

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
ФГБОУ ВО «ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ»

УТВЕРЖДАЮ
Председатель приемной комиссии,
ректор ФГБОУ ВО «ВГУИТ»

_____ Попов В. Н.
«31» марта 2022 г.

ПРОГРАММА ВСТУПИТЕЛЬНОГО ИСПЫТАНИЯ

по научной специальности основной образовательной программы высшего образования – программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий

Воронеж 2022

Программа предназначена для подготовки к сдаче вступительного экзамена в аспирантуру по специальности 2.6.13 Процессы и аппараты химических технологий. Она составлена в предположении, что экзаменуемый должен иметь достаточно широкое представление по теоретическим основам гидравлики, тепловых и массообменных процессов, а также о математическом и физическом моделировании.

Будущему кандидату наук следует знать современное состояние научно-технического прогресса в области химических и нефтехимических производств, инновационные химико-технологические и природоохранные процессы, тенденции в создании энерго-ресурсосберегающего оборудования с учетом повышении качества химических продуктов, а также современные научные методы исследования и проектирования химико-технологических процессов и аппаратов.

Перечень разделов базовых дисциплин, выносимых на вступительное испытание:

1. Гидромеханические процессы и аппараты

1. Теоретические основы гидромеханических процессов. Общие представления о жидкостях как сплошных средах.

2. Идеальные и реальные жидкости. Капельные и упругие жидкости. Объемные и поверхностные силы, действующие на жидкость.

3. Уравнение неразрывности. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера) и его частные случаи.

4. Вязкостные свойства сплошных сред. Реологические уравнения состояния.

5. Уравнения движения однородных сплошных сред. Движение вязкой жидкости в цилиндрической трубе, вдоль пластины, поперечное обтекание цилиндра, обтекание сферы. Свободная конвекция.

6. Уравнение движения жидкости в пористой среде. Граничные условия. Турбулентное течение сплошных сред. Основные параметры турбулентности. Развитая, локальная и изотропная турбулентность.

7. Турбулентные струи, турбулентный след. Пограничный слой. Уравнение движения в ламинарном пограничном слое. Турбулентный пограничный слой. Особенности турбулентных течений в аппаратах химической технологии. Методы теории подобия и анализа размерности.

8. Движение твердых частиц в сплошных средах. Анализ сил, действующих на твердую частицу в жидкости. Скорости свободного осаждения шарообразных частиц и частиц произвольной формы. Скорость стесненного осаждения. Расчет скорости осаждения твердых частиц в полях массовых сил различной физической природы.

9. Гидродинамика неподвижных и псевдооживленных зернистых слоев.

10. Гидродинамические основы расчета аппаратов химической технологии с зернистыми слоями.

11. Движение капель и газовых пузырей при различных числах Re .

Обтекание несферических капель. Капля в сдвиговом потоке. Стесненное обтекание капель. Дробление капель, коагуляция капель.

12. Экспериментальные методы исследования гидромеханики одно- к многофазных сред в аппаратах химической технологии.

13. Разделение неоднородных систем в поле сил тяжести. Скорость осаждения твердых частиц под действием сил тяжести (отстаивание) и методы ее расчета.

14. Конструкции отстойных аппаратов для разделения суспензий, эмульсий и очистки запыленных газов и методы их расчета.

15. Разделение неоднородных систем в поле сил давления. Фильтрация суспензий и газов. Виды осадков и фильтровальных перегородок.

16. Уравнение фильтрации; экспериментальное определение констант фильтрования. Аппараты для фильтрования и методы их расчета.

17. Разделение в поле центробежных (инерционных) сил. Центробежное отстаивание и центробежное фильтрование. Фактор разделения. Классификация центрифуг.

18. Разделение суспензий и эмульсий в гидроциклонах. Очистка газов от пыли в центробежных пылеуловителях. Методы расчета аппаратов для разделения в поле центробежных (инерционных) сил.

19. Перемешивание в жидких средах. Применение процессов перемешивания в жидких средах в химической технологии. Методы перемешивания сред. Силы, участвующие в процессе перемешивания. Типы перемешивающих устройств. Аппаратурное оформление и методы расчета процессов перемешивания.

20. Перемещение капельных жидкостей, сжатие, разряжение и перемещение газов. Основы гидравлического расчета химико-технологических аппаратов и трубопроводов.

21. Типы насосов, вентиляторов и компрессоров, применяемых в химической технологии, их характеристики и методы расчета.

2. Тепловые процессы и аппараты химической технологии

22. Теоретические основы теплообменных процессов. Общие сведения о процессах теплопереноса. Основные понятия. Механизмы переноса теплоты.

23. Теплопроводность. Закон Фурье. Уравнение теплопроводности. Начальные и граничные условия.

24. Теплопроводность плоских стенок при установившемся тепловом потоке. Теплопроводность цилиндрических стенок.

25. Перенос теплоты в движущихся средах. Понятие теплового пограничного слоя. Уравнение конвективного переноса теплоты с источниками тепла.

26. Начальные и граничные условия. Коэффициент теплоотдачи. Уравнение Фурье-Кирхгофа. Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при вынужденном движении жидкостей (газов) в трубах.

27. Математическая постановка и решение задачи о переносе теплоты при естественной конвекции.

28. Теплообмен между жидкостью (газом) и поверхностью.

29. Безразмерная форма уравнения переноса теплоты и оценка порядка его членов. Толщина теплового пограничного слоя.

30. Представление решения уравнения переноса теплоты в критериальной форме. Некоторые эмпирические соотношения для расчета коэффициентов теплоотдачи при сохранении агрегатного состояния теплоносителя.

31. Теплоотдача с изменением агрегатного состояния теплоносителя. Кипение жидкостей. Конденсация пара.

32. Основы переноса теплоты излучением. Теплоотдача при одновременном действии механизмов конвекции и излучения.

33. Теплообмен при непосредственном соприкосновении сред.

34. Теплообмен между пленкой жидкости и газовый потоком.

35. Теплообмен сплошных сред с дисперсными средами.

36. Теплообмен между твердой частицей и обтекающим ее потоком жидкости (газа).

37. Теплообмен в дисперсных средах газ - твердые тела: в стационарном, движущемся, псевдооживленном слоях.

38. Теплообмен между дисперсной средой и твердой, поверхностью.

39. Методы интенсификации процессов теплоотдачи.

40. Теплоотдача через плоские и цилиндрические (одно- и многослойные) стенки при постоянных температурах теплоносителей. Определение движущей силы теплопередачи для типовых случаев движения теплоносителей в теплообменниках (прямоток, противоток, перекрестный ток, смешанный ток).

41. Расчет скорости теплопередачи в нестационарных условиях.

42. Экспериментальные методы исследования процессов переноса тепла в аппаратах химической технологии.

43. Способы подвода и отвода тепла в промышленной химической аппаратуре. Теплообменные аппараты.

44. Классификация промышленных теплоносителей, их сравнительные характеристики и области применения. Схемы нагревательных установок.

45. Теплообменные аппараты, их классификация. Устройство типовых теплообменных аппаратов: с трубчатыми поверхностями теплообмена, с плоскими поверхностями, аппараты с очищаемой в процессе работы

поверхностью теплообмена, градирни, конденсаторы смешения, регенеративные теплообменники и др.

46. Выпарные установки. Расчет выпарных аппаратов. Классификация процесса выпаривания, основные виды выпарных установок. Элементы расчета выпарных аппаратов:

47. Составление материального и теплового балансов.

48. Способы распределения полезной разности температур по корпусам и оптимизация числа корпусов в многокорпусных выпарных установках. Методы интенсификации процессов выпаривания.

49. Холодильные процессы. Применение процессов получения искусственного холода в химической технологии и их классификация. Холодильные агенты, их характеристики и области применения.

3. Массообменные процессы

50. Классификация массообменных процессов химическое технологий, как методов разделения многокомпонентных систем. Роль массообменных процессов в решении задачи охраны окружающей среды.

51. Общие сведения о процессах переноса массы. Основные понятия. Механизмы переноса.

52. Общие уравнения переноса вещества в многофазных многокомпонентных средах, начальные и граничные условия.

53. Существующие подходы к описанию массообменных процессов в дисперсных системах, основанные на рассмотрении элементарных актов массообмена.

54. Применение моделей структуры потоков при моделировании процессов переноса вещества в многофазных средах.

55. Основные теории массообмена (теория диффузионного пограничного слоя, двухпленочная теория, теория обновления поверхности и т.д.)

56. Расчет размеров массообменных аппаратов с непрерывным контактом фаз на основе коэффициентов массопередачи, высоты единиц переноса (ВЕП), высоты эквивалентной теоретической тарелки (ВЭТТ).

57. Массообменные процессы с подвижной границей раздела фаз.

58. Основные термодинамические соотношения, описывающие равновесное состояние фаз в многокомпонентных системах.

59. Равновесие жидкость-пар в многокомпонентных и бинарных системах. Уравнение Ван-дер-Ваальса. Законы Коновалова и Вревского. Равновесие жидкость-пар идеальных смесей. Закон Рауля.

60. Расчет равновесия неидеальных смесей в системе жидкость-пар. Константа фазового равновесия, летучесть, их связь с коэффициентами активности. Уравнение Вильсона.

61. Равновесие в системах жидкость-газ. Закон Генри. Равновесие в многокомпонентных системах. Равновесие в системах с химическим взаимодействием.

62. Равновесие в системах жидкость-жидкость. Коэффициент распределения, коэффициент селективности, их расчет по величинам активности.

63. Массообменные процессы в системах газ (пар) – жидкость

64. Влияние ПАВ, поверхностного натяжения (конвекция Марангони), электромагнитного поля и т.д. на массообмен между одиночным пузырьком и окружающей жидкостью. Массообмен между пузырьком и жидкостью в стесненных условиях обтекания.

65. Массообмен в пленках жидкости, в струях газа к жидкости.

66. Массообмен в двухфазных системах с химическим взаимодействием, Массообмен в элементе аппарата с насадкой, а также на тарелках при различных гидродинамических режимах.

67. Экспериментальные методы исследования массообменных процессов в системах газ (пар) - жидкость.

68. Основные типы контактных устройств массообменных аппаратов для систем газ (пар) - жидкость.

69. Абсорбция. Общая характеристика процесса абсорбции в области ее промышленного применения.

70. Изотермическая (неизотермическая) абсорбция в случае летучего (нелетучего) растворителя с рециклом (без рецикла) газовой или жидкой фаз.

71. Аппаратурное оформление абсорбционно-десорбционных процессов.

72. Основы расчета изотермической (неизотермической) абсорбции. Абсорбция многокомпонентных смесей.

73. Абсорбция, сопровождающаяся химической реакцией в жидкой фазе.

74. Методы десорбции. Методы интенсификации абсорбционных процессов.

75. Ректификация и дистилляция. Общая характеристика процесса. Вида процессов ректификации и дистилляции в области их применения.

76. Принципиальная схема ректификационных установок простой, сложной ректификации с промежуточным отбором и вводом материальных и тепловых потоков.

77. Ректификация при вводе питания в различных фазовых состояниях.

78. Аппаратурное оформление процесса ректификации.

79. Расчет бинарной ректификации в колонне непрерывного и периодического действия.

80. Расчет ректификации многокомпонентных смесей. Математическое описание процесса, современные алгоритмы расчета.

81. Специальные методы процесса ректификации: азеотропная, экстрактивная ректификация с химическим взаимодействием.
82. Методы интенсификации процесса ректификации.
83. Экстракция в системе жидкость-жидкость. Общая характеристика процесса экстракции и области промышленного применения.
84. Технологические схемы процесса экстракции (схемы с противоточным движением фаз, о перекрестным движением фаз, с рециркуляцией части растворителя).
85. Аппаратурное оформление процесса экстракции.
86. Графический и аналитический расчет экстракции.
87. Методы интенсификации процесса экстракции.
88. Массообменные процессы в системе газ-твердое тело. Общая характеристика процесса сушки и области его промышленного применения.
89. Виды высушиваемых материалов, используемых в химической и смежных отраслях промышленности.
90. Классификация процессов сушки. Термодинамические свойства паро-газовых смесей.
91. Равновесие в системах капиллярно-пористый влажный материал - сушильный агент.
92. Движущие силы обуславливающие перенос вещества и теплоты в капиллярно-пористых влажных материалах.
93. Потенциал переноса влаги. Общая система дифференциальных уравнений, описывающая тепло-массоперенос в капиллярно-пористых влажных материалах, начальные, граничные условия и замыкающие соотношения. Частные модели тепло-массопереноса в процессах сушки.
94. Экспериментальные методы исследования кинетики сушки. Аппаратурное оформление процесса сушки твердых, дисперсных, пастообразных, жидких и других материалов.
95. Методы расчета сушильных аппаратов. Методы интенсификации процессов сушки.
96. Адсорбция в системе газ – твердое тело. Общая характеристика процесса адсорбции и области его промышленного применения.
97. Описание явления адсорбции на молекулярном уровне.
98. Теория адсорбции Гиббса, Изотермы нелокализованной и локализованной адсорбции Потенциальная теория адсорбции. Теория объемного заполнения пор.
99. Процессы переноса в зерне адсорбента. Общие уравнения переноса.
100. Внешнедиффузионная задача адсорбции.
101. Влияние флуктуаций физических параметров газа, обтекающего зерно адсорбента на процесс адсорбции.
103. Экспериментальные методы исследования кинетики процесса адсорбции.
104. Аппаратурное оформление процесса адсорбции.

105. Теоретический анализ и расчет процесса адсорбции в стационарном режиме, движущемся в взвешенном слое.

106. Методы интенсификации процесса адсорбции.

107. Массообменные процессы в системе твердое тело – жидкость

108. Растворение и экстрагирование (выщелачивание). Основные равновесные соотношения, используемые при расчете процессов растворения и экстрагирования.

109. Растворение. Общая характеристика процесса растворения в области его промышленного применения. Кинетика растворения одиночной частицы, массовое растворение.

110. Экспериментальные методы исследования растворения.

111. Аппаратурное оформление процесса растворения.

112. Экстрагирование. Общая характеристика процесса экстрагирования и области его промышленного применения.

113. Физические характеристики капиллярно-пористых материалов, участвующих в процессах экстрагирования (пористость, удельная поверхность и т.д.) и методы их определения.

114. Теоретический анализ процесса экстрагирования на уровне одиночной твердой частицы с учетом внешней и внутренней диффузии, а также химических взаимодействий.

115. Экспериментальные методы исследования кинетики процесса экстрагирования.

116. Аппаратурное оформление процесса экстрагирования.

117. Методы расчета аппаратов для экстрагирования (каскад реакторов полного перемешивания), противоточный экстрактор, шнековый экстрактор, экстрактор с псевдооживленным слоем и т.д.

118. Методы интенсификации процесса экстрагирования.

119. Кристаллизация. Общая характеристика процесса кристаллизации и области его промышленного применения.

120. Основные равновесные соотношения, используемые при расчете процессе кристаллизации.

121. Диаграммы состояния раствор (расплав, пар) - кристаллическая фаза для однокомпонентных и многокомпонентных смесей.

122. Образование зародышей. Термодинамические основы образования кристаллической фазы.

123. Механизмы зародышеобразования (гомогенное, гетерогенное зародышеобразование, эпитаксия).

124. Теория кинетики зародышеобразования. Кинетические теории роста кристаллов. Тепло-массообмен растущего кристалла с окружающей средой.

125. Массовая кристаллизация, феноменологический и статистический подход к описанию процессов массовой кристаллизации.

126. Технологические схемы установок для осуществления процесса кристаллизации

127. Аппаратурное оформление процесса кристаллизации.

128. Методы интенсификации процесса кристаллизации.

130. Адсорбция в системе твердое тело - жидкость и ионный обмен. Общая характеристика процессов адсорбции и ионного обмена и области их промышленного применения.

131. Равновесие в бинарных многокомпонентных системах при адсорбции и ионном обмене.

132. Процессы переноса в зерне адсорбента, ионита. Механизм переноса вещества при адсорбции. Особенности переноса вещества при ионном обмене.

133. Общие уравнения переноса. Постановка и решение внешнедиффузионной и внутридиффузионной задачи адсорбции и ионного обмена.

134. Типы адсорбентов и ионитов, их основные свойства.

135. Технологические схемы установок для осуществления процессов адсорбции и ионного обмена.

136. Аппаратурное оформление процессов адсорбции и ионного обмена.

137. Расчет процессов адсорбции и ионного обмена в стационарном, движущемся и взвешенном слоях.

138. Методы интенсификации процессов адсорбции и ионного обмена.

139. Мембранные процессы. Общая характеристика мембранных процессов и области их промышленного применения.

140. Термодинамическое равновесие в системе мембрана - раствор. Распределение вещества между мембраной и раствором. Осмотическое давление. Равновесие.

141. Механизм массопереноса в мембранных процессах.

142. Влияние внешних факторов (давления, температуры, концентрации, акустических колебаний и т.д.) на мембранные процессы, экспериментальные методы исследования мембранных процессов.

143. Типы мембран. Конструкции мембранных аппаратов.

145. Методы расчета мембранных процессов и аппаратов. Пути интенсификации мембранных процессов.

146. Определение математического и физического моделирования, преимущества и недостатки физического и математического моделирования

147. Метод обобщенных переменных. Инварианты подобия и критерии подобия. Подобие гидродинамических процессов.

148. Математическое моделирование. Гидродинамическая структура потоков.

149. Идеализированные модели гидродинамической структуры потоков. Модели гидродинамической структуры неидеальных потоков.

Список рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учебник для студ. Химико-технологических спец. вузов – М.: Альянс, 2014.
2. Каракеян, В. И. Процессы и аппараты защиты окружающей среды в 2 ч. Часть 1. : учебник и практикум для вузов . — Москва : Издательство Юрайт, 2021.
<https://urait.ru/bcode/470343>.
3. Каракеян, В. И. Процессы и аппараты защиты окружающей среды в 2 ч. Часть 2. : учебник и практикум для вузов . — Москва : Издательство Юрайт, 2021.
<https://urait.ru/bcode/470344>.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии [Текст]: пособие по проектированию / Г.С. Борисов, В.И. Брыков, Ю.И., Ю.И. Дытнерский и [др.]: под ред. Ю.И. Дытнерского. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

Дополнительная литература

4. Романова, С.М. Процессы, аппараты и оборудование для защиты литосферы от промышленных и бытовых отходов : учебное пособие. – Казань : Казанский научно-исследовательский технологический университет, 2012.
<http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=260328>.
5. Кольцов, В. Б. Теоретические основы защиты окружающей среды: учебник для вузов : [16+]. – Москва : Прометей, 2018
<https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=483194>.
6. Потехин, В. М. Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки : учебник. — Санкт-Петербург : Лань, 2021 <https://e.lanbook.com/book/168720>.
7. Поникаров, И.И. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки— СПб.: Лань, 2020.
<https://e.lanbook.com/reader/book/130190>

Примерный образец контрольно-измерительного материала

Минобрнауки России
Федеральное бюджетное государственное образовательное учреждение
высшего образования
«Воронежский государственный университет инженерных технологий»

Экзаменационный билет № 1

1. Уравнение неразрывности. Уравнение движения идеальной жидкости (уравнение Эйлера) и его частные случаи.

2. Перенос теплоты в движущихся средах. Понятие теплового пограничного слоя. Уравнение конвективного переноса теплоты с источниками тепла.

3. Экспериментальные методы исследования кинетики процесса экстрагирования.

Ситуация. В химико-технологическом процессе образуются выбросы, содержащие следующие загрязнения:

- ароматические примеси – $250 \div 300 \text{ мг/м}^3$;
- сопутствующие примеси – оксид углерода, диоксид углерода – до 500 мг/м^3 ;
- оксиды серы – $400 \div 500 \text{ мг/м}^3$;
- твердое топливо, используемое в данном процессе, с размером частиц – $300 \div 500 \text{ мк}$;
- зола, содержащая оксиды металлов, с размером частиц – $5 \div 20 \text{ мк}$.

Задание. Разработать аппаратное оформление природоохранного процесса обезвреживания воздушных выбросов.