

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Б1.В.ДВ.01.02
(индекс дисциплины)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Гетерогенный катализ в технологии основного органического и нефтехимического
синтез**

(наименование дисциплины)

по направлению подготовки
18.04.01.02 Химическая технология

направленность (профиль)

Химическая технология продуктов основного органического и нефтехимического синтеза

Форма обучения: очная

Год набора: 2020

Общая трудоемкость: 3Е

Распределение часов дисциплины по семестрам

Семестр	2	Итого
Форма контроля	зачет	
Вид занятий		
Лекции	8	8
Лабораторные		-
Практические	32	32
Руководство: курсовые работы (проекты) / РГР	-	-
Промежуточная аттестация	0,25	0,25
Контактная работа	40,25	40,25
Самостоятельная работа	67,75	67,75
Контроль	-	-
Итого	108	108

Рабочую программу составил(и):

Доцент, к.т.н. Авдякова О.С.

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рецензирование рабочей программы дисциплины:

☒

Отсутствует

☐

Рецензент

(должность, ученое звание, степень, Фамилия И.О.)

Рабочая программа дисциплины составлена на основании ФГОС ВО и учебного плана направления подготовки (специальности) 18.04.01.02 Химическая технология

Срок действия рабочей программы дисциплины до 1» сентября 2022 г.

УТВЕРЖДЕНО

На заседании кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение»

(протокол заседания № 2 от «19» сентября 2019 г.).

АКТУАЛИЗАЦИЯ

На заседании кафедры «Химическая технология и ресурсосбережение»

(протокол заседания № 9 от «12» марта 2020 г.)

1. Цель освоения дисциплины

Цель освоения дисциплины – формирование у студентов представления о гетерогенных каталитических процессах в технологии основного органического и нефтехимического синтеза и гетерогенных катализаторах.

Задачи:

1. Освоение студентами принципов гетерогенного катализа, применяемых в нефтехимии методов получения и исследования катализаторов.
2. Формирование у студентов представления о причинах каталитического действия, элементарных стадиях каталитических реакций.
3. Формирование у студентов знаний о кинетике гетерогенно-каталитических процессов.
4. Формирование представления об основных требованиях к промышленным катализаторам, применяемым в нефтепереработке.

2. Место дисциплины в структуре ОПОП ВО

Данная дисциплина (учебный курс) относится к Блоку 1 «Дисциплины (модули)» (вариативная часть, дисциплины по выбору).

Дисциплины и практики, на освоении которых базируется данная дисциплина:

«Химия и технология элементоорганических мономеров», «Моделирование технических систем», «Катализ в химической технологии».

Дисциплины и практики, для которых освоение данной дисциплины необходимо как предшествующее: «Дополнительные главы органической химии», «Дополнительные главы технологии нефтехимического синтеза», «Современные технологии получения мономеров», «Производственная практика (научно-исследовательская работа) 3.

3. Планируемые результаты обучения

Формируемые и контролируемые компетенции (код и наименование)	Индикаторы достижения компетенций (код и наименование)	Планируемые результаты обучения
ОК-4 - способность совершенствовать и развивать свой интеллектуальный и общекультурный уровень, получать знания в области современных проблем науки, техники и технологии, гуманитарных, социальных и экономических наук		Знать: теоретические основы катализа.
		Уметь: применять катализаторы для проведения каталитических реакций, лежащих в основе нефтепереработки.
		Владеть: навыками обработки результатов исследования каталитических процессов.
ПК-1 - способность организовывать самостоятельную и коллективную научно-исследовательскую работу, разрабатывать планы и программы проведения научных исследований и технических разработок, разрабатывать задания для исполнителей	-	Знать: методы получения катализаторов, применяемых в технологии продуктов основного органического и нефтехимического синтеза.
		Уметь: описывать механизмы каталитических реакций на примере кислотно-основного катализа и окислительно-восстановительного катализа.
		Владеть: методиками изучения свойств катализаторов.
ПК-2 - готовность к поиску, обработке, анализу и систематизации научно-технической информации по теме исследования, выбору методик и средств решения задачи	-	Знать: теоретические основы катализа, методы получения катализаторов, применяемых в технологии продуктов основного органического и нефтехимического синтеза.
		Уметь: находить подходы к решению фундаментальных и прикладных задач в области катализа.
		Владеть: навыками работы с учебной, учебно-методической и научной литературой.
ПК-3 - способность использовать современные приборы и методики, организовывать проведение экспериментов и испытаний, проводить их обработку и анализировать их результаты	-	Знать: способы испытания каталитической активности.
		Уметь: применять и использовать полученные знания в профессиональной деятельности.
		Владеть: навыками работы с современными приборами, используемыми при изучении свойств катализаторов.

4. Структура и содержание дисциплины

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Модуль 1. Общие положения катализа. Адсорбция. Кинетика каталитических реакций	Лек	Лекция №1. Классификация каталитических процессов и катализаторов по механизму и подбор катализаторов. Катализ и термодинамика. Адсорбция. Виды адсорбции. Способы определения удельной поверхности дисперсных тел. Хемосорбция. Адсорбция на неоднородной поверхности. Десорбция. Кинетика каталитических реакций.	2	2	-	-	
	Пр	Практическая работа № 1. Расчет удельной поверхности катализатора на основании экспериментальных данных.	2	6	-	6	Отчет по практической работе
	Лек	Лекция №2. Методы измерений каталитической активности. Стационарный и квазистационарный режимы катализа.	2	2	-	-	
	Лек	Практическая работа № 2. Расчет констант скоростей гетерогенных каталитических реакций.	2	6		6	Отчет по практической работе
Модуль 2. Приготовление и функционирование катализаторов.	Лек	Лекция №3. Приготовление и функционирование катализаторов. Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура катализаторов. Методы	2	2	-		

Модуль (раздел)	Вид учебной работы	Наименование тем занятий (учебной работы)	Семестр	Объем, ч.	Баллы	Интерактив, ч.	Формы текущего контроля (наименование оценочного средства)
Промышленные каталитические процессы и катализаторы	Пр	Практическая работа № 3. Решение расчетных задач (определение активности и селективности катализаторов по экспериментальным данным).	2	6	-	6	Отчет по практической работе
	Лек	Лекция №4. Кислотно-основный катализ. Катализ соединениями переходных металлов. Катализ на оксидах и каталитическое окисление. Катализ на металлах и реакции с участием водорода.	2	2	-		
	Пр	Практическая работа № 4. Решение расчетных задач (кислотно-основный катализ).	2	6	-	7	Отчет по практической работе
	Пр	Практическая работа № 5. Консультация. Защита отчетов о выполнении практических работ № 3 и № 4.	2	8	-	8	Отчет по практической работе
	ПА	Промежуточная аттестация	2	0,25	-		
Итого:				40,25			

5. Образовательные технологии

При реализации учебного курса дисциплины используются следующие технологии:

- технология традиционного обучения, включающая лекции, практические работы, которые предполагают последовательное изложение материала преподавателем. Форма текущего контроля – отчет по практическим работам;
- технология обучения с применением интерактивных форм, включающая лекции с элементами дискуссии, с использованием технологий развития критического мышления;
- технология модульного обучения, которая предусматривает проведение занятий при использовании следующих форм обучения: практическое занятие с решением ситуационных задач и обсуждением результатов деятельности;
- изучение теоретического материала дисциплины на лекциях с использованием компьютерных и мультимедийных технологий.

6. Методические указания по освоению дисциплины

Тематическое содержание дисциплины (учебного курса)

Раздел, модуль	Подраздел, тема
Модуль 1. Общие положения катализа. Адсорбция. Кинетика каталитических реакций.	Классификация каталитических процессов и катализаторов по механизму и подбор катализаторов. Катализ и термодинамика. Адсорбция. Виды адсорбции. Способы определения удельной поверхности дисперсных тел. Хемосорбция. Адсорбция на неоднородной поверхности. Десорбция. Кинетика каталитических реакций. Определение активности, селективности, элементарного акта.
	Методы измерений каталитической активности. Стационарный и квазистационарный режимы катализа. Ленгмюровская кинетика каталитических реакций. Кинетика сложных реакций по М. И. Темкину. Диффузионная кинетика. Каталитические реакции в нестационарном режиме. Промежуточные соединения в гетерогенном катализе. Кинетика и механизм элементарных актов на поверхности.
Модуль 2. Приготовление и функционирование катализаторов. Промышленные каталитические процессы и катализаторы.	Приготовление и функционирование катализаторов. Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура катализаторов. Методы приготовления катализаторов. Форма и размер гранул. Механическая прочность катализаторов. Дезактивация катализаторов.
	Кислотно-основный катализ. Катализ соединениями переходных металлов. Катализ на оксидах и каталитическое окисление. Катализ на металлах и реакции с участием водорода.

Модуль 1. Общие положения катализа. Адсорбция. Кинетика каталитических реакций.

Темы лекционных занятий:

Общие положения катализа. Адсорбция. Кинетика каталитических реакций.

Темы практических занятий:

Физическая и химическая адсорбция. Кинетика гетерогенно-каталитических процессов. Приготовление и функционирование катализаторов. Макрокинетика гетерогенных процессов.

Изучив данный модуль, студент должен понимать теорию процессов на неоднородной поверхности; понимать сущность теории переходного состояния; понимать основные методы приготовления промышленных катализаторов и требования, предъявляемые к промышленным гетерогенным катализаторам; иметь представления об основных типах промышленных гетерогенных катализаторов;

- знать:

- основные научные и технические проблемы технологии каталитических процессов;
- теоретические основы катализа;
- основные мировые достижения в области катализа;
- основные требования и стандарты к промышленным катализаторам, способы их приготовления и модификации.
- основные промышленные каталитические процессы.
- методы исследования свойств промышленных катализаторов;
- физико-химические основы технологий каталитической переработки сырья для нужд региона;
- выбор технологии гетерогенных катализаторов для процессов переработки углеводородного сырья;

- уметь:

- применять катализаторы для проведения каталитических органических и неорганических реакций; описывать механизмы каталитических реакций на примере кислотно-основного катализа и окислительно-восстановительного катализа;
- находить подходы к решению фундаментальных и прикладных задач в области катализа;
- применять и использовать полученные знания в профессиональной деятельности;

- владеть:

- понятийным аппаратом дисциплины;
- основами кинетики гетерогенно каталитических процессов;
- методами регистрации и обработки результатов химических экспериментов;
- навыками работы с учебной и учебно-методической литературой.

Методические рекомендации по изучению тем модуля: при освоении тем модуля необходимо

- изучить учебный материал по дисциплине "Промышленный катализ", используя лекционный и материал библиотечного фонда по данной тематике;
- ответить на контрольные вопросы:
 1. Какие реакции называются гетерогенными? Приведите примеры.
 2. Какое понятие используют для объяснения каталитического действия в гетерогенном катализе? Охарактеризуйте его.
 3. В чем заключается основа каталитического действия?
 4. Какие факторы определяют активность гетерогенного катализатора?
 5. Сформулируйте правило Борескова о приблизительном постоянстве удельной каталитической активности веществ.

6. По какому принципу классифицируются гетерогенные катализаторы? Какие реакции относятся к процессам: а) окисления-восстановления; б) кислотно-основного типа? Какие катализаторы используются в этих процессах?

7. В чем заключается отличие каталитических реакций с твердыми кислотами от аналогичных реакций в растворе?

8. Дайте определение цеолитов и характеристику их свойств. Приведите примеры их использования в катализе.

9. Приведите примеры промышленных процессов с использованием многокомпонентных и многофазных катализаторов.

10. Объясните механизм действия бифункционального катализатора в процессе риформинга бензиновых фракций.

11. Какие вещества называются промоторами? Каким образом они оказывают влияние на каталитический процесс?

12. Какие вещества называются в катализе ядами? Приведите конкретные примеры воздействия ядов на каталитические процессы.

13. Каким образом проводят оценку степени отравления катализаторов?

14. В чем заключается позитивная роль использования носителя в гетерогенном катализе?

15. В чем сходство и различие между физической адсорбцией и хемосорбцией? Какой процесс приводит к каталитическому эффекту?

16. Сформулируйте основные положения адсорбционной теории Лэнгмюра. В чем заключается кинетически закон действующих поверхностей?

17. Приведите кинетический вывод уравнения изотермы Лэнгмюра и проанализируйте его.

18. Приведите термодинамический вывод уравнения Лэнгмюра.

19. При каком значении давления p степень заполнения поверхности Θ равна $\frac{1}{2}$, а касательная к начальному участку кривой Лэнгмюра достигает значения $\Theta = 1$?

20. Покажите, что для определения параметров уравнения Лэнгмюра удобно использовать графические способы в следующих координатах: а) $(1/a, 1/p)$; б) $(p/a, p)$; в) $(a, a/p)$.

21. получите выражение для степени заполнения в случае диссоциативной адсорбции молекулы A_2 .

22. Получите аналитическим путем выражение для степени заполнения при одновременной адсорбции двух газов.

23. В чем причина отклонения реальных изотерм от модели «идеального адсорбированного слоя» Лэнгмюра?

24. Какой вид имеют уравнения для изотерм: а) Генри; б) Фрейндлиха; в) в логарифмической форме?

25. Сформулируйте основные допущения теории полимолекулярной адсорбции, проанализируйте уравнение БЭТ, укажите его роль в катализе и пределы применимости.

26. Укажите, из каких стадий состоит гетерогенно-каталитическая реакция? Каким образом определяют общую скорость такого процесса?

27. Покажите механизм, по которому протекает мономолекулярная гетерогенно-каталитическая реакция. Выведите уравнение для скорости этой реакции и проанализируйте его.

28. Какая существует связь между кажущейся энергией активации и истинной для гетерогенной каталитической реакции? Ответ поясните.

29. Какой вид имеет связь между кажущейся и истинной энергиями активации в случае адсорбции исходного вещества и продукта реакции?

30. В чем заключается механизм Лэнгмюра-Хиншельвуда? Получите уравнение для скорости реакции в этом случае и проанализируйте его. Приведите пример реакции, протекающей по данному механизму.

31. В чем заключается механизм Или-Ридиела? Получите уравнение для скорости реакции в этом случае. Приведите пример реакции, протекающей по данному механизму.
32. Какой прием можно использовать для установления четкого различия между механизмами Лэнгмюра-Хиншельвуда и Или-Ридиела?
33. Перечислите возможные ограничения гетерогенно-каталитических реакций, протекающих в жидкой фазе, от реакций в газовой фазе.
34. Какую роль имеет термодинамический фактор в объяснении особенностей протекания жидкофазных реакций?
35. В чем заключается электрохимический механизм катализа? Для каких процессов он характерен?
36. Перечислите основные макрокинетические области в гетерогенном катализе и охарактеризуйте каждую из них.
37. Укажите отличительные особенности процессов во внешнекинетической области.
38. Сформулируйте в аналитическом виде первый и второй законы Фика.
39. Какой параметр вводится в теории конвективной диффузии Нернста и от чего он зависит?
40. Получите в аналитическом виде уравнение для скорости гетерогенно-каталитического процесса с учетом внешней диффузии и химической реакции на поверхности катализатора.
41. Проанализируйте предельные случаи полученного в задании 40 уравнения.
42. Перечислите отличительные признаки протекания процесса во внешнедиффузионной области.
43. При каких условиях процесс протекает в промежуточной области?
44. Сравните влияние температуры на скорость процесса во внешнекинетической и внешнедиффузионной областях.
45. В чем заключается отличие внутренней диффузии от внешней.
46. Охарактеризуйте условия протекания процесса во внутренней кинетической области.
47. Какая существует количественная связь между опытной энергией активации во внешнедиффузионной области и энергией активации во внутренней кинетической области?
48. Какую роль играют во внутредиффузионной области параметр L и диаметр зерна?
49. От каких величин зависит параметр Тиле h ?
50. Какую величину называют фактором диффузионного торможения? Получите аналитическое выражение для реакции первого порядка.
51. При каких значениях h каталитический процесс протекает во внутрикинетической и внутредиффузионных областях?
52. Какое соотношение между энергиями активации в указанных выше внутренних областях получено в рамках задачи Тиле?
53. Перечислите особенности протекания процесса во внутредиффузионной области.
54. При каких значениях h появляется дополнительное краевое условие для решения задачи Тиле?
55. Дайте характеристику метода равнодоступной поверхности.
56. Покажите, каким образом в задаче Зельдовича параметр L зависит от значений коэффициента диффузии и константы скорости химической реакции.
57. Какую роль в задаче Тиле играет фактор диффузионного торможения?
58. В какой области «работает» катализатор, если для степени использования его внутренней поверхности $f_{1/2}$ в задаче Зельдовича выполняется соотношение $1 - f_{1/2} \leq 0.01$.
59. При каких значениях фактора эффективности f в задаче Тиле каталитический процесс протекает во внешнекинетической и внешнедиффузионных областях?

Модуль 2. Приготовление и функционирование катализаторов. Промышленные каталитические процессы и катализаторы.

Темы лекционных занятий:

Приготовление и функционирование катализаторов. Промышленные каталитические процессы и катализаторы.

Темы практических занятий:

Комплексные соединения: строение, свойства. Металлокомплексные катализаторы. Кинетика и механизм металлокомплексного катализа.

Изучив данный модуль, студент должен

- знать:

- основы теории гомогенного металлокомплексного катализа;
- строение гомогенных металлокомплексных катализаторов;
- основы кинетики гомогенного металлокомплексного катализа;
- важнейшие промышленные процессы, катализируемые металлокомплексами;
- уметь:
- подбирать металлокомплексные катализаторы для конкретных технологических процессов реакций; описывать механизмы каталитических реакций металлокомплексного катализа;
- находить подходы к решению фундаментальных и прикладных задач в области катализа,
- применять и использовать полученные знания в профессиональной деятельности;
- владеть:
- методами регистрации и обработки результатов химических экспериментов;
- навыками работы с учебной и учебно-методической литературой.

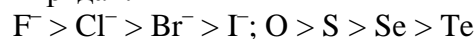
Методические рекомендации по изучению тем модуля: при освоении тем модуля необходимо:

- изучить учебный материал по дисциплине, используя лекционный и материал и материал библиотечного фонда по данной тематике;
- ответить на контрольные вопросы:

1. Напишите геометрические формулы металлокомплексов с координационными числами 2, 4, 5, 6. Объясните природу связи металл-лиганд.

2. Напишите структуру металлокомплексов, каталитически активных и неактивных для одного и того же металла-комплексобразователя.

3. Объясните, почему устойчивость комплексов металлов Li^+ , Al^{3+} , Cr^{3+} , Co^{3+} для следующих лигандов изменяется в рядах:



а для металлов Cu^+ , Ag^+ , Rh^+ , Pd^{2+} , Pt^{2+} порядок устойчивости комплексов изменяется на противоположный.

4. Постройте энергетическую диаграмму молекулярных орбиталей для оксида углерода (II), молекулярного кислорода и азота.

5. В гексакарбониле хрома (0) покажите, как происходит взаимодействие атомных орбиталей хрома с молекулярными орбиталями лиганда.

6. Постройте энергетическую диаграмму молекулярных орбиталей для комплекса $[\text{CoF}_6]^{3-}$, $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$.

7. Объясните, почему при координации молекул HX (H_2O , ROH , HCl , HI , HCN , RCOOH и др.) происходит повышение их кислотных свойств. Влияет ли степень окисления металла-комплексобразователя на кислотные свойства комплекса? Покажите на примере.

8. Могут ли металлокомплексы существовать в растворах в мономерной, димерной и полимерной формах? Покажите на примерах. Приведите примеры комплексных соединений с бидентатным и полидентатными лигандами.

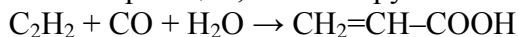
9. Приведите примеры кластерных соединений.

10. Предложите схемы механизма активирования молекул H_2 и с HX с образованием гидридных комплексов металлов для конкретных металлокомплексов.

11. Объясните природу электронного взаимодействия с ненасыщенной органической молекулой в следующих комплексах: $[\text{PtCl}_3(\text{C}_2\text{H}_4)_2]^-$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_4)_2]$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{C}_2\text{F}_4)_2]$. Изменяется ли длина связи $\text{C}=\text{C}$?

12. Выведите кинетическое уравнение окисления этилена комплексом PdCl_4 в ацетальдегид в водном растворе. Примите концентрацию всех промежуточных комплексов малыми по сравнению с $[\text{PdCl}_4]$.

13. Предложите схему механизма реакции, катализируемой $\text{Ni}(\text{H})(\text{CO})_2\text{Br}$:



14. Окисление пропилена в воде в присутствии каталитической системы $\text{PdCl}_2-\text{CuCl}_2$ протекает с образованием ацетона. Предложите схему механизма реакции. Какие образуются побочные продукты?

15. Объясните, почему аквакомплекс $\text{Co}(\text{III})$ окисляет воду с выделением кислорода, а гексацианид $\text{Co}(\text{II})$ окисляется водой с выделением водорода.

16. При гидрировании бутадиена в присутствии катализатора $\text{HCo}(\text{CN})_5$ образуется бутен-1, цис- и транс-бутен-2. Напишите механизм реакции.

17. Напишите механизм реакции гидрирования ацетилена в этилен в присутствии катализатора Уилкинсона. Почему реакция гидрирования протекает селективно? Какие другие катализаторы можно рекомендовать для селективного гидрирования ацетилена в этилен?

18. Предложите механизм гидрирования альдегидов и α -олефинов соответственно в спирты и насыщенные углеводороды в присутствии комплекса $\text{RuCl}_2(\text{PPh}_3)_3$. Какую роль в этих реакциях могут играть основания, например, триэтиламин. Какие другие катализаторы гидрирования можно использовать в этих реакциях?

19. При взаимодействии водно-метанольного раствора метилацетилена с оксидом углерода (II) в присутствии каталитических количеств тетракарбонила $\text{Ni}(0)$ образуется метилакрилат. Предложите механизм реакции и условия процесса.

20. При гидрировании пентена-2 образуется капроновый альдегид. Предложите катализатор и механизм реакции.

21. Предложите катализатор и механизм реакции получения н-бутилового спирта из пропилена.

22. Каким образом из децена-5, этилена и других реагентов в присутствии металлокомплексных катализаторов можно получить н-гептиловый спирт?

23. Из бутадиена и других реагентов с участием металлокомплексных катализаторов осуществите синтезы циклооктанола, циклооктанона и циклододеканола. В каких синтезах могут быть использованы полученные спирты и кетоны?

7. Оценочные средства

7.1. Паспорт оценочных средств

Семестр	Код контролируемой компетенции (или ее части)	Наименование оценочного средства
3	ПК-1	Вопросы к зачету № 1-50
3	ПК-2	
3	ПК-3	

7.2. Типовые задания или иные материалы, необходимые для текущего контроля

7.2.1. Собеседование (отчеты о выполнении практических работ) (наименование оценочного средства)

Типовой(ые) пример(ы) задания(ий)

Комплект отчетов по практическим работам

Практическое занятие 1. Расчет удельной поверхности катализатора на основании экспериментальных данных.

Практическое занятие 2. Расчет констант скоростей гетерогенных каталитических реакций.

Практическое занятие 3. Решение расчетных задач (определение активности и селективности катализаторов по экспериментальным данным).

Практическое занятие 4. Решение расчетных задач (кислотно-основный катализ).

Практическое занятие 5. Консультация. Защита отчетов о выполнении практических работ № 3 и № 4.

Отчет должен содержать следующие элементы:

- титульный лист с указанием номера и названия работы; Ф.И.О. и номер группы студента; Ф.И.О., ученую степень, звание и должность преподавателя, принимающего работу;
- цели работы;
- уравнения, которые используются в данной практической работе;
- результаты расчетов;
- выводы (заключение) по проделанной работе, конкретно отражающие полученный результат;
- список использованных литературных источников в соответствии с ГОСТ 7.1-2003.

Критерии оценки:

- оценка «зачтено» выставляется студенту, если он подготовил полный отчет по практической работе и в процессе защиты даны ответы не менее чем на 80% вопросов по теме практической работы, заданных преподавателем (задается не менее 5 вопросов).

- оценка «не зачтено» выставляется студенту, если он неверно оформил отчет по практической работе, или в процессе защиты даны ответы менее, чем на 80% вопросов по теме практической работы, заданных преподавателем (задается не менее 5 вопросов).

Комплект материалов для собеседования:

№ п/п	Вопросы
Модуль 1. Общие положения катализа. Адсорбция. Кинетика каталитических реакций.	
1	Катализаторы в промышленных процессах и их значение для химической промышленности. Каталитические процессы на химических предприятиях г. Тольятти. Классификация катализаторов.
2	Физическая адсорбция. Критерии физической и химической адсорбции. Теплота адсорбции.
3	Кинетика физической сорбции. Адсорбционная теория Лэнгмюра. Нелэнгмюровские изотермы сорбции.
4	Определение удельной поверхности и пористости дисперсных тел.
5	Химическая адсорбция (хемосорбция). Термодинамика хемосорбции. Кинетика хемосорбции. Селективная хемосорбция для определения поверхности.
6	Адсорбция на неоднородной поверхности. Теория процессов на неоднородной поверхности. Экспериментальные методы доказательства неоднородности поверхности.

7	Десорбция. Кинетика десорбции. Термодесорбция.
8	Кинетика гетерогенно-каталитических процессов.
9	Модель Лэнгмюра-Хиншельвуда и Или-Ридиела.
10	Макрокинетика гетерогенных процессов. Внешняя диффузия. Внутренняя диффузия.
11	Теория абсолютных скоростей и ее применение к катализу. Поверхность потенциальной энергии. Активированный комплекс.
12	Расчет скорости реакций по теории абсолютных скоростей. Теория абсолютных скоростей для реакции на поверхности. Число активных центров. Границы применения теории абсолютных скоростей.
Модуль 2. Приготовление и функционирование катализаторов. Промышленные каталитические процессы и катализаторы.	
1	Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура форма и размер гранул катализаторов. Механическая прочность катализаторов. Дезактивация катализаторов.
2	Кислоты и основания. Методы определения кислотных и основных центров на поверхности. Кислотные и основные катализаторы и их активные центры.
3	Цеолиты и другие молекулярные сита. Иониты. Сверхкислоты и сверхоснования. Дегидратация спиртов. Превращение спиртов в углеводороды.
4	Строение комплексов переходных металлов. Экспериментальные методы исследования атомов переходных металлов в оксидах. Применение теории кристаллического поля лигандов к явлениям адсорбции и катализа.
5	Поверхность оксидов переходных металлов. Имобилизованные комплексы переходных металлов. Каталитическая полимеризация олефинов. Реакции с учетом координированного монооксида углерода.
6	Общие характеристики каталитического окисления. Энергетические уровни ионов переходных металлов в оксидах. Дефекты в оксидах переходных металлов. Особенности кинетики каталитического окисления.
7	Активация кислорода на поверхности оксидных катализаторов окисления. Каталитическое окисление простых молекул.
8	Парциальное окисление олефинов и других органических соединений молекулярным кислородом. Парциальное окисление алканов молекулярным кислородом.
9	Парциальное окисление альтернативными окислителями. Глубокое окисление углеводородов. Каталитическая очистка от вредных газов.
10	Электронное строение переходных металлов. Экспериментальные методы изучения поверхности переходных металлов и адсорбция молекул на ней. Чистая поверхность металлов. Адсорбция на переходных металлах.
11	Простейшие каталитические реакции на переходных металлах. Сплавы. Нанесенные металлы. Каталитическое гидрирование. Синтез аммиака.
12	Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура форма и размер гранул катализаторов. Механическая прочность катализаторов. Дезактивация катализаторов.
13	Кислоты и основания. Методы определения кислотных и основных центров на поверхности. Кислотные и основные катализаторы и их активные центры.
14	Цеолиты и другие молекулярные сита. Иониты. Сверхкислоты и сверхоснования. Дегидратация спиртов. Превращение спиртов в углеводороды.
15	Строение комплексов переходных металлов. Экспериментальные методы исследования атомов переходных металлов в оксидах. Применение теории кристаллического поля лигандов к явлениям адсорбции и катализа.

Комплект контрольных вопросов

1. Сформулируйте правило Борескова о приблизительном постоянстве удельной каталитической активности веществ.
2. По какому принципу классифицируются гетерогенные катализаторы? Какие реакции относятся к процессам: а) окисления-восстановления; б) кислотно-основного типа? Какие катализаторы используются в этих процессах?
3. Объясните механизм действия бифункционального катализатора в процессе риформинга бензиновых фракций.
4. Сформулируйте основные положения адсорбционной теории Лэнгмюра. В чем заключается кинетически закон действующих поверхностей?
5. При каком значении давления p степень заполнения поверхности Θ равна $\frac{1}{2}$, а касательная к начальному участку кривой Лэнгмюра достигает значения $\Theta = 1$?
6. Покажите, что для определения параметров уравнения Лэнгмюра удобно использовать графические способы в следующих координатах: а) $(1/a, 1/p)$; б) $(p/a, p)$; в) $(a, a/p)$.
7. Какой вид имеют уравнения для изотерм: а) Генри; б) Фрейндлиха; в) в логарифмической форме?
8. Сформулируйте в аналитическом виде первый и второй законы Фика.
9. От каких величин зависит параметр Тиле h ?
10. Какое соотношение между энергиями активации в указанных выше внутренних областях получено в рамках задачи Тиле?
12. В какой области «работает» катализатор, если для степени использования его внутренней поверхности $f_{1/2}$ в задаче Зельдовича выполняется соотношение $1 - f_{1/2} \leq 0.01$.
13. При каких значениях фактора эффективности f в задаче Тиле каталитический процесс протекает во внешнекинетической и внешнEDIффузионной областях?
14. Объясните, почему устойчивость комплексов металлов Li^+ , Al^{3+} , Cr^{3+} , Co^{3+} для следующих лигандов изменяется в рядах:
 $\text{F}^- > \text{Cl}^- > \text{Br}^- > \text{I}^-$; $\text{O} > \text{S} > \text{Se} > \text{Te}$
а для металлов Cu^+ , Ag^+ , Rh^+ , Pd^{2+} , Pt^{2+} порядок устойчивости комплексов изменяется на противоположный.
15. Постройте энергетическую диаграмму молекулярных орбиталей для комплекса $[\text{CoF}_6]^{3-}$, $[\text{Ti}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$.
16. Объясните, почему при координации молекул HX (H_2O , ROH , HCl , HI , HCN , RCOOH и др.) происходит повышение их кислотных свойств. Влияет ли степень окисления металла-комплексобразователя на кислотные свойства комплекса? Покажите на примере.
17. Объясните природу электронного взаимодействия с ненасыщенной органической молекулой в следующих комплексах: $[\text{PtCl}_3(\text{C}_2\text{H}_4)_2]^-$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{C}_2\text{H}_4)_2]$, $[\text{Pt}(\text{PPh}_3)_2(\text{C}_2\text{F}_4)_2]$. Изменяется ли длина связи $\text{C}=\text{C}$?
18. Объясните, почему аквакомплекс Co(III) окисляет воду с выделением кислорода, а гексацианид Co(II) окисляется водой с выделением водорода.
19. При гидрировании бутадиена в присутствии катализатора HCo(CN)_5 образуется бутен-1, *цис*- и *транс*-бутен-2. Напишите механизм реакции.
20. При гидрировании пентена-2 образуется капроновый альдегид. Предложите катализатор и механизм реакции.

Темы письменных работ (не предусмотрены)

7.3. Оценочные средства для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

7.3.1. Вопросы к промежуточной аттестации

Семестр 2

№ п/п	Вопросы к зачету
1	Катализаторы в промышленных процессах и их значение для химической промышленности. Классификация катализаторов.
2	Каталитические процессы на химических предприятиях г. Тольятти.
3	Физическая адсорбция. Критерии физической и химической адсорбции.
4	Теплота адсорбции.
5	Кинетика физической сорбции. Адсорбционная теория Лэнгмюра.
6	Нелэнгмюровские изотермы сорбции.
7	Определение удельной поверхности и пористости дисперсных тел.
8	Химическая адсорбция (хемосорбция). Термодинамика хемосорбции..
9	Кинетика хемосорбции. Селективная хемосорбция для определения поверхности.
10	Адсорбция на неоднородной поверхности.
11	Теория процессов на неоднородной поверхности. Экспериментальные методы доказательства неоднородности поверхности.
12	Десорбция. Кинетика десорбции.
13	Термодесорбция.
14	Кинетика гетерогенно-каталитических процессов.
15	Модель Лэнгмюра-Хиншельвуда и Или-Ридиела.
16	Макрокинетика гетерогенных процессов.
17	Внешняя диффузия. Внутренняя диффузия.
18	Теория абсолютных скоростей и ее применение к катализу.
19	Поверхность потенциальной энергии. Активированный комплекс.
20	Расчет скорости реакций по теории абсолютных скоростей. Теория абсолютных скоростей для реакции на поверхности.
21	Число активных центров. Границы применения теории абсолютных скоростей.
22	Основные требования к промышленному катализатору. Пористая структура форма и размер гранул катализаторов.
23	Механическая прочность катализаторов. Дезактивация катализаторов.
24	Кислоты и основания. Методы определения кислотных и основных центров на поверхности.
25	Кислотные и основные катализаторы и их активные центры.
26	Цеолиты и другие молекулярные сита. Иониты.
27	Сверхкислоты и сверхоснования.
28	Дегидратация спиртов. Превращение спиртов в углеводороды.
29	Строение комплексов переходных металлов. Экспериментальные методы исследования атомов переходных металлов в оксидах.
30	Применение теории кристаллического поля лигандов к явлениям адсорбции и катализа.
31	Поверхность оксидов переходных металлов.
32	Иммобилизованные комплексы переходных металлов.
33	Каталитическая полимеризация олефинов. Реакции с учетом координированного монооксида углерода.
34	Общие характеристики каталитического окисления. Энергетические уровни ионов переходных металлов в оксидах.
35	Дефекты в оксидах переходных металлов.

36	Особенности кинетики каталитического окисления.
37	Активация кислорода на поверхности оксидных катализаторов окисления.
38	Каталитическое окисление простых молекул.
39	Парциальное окисление олефинов и других органических соединений молекулярным кислородом.
40	Парциальное окисление алканов молекулярным кислородом.
41	Парциальное окисление альтернативными окислителями.
42	Глубокое окисление углеводородов.
43	Каталитическая очистка от вредных газов.
44	Электронное строение переходных металлов.
45	Экспериментальные методы изучения поверхности переходных металлов и адсорбция молекул на ней.
46	Чистая поверхность металлов. Адсорбция на переходных металлах.
47	Простейшие каталитические реакции на переходных металлах.
48	Сплавы. Нанесенные металлы.
49	Каталитическое гидрирование.
50	Синтез аммиака.

7.3.2. Критерии и нормы оценки

Семестр	Форма проведения промежуточной аттестации	Критерии и нормы оценки	
1	Зачет (устно)	«зачтено»	Студент демонстрирует более 50% знаний по предмету, отвечает на основные и дополнительные вопросы.
		«не зачтено»	Студент демонстрирует менее 50% знаний по предмету, не отвечает на дополнительные вопросы.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

8.1. Обязательная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
1	Исляйкин М. К	Теория химико-технологических процессов органического синтеза [Электронный ресурс] : механизмы органических реакций : учеб. пособие / М. К. Исляйкин ; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. - Иваново : [ИГХТУ], 2016. - 129 с. : ил.	учебное пособие	2016	ЭБС «Лань»
2	Боровлев И.В.	Органическая химия: термины и основные реакции [Электронный ресурс]/ Боровлев И.В.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Лаборатория знаний, 2020.— 360 с.— Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/12248.html	Электронные текстовые данные	2020	ЭБС «IPRbooks»
3	Свиридов В. В.	Физическая химия [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В. В. Свиридов, А. В. Свиридов. - Санкт-Петербург : Лань, 2016. - 600 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература). - Электронно-библиотечная система "Лань". - ISBN 978-5-8114-2262-3	учебник	2016	ЭСБ «Лань»
4	Берестовицкая В.М., Липина Э.С.	Химия гетероциклических соединений : учебное пособие / В. М. Берестовицкая, Э. С. Липина. — 2-е изд., перераб. — Санкт-Петербург : Лань, 2019. — 256 с. — ISBN 978-5-8114-3631-6.	Учебное пособие	2019	ЭБС «Лань»

8.2. Дополнительная литература

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно-методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
5	Харлампиди Х.Э.	Общая химическая технология [Электронный ресурс] : основные концепции проектирования химико-технологических систем : учебник / И. М. Кузнецова [и др.] ; под ред. Х. Э. Харлампиди. - Изд. 2-е, перераб. - Санкт-Петербург : Лань, 2014. - 380 с. : ил. - (Учебники для вузов. Специальная литература).	учебник	2014	ЭБС "Лань"
6	Потехин В. М.	Основы теории химических процессов технологии органических веществ и нефтепереработки [Электронный ресурс] : учебник для студентов химико-технолог. специальностей вузов / В. М. Потехин, В. В. Потехин. - 3-е изд., стереотип. - Санкт-Петербург : ХИМИЗДАТ, 2014. - 943 с. : ил. - (Учебник для вузов).	учебник	2014	ЭБС "IPRbooks"
7	Бухаров С.В.	Химия и технология продуктов тонкого органического синтеза [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бухаров С.В., Нугуманова Г.Н.— Электрон. текстовые данные.— Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет, 2013.— 267 с.	Учебное пособие	2013	ЭБС «IPRbooks»

№ п/п	Авторы, составители	Заглавие (заголовок)	Тип (учебник, учебное пособие, учебно- методическое пособие, практикум, др.)	Год издания	Количество в научной библиотеке / Наименование ЭБС
8	Реутов О.А.	Органическая химия [Электронный ресурс] : учебник для студентов вузов, обучающихся по направлению и специальности "Химия" : в 4-х частях / О. А. Реутов, А. Л. Курц, К. П. Бутин. - 3-е изд., испр., (эл.). - Москва : БИНОМ. Лаб. знаний, 2013. - (Классический университетский учебник / Московский гос. ун-т им. М. В. Ломоносова).; ISBN 978-5-94774-611-2	учебник	2013	Znanium.com

8.3. Перечень профессиональных баз данных и информационных справочных систем

- WebofScience[Электронный ресурс] : мультидисциплинарная реферативная база данных. – Philadelphia: ClarivateAnalytics, 2016– . – Режим доступа : apps.webofknowledge.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Scopus[Электронный ресурс] : реферативная база данных. – Netherlands: Elsevier, 2004– . – Режим доступа : scopus.com. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- Elibrary[Электронный ресурс] : научная электронная библиотека. – Москва : НЭБ, 2000– . – Режим доступа : elibrary.ru. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.
- <http://thescipub.com/journals/ajeas> - рецензируемый журнал American Journal of Engineering and Applied Sciences - публикует результаты исследований в области инженерных наук (прикладная физика и прикладная математика, автоматизация и управление, химическая технология, компьютерная техника, информатику, инженерные данные и разработка программного обеспечения, экологическая инженерия, электротехника, промышленная инженерия, информационные технологии и информатика, материаловедение, измерение и метрология, машиностроение, медицинская физика, энергетика, обработка сигналов и телекоммуникации.
- <http://rsta.royalsocietypublishing.org/> - журнал Philosophical Transactions A предоставляет свободный доступ к научным публикациям по следующим темам: инженерные, физические, математические науки.
- <https://doaj.org/> - ресурс, который обеспечивает доступ к полнотекстовым электронным журналам предназначен для поиска по названию статьи (журнала) или по теме. DOAJ ставит целью всестороннее освещение научной периодики, находящейся в открытом доступе и использующей определенные меры, гарантирующие достойное качество их содержания.
- <http://www.gjesm.net> - статьи журнала Global Journal of Environmental Science and Management, посвященного защите окружающей среды, промышленной экологии и управлению в этой области.
- <http://www.sciencedomain.org/archives.php?iid=1160&id=16> - архив рецензируемого журнала American Chemical Science Journal, посвященного общим вопросам химии в следующих предметных областях: органическая химия, неорганическая химия, физическая химия, промышленная химия, химическая технология, аналитическая химия, медицинская химия, супрамолекулярная химия высокомолекулярных соединений и нанохимия и др. прикладных дисциплинах химической науки.
- <http://www.epo.org/searching/free.html> - библиотека патентов
- <https://patentscope.wipo.int/search/en/search.jsf> - поиск по международным и национальным патентным фондам, поиск как на русском, так и на других языках.

8.4. Перечень программного обеспечения

№ п/п	Наименование ПО	Реквизиты договора (дата, номер, срок действия)
1	MathCAD версия 14 или 15	Акт п/п от 21.07.09 (Гос. Контракт 487 от 28.05.09), бессрочный
2	Windows	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный
3	Office Standart	Договор № 690 от 19.05.2015г., срок действия, бессрочный; Договор № 727 от 20.07.2016г., срок действия, бессрочный

8.5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
1	Лаборатория "Процессов и АХП". Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. А -118	Лабораторные установки по изучению процесса ректификации , процесса теплопередачи (труба в трубе), лабораторная установка для измерения давления , стационарное медиа оборудование, интерактивная доска. Стол ученические , стулья ученические. Медиа-обеспечение.
2	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. А-215	Стол ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский , доска аудиторная (меловая), таблица Менделеева .
3	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. А- 306	Стол ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский , доска аудиторная (меловая), таблица Менделеева .

№ п/п	Наименование оборудованных учебных кабинетов, лабораторий, мастерских и др. объектов для проведения практических и лабораторных занятий, помещений для самостоятельной работы обучающихся (номер аудитории)	Перечень основного оборудования
4	Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций. Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. А-304	Столы ученические двухместные (моноблоки), стол преподавательский, стул преподавательский, доска аудиторная (меловая).
5	Компьютерный класс. Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа. Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа. Учебная аудитория для проведения лабораторных работ. Учебная аудитория для курсового проектирования (выполнения курсовых работ). Учебная аудитория для проведения групповых и индивидуальных консультаций Учебная аудитория для проведения занятий текущего контроля и промежуточной аттестации. А-415	Столы ученические , стулья ученические , доска аудиторная (меловая) , ПК , проектор, экран переносной , рабочий стол. письменный угловой стол, преподават.стол.
5	Помещение для самостоятельной работы студентов Г-401	Столы ученические, стулья ученические, ПК с выходом в сеть Интернет