процессы. Общие сведения о процессах и области их практического применения.
204. Классификация мембранных процессов (баромембранные, диффузионномембранные, электромембранные).
205. Типы мембран. Основы механизма мембранных процессов.
206. Кинетика мембранных процессов.
207. Явление концентрационной поляризации и методы снижения его влияния на мембранные процессы.
208. Предподготовка смесей перед мембранным разделением. Методы очистки (регенерации) мембран.
209. Расчет мембранных процессов и аппаратов вытеснения.
210. Пути интенсификации мембранных процессов.
211. Конструкции мембранных аппаратов. Классификация (плоскокамерные, рулонные, трубчатые, половолоконные). Выбор типа мембранного аппарата.
212. 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. Лещинский 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