Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Новосибирский государственный технический университет»
Кафедра химии и химической технологии

Паспорт практических занятий
по дисциплине «**Физико-химические основы разработки и получения композиционных и функциональных материалов**», 2 семестр

Модуль № 1 «Основные понятия и определения композиционных и функциональных материалов»

(Практическое занятия № 1)

Методика оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Модуль 1 практического занятия №1 оценивается от 2 до 4 баллов. Студент отвечает на вопросы в письменном (или устном) виде.

Ответ засчитывается на **пороговом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет 2 балла;

Ответ засчитывается на **базовом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет 3 балла;

Ответ засчитывается на **продвинутом** уровне, если выполнены все задания, оценка составляет 4 балла.

Перечень типовых вопросов для защиты

1. Какова современная классификация композиционных и функциональных материалов? Приведите примеры основных классов (металлические, керамические, полимерные, гибридные матрицы).
2. Какие физико-химические принципы лежат в основе создания гетерогенных структур? Как достигается синергетический эффект свойств в композите?
3. Опишите основные механизмы взаимодействия на границе раздела фаз «матрица-наполнитель». Как природа межфазной границы влияет на эксплуатационные свойства материала?
4. Какие современные методы (дифракционные, спектроскопические, микроскопические) используются для анализа атомной и надатомной структуры функциональных материалов?
5. Как анализ литературных данных помогает в решении обратных задач материаловедения: определении состава и технологии для получения заданных свойств?
6. В чем заключаются основные проблемы масштабирования лабораторных технологий получения функциональных материалов до промышленного производства?
7. Каковы перспективы развития «умных» материалов (smart materials) с эффектом памяти формы, пьезоэлектрических и магнитокалорических материалов?
8. Проанализируйте роль наноразмерных наполнителей (углеродные нанотрубки, графен, наночастицы оксидов) в модификации свойств композитов. Какие физико-химические барьеры существуют при их внедрении?
9. Как современные экологические требования (зеленая химия) влияют на разработку новых связующих матриц и технологий переработки композитов?
10. Какие критерии используются для оценки экономической целесообразности и

экологической чистоты при разработке новых функциональных материалов?
11. Каковы основные механизмы деградации и разрушения композиционных материалов под действием механических нагрузок и агрессивных сред?
12. Как анализ термодинамики и кинетики фазовых превращений помогает прогнозировать стабильность функциональных материалов при длительной эксплуатации?
13. Опишите современные подходы к компьютерному моделированию (методы молекулярной динамики, DFT-расчеты) структуры и свойств композитов. Как сопоставляются результаты моделирования с экспериментальными литературными данными?
14. В чем специфика разработки биомедицинских функциональных материалов (биосовместимость, биоактивность, биоразлагаемость)?
15. Как анализ патентной активности и публикационной статистики помогает оценить мировые тренды в области создания новых композитов?
16. Какие функциональные материалы считаются наиболее перспективными для развития водородной энергетики и систем хранения энергии?
17. Каковы физико-химические основы создания градиентных и многослойных функциональных покрытий? Какие методы их нанесения наиболее перспективны?
18. Как при анализе литературы отличить фундаментальные научные данные от маркетинговых заявлений производителей материалов?
19. Какие методы исследования позволяют установить закономерности разрушения композитов и функциональных покрытий?
20. Сформулируйте основные нерешенные научные проблемы в области физико-химии композиционных материалов, которые, по вашему мнению, определят вектор развития отрасли в ближайшие 10 лет.

Модуль № 2 «Термодинамические аспекты получения композиционных и функциональных материалов»

(Практическое занятия № 2)

Методика оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Модуль 2 практического занятия №2 оценивается от 4 до 8 баллов. Студент отвечает на вопросы в письменном (или устном) виде.

Ответ засчитывается на **пороговом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет 4 балла;

Ответ засчитывается на **базовом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет от 5-6 баллов;

Ответ засчитывается на **продвинутом** уровне, если выполнены все задания, оценка составляет от 7-8 баллов.

Перечень типовых вопросов для защиты

1. Сформулируйте основной закон фазового равновесия (правило фаз Гиббса) и примените его для анализа двухкомпонентной системы при постоянном давлении. Какое максимальное число фаз может сосуществовать в такой системе?
2. Какие типы двухкомпонентных диаграмм состояния вы знаете? Приведите примеры систем с неограниченной взаимной растворимостью компонентов в жидком и твердом состояниях (непрерывные ряды твердых растворов).
3. Опишите диаграмму состояния системы с неограниченной растворимостью в жидком состоянии и ограниченной — в твердом (эвтектического типа). Как по диаграмме

определить состав и количество фаз в эвтектической точке?

4. Каким образом по диаграмме состояния системы эвтектического типа определить фазовый состав смеси при заданной температуре и концентрации компонентов? Опишите алгоритм использования коноды (изотермы).

5. Сформулируйте и математически запишите правило рычага. Как рассчитать массовые доли равновесных фаз (например, жидкости и кристаллов твердого раствора) для конкретной точки на диаграмме?

6. Проанализируйте диаграмму состояния с образованием устойчивого химического соединения (дальтонида). Как на диаграмме идентифицировать линию, соответствующую плавлению этого соединения?

7. В чем физико-химический смысл перитектического превращения? Опишите последовательность фазовых изменений при охлаждении сплава, состав которого лежит в поле первичной кристаллизации перитектики.

8. Опишите диаграмму состояния системы с монотектическим равновесием (ограниченная растворимость с расслоением жидких фаз). В каких реальных системах (например, металл-металл или металл-соль) она встречается?

9. Как влияет наличие полиморфных превращений компонентов на вид диаграммы состояния? Опишите эвтектоидное превращение и его роль в формировании структуры сплавов.

10. Какие экспериментальные методы используются для построения диаграмм состояния двухкомпонентных систем (термический анализ, рентгенофазовый анализ, микроскопия)? Каковы их возможности и ограничения?

11. Как по кривым охлаждения (термограммам), полученным методом термического анализа, идентифицировать ключевые точки фазовых превращений и построить диаграмму состояния?

12. Каким образом термодинамика (уравнение Шредера, закон Рауля и его отклонения) объясняет вид линий ликвидуса и солидуса на диаграммах состояния?

13. Проведите анализ литературных данных: как наличие примесей или третьего компонента (даже в следовых количествах) может смещать линии фазовых превращений и изменять положение эвтектики?

14. Как фазовый состав, определенный по диаграмме при комнатной температуре, коррелирует с механическими свойствами (твердость, хрупкость) получаемого композиционного материала?

15. В чем разница между равновесной диаграммой состояния и реальными условиями кристаллизации (влияние скорости охлаждения, дендритная ликвация)?

16. Как использовать фазовые диаграммы для направленного синтеза функциональной керамики (например, в системах оксид алюминия — оксид циркония)?

17. Опишите диаграмму состояния с образованием инконгруэнтно плавящегося соединения. В чем сложность получения материалов строго стехиометрического состава в таких системах?

18. Как определить температурный интервал существования двухфазной области (например, жидкость + твердый раствор) для заданного состава сплава?

19. При анализе литературной фазовой диаграммы вы обнаружили отсутствие данных по высокотемпературной области. Какие косвенные методы или расчетные подходы можно использовать для прогнозирования фазового состава в этой области?

20. Для заданной преподавателем двухкомпонентной системы (например, Pb-Sn или Al-Si) постройте схематично диаграмму состояния и подробно опишите процесс кристаллизации сплава состава, близкого к эвтектическому, указывая фазовый состав в трех произвольных температурных точках.

Модуль № 3 «Композиционные материалы. Методы получения»,
«Получение и свойства керамических материалов»
(Практическое занятия № 3-4)

Методика оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Модуль 3 практического занятия №3-4 оценивается от 7 до 14 баллов. Студент отвечает на вопросы в письменном (или устном) виде.

Ответ засчитывается на **пороговом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет от 7-8 баллов;

Ответ засчитывается на **базовом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет от 9-11 баллов;

Ответ засчитывается на **продвинутом** уровне, если выполнены все задания, оценка составляет от 12-14 баллов.

Перечень типовых вопросов для защиты

1. Дайте определение композиционного материала. Из каких основных структурных элементов он состоит и какова физико-химическая роль каждого из них (матрица, наполнитель, межфазная граница)?
2. Опишите классификацию композитов по типу матрицы (металлические, полимерные, керамические, углеродные). Как выбор матрицы определяет температурный диапазон эксплуатации и методы переработки материала?
3. В чем заключается физико-химический смысл аддитивного (аддитивность по Фойгту) и обратного (аддитивность по Ройссу) правил смесей? Рассчитайте теоретическую плотность композита, состоящего из 60% по объему стеклянных волокон (плотность 2,55 г/см³) и 40% эпоксидной матрицы (плотность 1,2 г/см³).
4. Как рассчитывается модуль упругости однонаправленного композиционного материала в направлении вдоль волокон и перпендикулярно им? Запишите соответствующие формулы и объясните физический смысл входящих в них величин.
5. Проанализируйте механизмы передачи нагрузки от матрицы к армирующему элементу. Какова роль касательных напряжений на границе раздела фаз и как длина волокна влияет на эффективность армирования (критическая длина волокна)?
6. Как рассчитать объемное содержание наполнителя в композите, если известны его массовая доля и плотности компонентов? Приведите расчетную формулу.
7. Опишите основные методы получения полимерных композиционных материалов: контактное формование, вакуумная инфузия, пултрузия, намотка. В чем их физико-химические различия и влияние на пористость конечного изделия?
8. Каковы основные механизмы разрушения композитов? Опишите явления расслоения (деламинации), вытягивания волокон, их разрыва и разрушения матрицы.
9. Как рассчитать коэффициент термического расширения (КТР) композиционного материала? Почему в однонаправленных композитах КТР вдоль и поперек волокон может различаться на порядок?
10. В чем заключается анизотропия свойств композитов? Как тензорный характер свойств (теплопроводность, электропроводность, проницаемость) зависит от ориентации армирующих элементов?
11. Как рассчитать вязкоупругие характеристики (релаксацию напряжения и ползучесть) полимерного композита? Как армирование влияет на эти процессы по сравнению с чистой матрицей?
12. Проанализируйте влияние межфазного слоя на электропроводность и диэлектрическую проницаемость композита. Как рассчитать эффективную проводимость

гетерогенной среды?

13. Какие методы используются для экспериментального определения адгезионной прочности на границе раздела «матрица-наполнитель» (метод микромеханики, выдергивание одиночного волокна)?

14. Как рассчитать пористость композиционного материала? Как наличие микропор и технологических пустот влияет на его кажущуюся плотность, модуль упругости и влагопоглощение?

15. Опишите физико-химические основы создания функциональных композитов (пьезоэлектрических, магнитострикционных, радиопоглощающих). Как достигается перколяционный переход в проводящих композитах и как рассчитать порог перколяции?

16. Как температура стеклования полимерной матрицы изменяется при введении жесткого армирующего наполнителя? Каковы термодинамические причины этого явления?

17. Проведите анализ: как масштабный фактор (размер изделия) влияет на физико-механические характеристики композита, полученного одним и тем же методом?

18. Как рассчитать теплостойкость композиционного материала по Мартенсу или Вика? Какую роль в этом показателе играют свойства матрицы и наполнителя?

19. Опишите методы оценки трещиностойкости (вязкости разрушения) композитов. Почему композиты часто обладают более высокой вязкостью разрушения по сравнению с монолитной керамикой или стеклом?

20. Предложите алгоритм выбора состава композиционного материала для конкретной инженерной задачи (например, легкий нагруженный элемент), если заданы целевые значения плотности, модуля упругости и стоимости. Как использовать диаграммы «свойство-состав» для решения этой задачи?

21. Дайте определение технической керамики. Каковы основные физико-химические отличия керамических материалов от металлов и полимеров (тип связи, хрупкость, температурная стойкость)?

22. Опишите классификацию керамических материалов по химическому составу (оксидная, бескислородная, карбидная, нитридная). Приведите примеры наиболее востребованных функциональных керамик.

23. Проанализируйте основные методы синтеза керамических порошков: твердофазный, золь-гель, соосаждение из растворов, самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС). Как выбор метода синтеза влияет на морфологию и чистоту конечного продукта?

24. Опишите последовательность технологических стадий получения керамики: подготовка шихты, синтез порошков, формование (прессование, шликерное литье, экструзия), сушка. Какие физико-химические процессы протекают на стадии подготовки шихты?

25. Какова роль пластификаторов, связок и дефлокулянтов в процессах формования керамических заготовок? Как рассчитать оптимальное количество связки для обеспечения необходимой механической прочности сырца?

26. Опишите физико-химическую сущность процесса спекания. Какие основные механизмы массопереноса (объемная, зернограничная, поверхностная диффузия, вязкое течение) обеспечивают уплотнение материала и как они зависят от температуры?

27. Как термодинамически и кинетически описывается процесс уплотнения при спекании? Запишите уравнение вязкого течения для начальной стадии спекания и объясните физический смысл его параметров.

28. Как размер частиц исходного порошка, их распределение по размерам и наличие агломератов влияют на температуру начала спекания и конечную плотность керамики? Как рассчитать теоретическую плотность материала с учетом закрытой пористости?

29. В чем заключается роль жидкофазного спекания? Опишите четыре стадии этого процесса и приведите примеры систем (например, Si_3N_4 с добавками MgO), где этот

механизм является доминирующим.

30. Как определить оптимальные условия (температура, время, среда) для твердофазного спекания конкретной оксидной керамики (например, Al_2O_3)? Какие экспериментальные методы (дифференциально-термический анализ, дилатометрия) используются для построения графиков усадки и поиска этих условий?

31. Проанализируйте явление перекристаллизации (роста зерен) при спекании. Как закон Оствальда о созревании (LSW-теория) описывает зависимость размера зерна от времени и как этому процессу препятствуют ингибиторы роста зерен?

32. Как рассчитать усадку керамического изделия при спекании? Как анизотропия усадки связана с текстурой прессовки и как ее минимизировать при проектировании оснастки?

33. Опишите методы горячего прессования и искрового плазменного спекания (SPS). В чем их физико-химическое преимущество перед традиционным свободным спеканием и как они позволяют получать нанокерамику?

34. Как примеси и специально вводимые добавки (прекурсоры, спекающие агенты) влияют на механизм спекания? Объясните роль эвтектических добавок в снижении температуры обжига.

35. Какими методами определяется фазовый состав спеченной керамики? Как отличить остаточную пористость от наличия вторичных фаз при анализе данных рентгенофазового анализа (РФА)?

36. Проанализируйте взаимосвязь микроструктуры (размера зерна, количества и типа пор) и механических свойств (твердость по Виккерсу, трещиностойкость). Как эффект торможения трещины (механизм мостикообразования) повышает вязкость разрушения?

37. Каковы физико-химические основы получения функциональной керамики (пьезоэлектрической, сегнетоэлектрической, суперионной)? Как обеспечить стехиометрию состава при спекании сложных оксидов (например, цирконата-титаната свинца — PZT)?

38. Как рассчитать теплопроводность керамического материала с учетом его пористости? Почему керамики, как правило, имеют более низкую теплопроводность по сравнению с металлами?

39. Опишите процессы, протекающие при спекании в защитной или восстановительной атмосфере. Как парциальное давление кислорода влияет на степень окисления компонентов в керамиках переменного состава (например, в титанатах)?

40. Предложите технологический маршрут получения плотной прозрачной керамики (например, на основе оксида магния или алюмоиттриевого граната). Какие специфические требования предъявляются к чистоте порошков и режиму спекания для устранения светорассеяния на порах и границах зерен?

Модуль № 4 «Функциональные наноматериалы»

(Практическое занятия № 5)

Методика оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за практические занятия учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

Модуль 4 практического занятия №5 оценивается от 7 до 14 баллов. Студент отвечает на вопросы в письменном (или устном) виде.

Ответ засчитывается на **пороговом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет от 7-8 баллов;

Ответ засчитывается на **базовом** уровне, если за выполненные задания, оценка составляет от 9-11 баллов;

Ответ засчитывается на **продвинутом** уровне, если выполнены все задания, оценка составляет от 12-14 баллов.

Перечень типовых вопросов для защиты

1. В чем заключается фундаментальное физико-химическое отличие функциональных наноматериалов от их макро- и микроаналогов? Как размерный фактор (1–100 нм) влияет на энергию кристаллической решетки, электронную структуру и реакционную способность?
2. Классифицируйте функциональные наноматериалы по размерности (0D, 1D, 2D, 3D). Приведите по два примера материалов каждой размерности и укажите их ключевые функциональные свойства.
3. Опишите «снизу-вверх» (bottom-up) и «сверху-вниз» (top-down) подходы к получению наноматериалов. В каких случаях предпочтителен каждый из них с точки зрения чистоты, стоимости и контроля морфологии?
4. Рассмотрите физико-химические основы метода золь-гель синтеза. Какие стадии (гидролиз, конденсация, формирование геля, старение, сушка, термообработка) определяют конечный состав и пористость оксидных наноматериалов?
5. Проанализируйте методы химического осаждения из газовой фазы (CVD) и физического осаждения (PVD). Каковы термодинамические и кинетические условия формирования сплошных пленок, островковых структур (механизм Странского-Крастанова) и нанотрубок?
6. Опишите принципы получения наночастиц методом контролируемого соосаждения. Как использование хелатирующих агентов и контроль pH позволяют управлять скоростью нуклеации и роста, обеспечивая монодисперсность?
7. В чем заключается механизм формирования наноструктур методом темплатного синтеза? Как выбор твердого (цеолиты, анодный оксид алюминия) или мягкого (ПАВ) темплата определяет геометрию продукта?
8. Каковы физико-химические основы механосинтеза (механического легирования)? Почему этот метод позволяет получать метастабильные фазы и нанокомпозиты, недоступные традиционным печным синтезом?
9. Рассмотрите основные методы исследования морфологии наноматериалов. Каковы принципы работы, разрешающая способность и ограничения просвечивающей (ПЭМ) и сканирующей (СЭМ) электронной микроскопии? Какое современное оборудование (например, с автоэмиссионным катодом или в режиме STEM) вы бы выбрали для анализа отдельных наночастиц?
10. Как с помощью рентгеновской дифракции (XRD) определить размер областей когерентного рассеяния (ОКР) нанокристаллов? Запишите и поясните физический смысл уравнения Шеррера. Какие современные модификации метода (SAXS, WAXS) необходимы для полной характеризации структуры?

11. Какие спектроскопические методы (Раман, ИК, РФА, РФЭС) используются для определения химического состава и фазового состояния функциональных наноматериалов? Как выбрать оборудование для анализа поверхностных химических состояний (например, для катализаторов)?
12. Какими методами (БЭТ, порозиметрия) определяется удельная поверхность и пористость наноматериалов? Как интерпретировать изотермы адсорбции для микропористых и мезопористых систем?
13. Как исследовать оптические свойства наноматериалов? Объясните явление квантового конфайнмента на примере полупроводниковых квантовых точек и как оно регистрируется с помощью спектрофотометрии (экситонный пик).
14. Опишите методы анализа магнитных свойств наноматериалов (вибрационный магнитометр, СКВИД-магнитометрия). Как размер частиц влияет на переход от ферромагнетизма к суперпарамагнетизму и как определить температуру блокировки?
15. Как выбрать современное оборудование для анализа механических свойств (микро- и наноиндентирование)? В чем заключаются эффекты масштабного фактора (size effect) при измерении твердости наноматериалов?
16. Проанализируйте применение углеродных наноматериалов (фуллерены, графен, углеродные нанотрубки). Как методы исследования (Раман-спектроскопия, эллипсометрия) позволяют отличить монослойный графен от многослойного?
17. Каковы принципы получения и применения магнитных наночастиц (например, магнетит Fe_3O_4) в медицине (гипертермия, адресная доставка)? Как методы динамического светорассеяния (DLS) и электрофореза (дзета-потенциал) помогают оценить их коллоидную стабильность?
18. Рассмотрите функциональные наноматериалы для гетерогенного катализа. Как с помощью метода температурно-программированного восстановления (ТПВ) или адсорбции (ТПА) оценивается дисперсность активного компонента на носителе?
19. Как определить оптимальную термообработку (температуру и атмосферу отжига) для наноматериала, чтобы снять внутренние напряжения, но сохранить наноструктуру? Какую роль здесь играет дифференциально-сканирующая калориметрия (ДСК)?
20. Предложите комплексный план исследования для нового синтезированного вами нанокомпозита (например, металл-оксидного), предназначенного для фотокатализа. Перечислите последовательность методов и обоснуйте выбор конкретного современного оборудования для подтверждения его состава, морфологии, оптической щели и каталитической активности.