

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»  
(ФГБОУ ВО КНИТУ)

**УТВЕРЖДАЮ**

 Зав.каф. ПАХТ  
Клинов А.В.  
« 04 » сентября 2018 г.

**Программа вступительного испытания в аспирантуру по направлению  
18.06.01 – Химические технологии**

Направленность – «Процессы и аппараты химических технологий»

Казань 2018г.

## ***1. Вопросы программы вступительного испытания в аспирантуру***

### **ВВЕДЕНИЕ**

1. Предмет и задачи курса.
2. Классификация основных процессов химической технологии.
3. Стационарные и нестационарные процессы. Непрерывные и периодические процессы.
4. Значение процессов и аппаратов химической технологии в решении народнохозяйственных и экологических проблем.
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. Механизмы переноса (Молекулярный механизм. Конвективный механизм. Турбулентный механизм)
7. Условия макроскопического проявления (движущая сила) и направление процессов переноса
8. Уравнения переноса (Перенос массы. Перенос энергии. Перенос импульса)
9. Интегральная форма закона сохранения массы (материальный баланс)
10. Локальная форма закона сохранения массы (уравнение неразрывности)
11. Интегральная форма закона сохранения энергии (первый закон термодинамики)
12. Локальная форма закона сохранения энергии (уравнение Фурье-Кирхгофа)
13. Интегральная форма закона сохранения импульса
14. Локальная форма закона сохранения импульса (уравнение Навье-Стокса)
15. Исчерпывающее описание процессов переноса
16. Поля скорости, давления, температуры и концентраций, понятие о пограничных слоях
17. Аналогия процессов переноса
18. Моделирование химико-технологических процессов. Общие сведения о моделировании.
19. Значение моделирования при исследовании и проектировании химико-технологических процессов.
20. Математическое моделирование
21. Физическое моделирование. Теория подобия
22. Основные этапы физического моделирования
23. Проблема масштабного перехода при проектировании промышленных аппаратов
24. Моделирование гидродинамической структуры потоков в аппаратах
25. Структура потоков и ее характеристики
26. Математическое моделирование структуры потоков
27. Уравнения массо-, тепло- и импульсоотдачи (Локальная форма уравнений. Интегральная форма уравнений)
28. Влияние структуры потока в аппарате на движущую силу процесса
29. Нахождение коэффициентов массо-, тепло- и импульсоотдачи, подобие соответствующих процессов
30. Аналогия процессов массо-, тепло- и импульсоотдачи

31. Уравнения массо-, тепло- и импульсопередачи (Локальная форма уравнений. Интегральная форма уравнений)

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

32. Предмет и задачи гидромеханики. Гидростатика: абсолютный покой
33. Гидростатика: относительный покой.
34. Уравнение Бернулли (для идеальной жидкости, потерянный напор и потерянное давление, коэффициенты гидравлического сопротивления и трения).
35. Уравнение Гагена-Пуазейля.
36. Гидравлическое сопротивление трубопроводов и аппаратов.
37. Расчет диаметра трубопроводов и аппаратов. Определение расхода жидкостей и газов.
38. Течение жидкости через неподвижные зернистые слои и пористые перегородки.
39. Гидродинамика псевдооживленных (кипящих) слоев. Пневмотранспорт.
40. 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.
41. Особенности течения неньютоновских жидкостей.
42. Перемешивание в жидких средах. Виды перемешивания. Интенсивность и эффективность перемешивания.
43. Движение жидкости в аппарате с мешалкой. Расход энергии на перемешивание. Конструкции мешалок, их характеристика и выбор.
44. Пневматическое перемешивание. Определение давления и расхода газа. Циркуляционное перемешивание.
45. Транспортирование жидкостей. Классификация насосов (объемных и динамических).
46. Основные параметры насосов: производительность, напор, расход энергии, к.п.д.
47. Объемные и динамические насосы, их сравнительная характеристика и области применения.
48. Графики подачи. Работа центробежного насоса на сеть, рабочая точка. Пуск и остановка насосов.
49. Конструкции насосов (поршневые, центробежные, осевые, шестеренчатые и др.).
50. 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.
51. Разделение жидких и газовых неоднородных систем. Классификация и основные характеристики неоднородных систем.
52. Основные способы разделения неоднородных систем и их экологическое значение.
53. Разделение в поле действия сил тяжести. Отстаивание. Конструкции отстойников и их расчет.
54. Разделение под действием сил разности давления. Фильтрация. Виды осадков (сжимаемые и несжимаемые).
55. Скорость фильтрования и ее зависимость от основных факторов (перепада давления, температуры) (фильтрпрессы, барабанные и др.).
56. Конструкции основных фильтров для разделения газовых неоднородных систем (рукавные, с зернистым слоем и др.).
57. Основы расчета фильтров: отстаивание и центробежное фильтрование.
58. Циклонный процесс. Фактор разделения.
59. Центрифугирование. Классификация центрифуг.

60. Конструкции основных фильтрующих и отстойных центрифуг периодического и непрерывного действия.
61. Расчет производительности центрифуг и расхода энергии на центрифугирование.
62. Очистка газов в электрическом поле. Конструкции основных электрофильтров (трубчатых и пластинчатых).
63. Мокрая очистка газов. Конструкции основных типов мокрых пылеуловителей (тарельчатые, насадочные и др.).

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

64. Значение процессов теплообмена в химической промышленности. Виды переноса теплоты, их характеристика. Основы теплопередачи.
65. Стационарный и нестационарный перенос теплоты. Понятие о температурном поле, изотермической поверхности, температурном градиенте.
66. Теплопроводность. Уравнение теплопроводности Фурье.
67. Дифференциальное уравнение теплопроводности в неподвижной среде.
68. Уравнение теплопроводности плоской стенки (однослойной и многослойной).
69. Уравнение теплопроводности цилиндрической стенки.
70. Тепловое излучение. Теплообмен при излучении. Тепловое излучение газов.
71. Конвекция и теплоотдача. Профиль температур в потоке. Тепловой пограничный слой.
72. Закон теплоотдачи Ньютона (уравнение теплоотдачи).
73. Дифференциальное уравнение конвективного переноса теплоты (уравнение Фурье-Кирхгофа).
74. Подобие процессов теплоотдачи. Критериальное уравнение теплоотдачи.
75. Анализ теплоотдачи в турбулентном потоке. Коэффициенты турбулентной теплопроводности и температуропроводности.
76. Условия подобия полей температур и скоростей в турбулентном потоке. Аналогия Рейнольдса, фактор теплопереноса.
77. Теплоотдача при вынужденном движении теплоносителей в трубах и каналах. Входной эффект и длина участка гидродинамической и тепловой стабилизации.
78. Теплоотдача при вынужденном поперечном обтекании труб.
79. Теплоотдача при естественной конвекции.
80. Теплоотдача в аппаратах с механическими мешалками.
81. Теплоотдача к пленке жидкости.
82. Теплоотдача при конденсации насыщенных паров, виды конденсации - пленочная и капельная, влияние на коэффициент теплоотдачи наличие неконденсирующихся газов.
83. Теплоотдача при кипении, режимы кипения - пузырьковый и пленочный, критический температурный напор.
84. Радиационно-конвективная теплоотдача.
85. Расчет потерь тепла в окружающую среду.
86. Теплоотдача при непосредственном контакте теплоносителей (в системах газ-жидкость, газ - твердое тело).
87. Теплопередача. Уравнение теплопередачи для плоской и цилиндрической стенок при постоянных температурах теплоносителей.
88. Связь между коэффициентом теплопередачи и коэффициентами теплоотдачи (уравнение аддитивности термических сопротивлений).
89. Уравнение теплопередачи при переменных температурах теплоносителей.
90. Определение средней движущей силы при прямоточном противоточном, смешанном и перекрестном направлении движения теплоносителей.

91. Влияние гидродинамической структуры потоков на среднюю движущую силу процесса теплопередачи.
92. Определение температуры стенок. Расчет толщины тепловой изоляции аппаратов.
93. Теплопередача при нестационарном режиме. Определение времени нагрева или охлаждения теплоносителей до заданной температуры.
94. Методы интенсификации процессов теплоотдачи.
95. Промышленные способы подвода теплоты в химической аппаратуре
96. Классификация методов подвода теплоты. Требования, предъявляемые к теплоносителям. Области применения. Нагревание водяным паром и парами высокотемпературных органических теплоносителей. Нагревание горячими жидкостями. Нагревание топочными газами. Нагревание электрическим током.
97. Промышленные способы отвода теплоты в химической аппаратуре. Классификация метода отвода теплоты. Охлаждение водой и низкотемпературными жидкими хладагентами. Охлаждение воздухом. Водоборотные циклы химических производств.
98. Теплообменные аппараты. Классификация и конструкции основных поверхностных теплообменников (кожухотрубные, змеевиковые, пластинчатые и др.).
99. Конструкции смесительных теплообменников. Расчет теплообменников проектный и поверочный и оптимальных режимов их работы.
100. Выпаривание. Общие сведения о процессе и области его применения.
101. Методы проведения выпаривания.
102. Однокорпусные и многокорпусные выпарные установки.
103. Температурные потери в выпарной установке.
104. Материальный и тепловой баланс однокорпусной и многокорпусной выпарных установок.
105. Распределение полезной разности температур по корпусам. Предел числа корпусов и оптимальное число корпусов в многокорпусной выпарной установке.
106. Расчет многокорпусных выпарных установок.
107. 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**

108. Общие сведения о массообменных процессах. Значение массообменных процессов в химической технологии.
109. Классификация и общая характеристика массообменных процессов. Значение этих процессов при решении экологических проблем.
110. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Выражение для химического потенциала в газовой фазе, коэффициент летучести.
111. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Выражение для химического потенциала в жидкой фазе, коэффициенты активности.
112. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе пар-жидкость.
113. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе газ-жидкость.
114. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе жидкость-жидкость.
115. Фазовое равновесие. Коэффициент распределения. Летучесть. Равновесие в системе твердое тело-жидкость.

116. Уравнения материального баланса, рабочих и равновесных линий массообменных процессов.
117. Аналогия тепло-и массообмена. Пленочная модель массоотдачи.
118. Аналогия тепло-и массообмена. Модель турбулентного пограничного диффузионного слоя.
119. Аналогия тепло-и массообмена. Модель проникания.
120. Аналогия тепло-и массообмена. Модель обновления поверхности.
121. Материальный баланс и уравнение линии рабочих концентраций.
122. Движущая сила массообменных процессов.
123. Конвекция и массоотдача. Профиль концентраций в турбулентном потоке.
124. Гидродинамический и диффузионный пограничные слои.
125. Понятие о турбулентной диффузии.
126. Теоретические модели переноса массы.
127. Уравнение массоотдачи.
128. Дифференциальное уравнение конвективной диффузии.
129. Преобразование дифференциальных уравнений переноса массы методами теории подобия. Критериальное уравнение массоотдачи.
130. Выражение коэффициента массоотдачи через коэффициенты массоотдачи, (уравнение аддитивности фазовых сопротивлений) средняя движущая сила процессов массоотдачи и массопередачи.
131. Основное уравнение массопередачи. Локальная форма. Интегральная форма.
132. Модифицированные уравнения массопередачи.
133. Влияние гидродинамической структуры потоков на величину средней движущей силы процесса массопередачи.
134. Основы расчета высоты массообменных аппаратов. Определение рабочей высоты массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз (насадочных, пленочных).
135. Объемные коэффициенты массопередачи.
136. Число единиц переноса. Высота единиц переноса.
137. Теоретическая ступень изменения концентраций (теоретическая тарелка).
138. Высота, эквивалентная теоретической ступени изменения концентрации.
139. Определение рабочей высоты аппарата со ступенчатым контактом фаз (тарельчатых).
140. Коэффициент массопередачи и число единиц переноса отнесенные к рабочей площади тарелки.
141. Коэффициент полезного действия колонны. Эффективность ступени по Мерффи.
142. Построение кинетической кривой. Явление брызгоуноса в тарельчатых аппаратах.
143. Гидродинамические режимы в колоннах (насадочных, пленочных, тарельчатых).
144. Выбор рабочей скорости движения сплошной фазы в аппарате.
145. Абсорбция. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
146. Равновесие при абсорбции. Закон Генри.
147. Материальный баланс абсорбции. Уравнение линии рабочих концентраций.
148. Минимальный и оптимальный удельные расходы абсорбента. Условия проведения абсорбции и десорбции. Схема абсорбционной установки.
149. Неизотермическая абсорбция. Абсорбция, сопровождаемая химической реакцией.

150. Прямоточная и противоточная схемы процесса абсорбции, уравнения рабочих линий, выбор оптимального расхода абсорбента.
151. Конструкции абсорберов. Классификация.
152. Пленочные и насадочные колонны (виды насадок, их характеристики).
153. Выбор насадки.
154. Тарельчатые колонны с организованным и неорганизованным сливом жидкости (ситчатые, провальные и др).
155. Выбор конструкции тарелки.
156. Абсорберы с разбрызгиванием жидкости. Сравнительная характеристика абсорберов и тенденции их совершенствования.
157. Схема расчета насадочного абсорбера.
158. Перегонка жидкостей. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
159. Виды перегонки - простая перегонка и ректификация.
160. Равновесие в системе пар-жидкость. Закон Рауля. Уравнение линии равновесия.
161. Перегонка бинарных смесей. Общие сведения. Равновесие в двухкомпонентных парожидкостных системах.
162. Простая перегонка с дефлегмацией.
163. Материальный баланс простой перегонки.
164. Молекулярная дистилляция. Однократная дистилляция. Многократная дистилляция.
165. Постепенная дистилляция. Фракционная дистилляция. Дистилляция с дефлегмацией.
166. Перегонка с водяным паром.
167. Ректификация. Принцип ректификации.
168. Схема установки непрерывной ректификации.
169. Схема установки периодической ректификации.
170. Материальный баланс непрерывной ректификации бинарных смесей. Уравнение линий рабочих концентраций укрепляющей и исчерпывающих частей ректификационной колонны.
171. Непрерывная ректификация: материальный баланс, допущения, рабочие линии. Особенности периодической ректификации.
172. Минимальное и оптимальное флегмовые числа. Тепловой баланс ректификационной установки.
173. Тепловой баланс ректификационной колонны. Зависимость размеров колонны (высота и диаметр) и расход теплоты от величины флегмового числа.
174. Совместный тепло-массоперенос при ректификации
175. Схема расчета ректификационной тарельчатой колонны непрерывного действия.
176. Конструкции ректификационных аппаратов. Особенности устройства ректификационных колонн.
177. Экстрактивная и азеотропная ректификация. Физико-химические основы этих процессов.
178. Схемы установок для проведения экстрактивной азеотропной ректификации.
179. Жидкостная экстракция. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
180. Основные схемы проведения экстракционных процессов (без регенерации и с регенерацией экстрагента, сочетание жидкость).
181. Материальный баланс.

182. Одноступенчатая и многоступенчатая противоточная экстракция. Массопередача при экстракции.
183. Особенности расчета экстракционных аппаратов. Пути интенсификации процессов экстракции.
184. Конструкции экстракторов. Классификация.
185. Гравитационные экстракторы с непрерывным контактом фаз: распылительные, насадочные.
186. Экстракторы со ступенчатым контактом фаз (смесительно - отстойные, тарельчатые).
187. Механические экстракторы с непрерывным контактом фаз (ротаторные, пульсационные и др.).
188. Выбор типа экстрактора. Сравнительная характеристика экстракторов и тенденции их совершенствования.
189. Массообмен между жидкостью (газом или паром) и твердым телом.
190. Особенности массопередачи в системах с твердой фазой.
191. Массоперенос во внешней фазе. Массоперенос в твердой фазе. Массопроводность.
192. Основные характеристики пористых тел (форма пор, их взаимное расположение и соединение, пористость, распределение пор, по размерам, удельная поверхность и коэффициент извилистости пор).
193. Основные виды элементарных процессов массопереноса в пористых телах.
194. Уравнение массопроводности.
195. Критериальное уравнение массоотдачи для массопереноса в твердой фазе.
196. Уравнение массопередачи для систем с участием твердого тела.
197. Адсорбция. Общие сведения о процессе и области его применения.
198. Основные промышленные адсорбенты, их структура и свойства.
199. Равновесие при адсорбции. Изотермы адсорбции.
200. Материальный баланс адсорбции.
201. Динамика равновесной и неравновесной адсорбции.
202. Расчет адсорберов.
203. Десорбция, способы ее проведения и расчета.
204. Схемы проведения периодического и непрерывного процесса адсорбции.
205. Ионный обмен. Равновесие при ионном обмене. Динамика ионного обмена. Расчет ионообменных аппаратов.
206. Конструкции адсорберов и ионообменников. Аппараты с неподвижным, псевдооживленным и плотно движущимся слоем зернистого материала.
207. Сушка. Общие сведения о процессе и области его практического применения.
208. Конвективная и контактная сушка. Формы связи влаги с материалом.
209. Основные параметры влажного воздуха.
210. Равновесие и скорость сушки.
211. Материальный баланс конвективной сушки.
212. Тепловой баланс конвективной сушки. Линия реальной сушки, ее изображение на диаграмме Рамзина.
213. Варианты организации проведения конвективной сушки.
214. Кинетика процесса сушки. Тепло-массоперенос в процессе сушки. Кинетические кривые сушки.
215. I-х диаграмма Рамзина, изображение на ней процессов нагревания, охлаждения, теоретической и адиабатической сушки. Температуры росы и мокрого термометра.

216. Периоды постоянной и падающей скоростей сушки и методы расчета скорости сушки при этих условиях
217. Методы интенсификации процессов сушки.
218. Схема расчета конвективной сушилки.
219. Конструкция сушилок. Классификация.
220. Конвективные сушилки с неподвижным слоем высушиваемого материала (камерные, ленточные и др.).
221. Конвективные сушилки с перемешиванием высушиваемого материала слоем высушиваемого материала.
222. Конвективные сушилки и пневмотранс- шкафы, вальцовые и др.).
223. Специальные виды сушки: радиационная, сублимационная, токами высокой частоты.
224. Растворение и экстрагирование в системе твердое тело - жидкость.
225. Растворение. Условия равновесия при растворении. Уравнение кинетики растворения. Определение времени полного растворения.
226. Экстрагирование растворенного вещества. Кинетика процессов.
227. Способы экстрагирования и растворения замкнутый периодический процесс, прямоточный и противоточный процессы, процесс в неподвижном слое.
228. Аппараты для проведения этих процессов (смесительно-отстойные, карусельный и др.).
229. Кристаллизация из растворов и расплавов. Общие сведения о процессе и области применения.
230. Методы проведения кристаллизации.
231. Равновесие при кристаллизации.
232. Материальный и тепловой балансы кристаллизации.
233. Кинетика кристаллизации. Скорости образования и роста кристаллов.
234. Способы разделения смесей кристаллизацией, многократной перекристаллизацией.
235. Конструкции кристаллизаторов. Классификация.
236. Кристаллизаторы с удалением части растворителя.
237. Кристаллизаторы с охлаждением раствора.
238. Барабанные кристаллизаторы.
239. Вакуум-кристаллизаторы.
240. Кристаллизаторы с псевдоожиженным слоем.
241. Пути интенсификации процесса кристаллизации.
242. Мембранные процессы. Общие сведения о процессах и области их практического применения.
243. Классификация мембранных процессов (баромембранные, диффузионно-мембранные, электромембранные).
244. Типы мембран. Основы механизма мембранных процессов.
245. Кинетика мембранных процессов.
246. Явление концентрационной поляризации и методы снижения его влияния на мембранные процессы.
247. Предподготовка смесей перед мембранным разделением. Методы очистки (регенерации) мембран.
248. Расчет мембранных процессов и аппаратов вытеснения.
249. Пути интенсификации мембранных процессов.
250. Конструкции мембранных аппаратов. Классификация (плоскокамерные, рулонные, трубчатые, половолоконные). Выбор типа мембранного аппарата.

251. Современные проблемы химической технологии. Экология и химическая технология.
252. Новые методы интенсификации и повышения эффективности химико-технологических процессов.

**2. Учебно-методическое и информационное обеспечение программы  
вступительного испытания в аспирантуру**

а) основная литература:

1. 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, 2006.575 с.
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. Мамина и др. Казань:КГТУ, 2002. 40 с.
3. Лацинский 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 образования и науки РФ, Казан. гос. технол. ун-т. – Казань: КГТУ, 2011. – 100 с.

в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы

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