

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор физтех-школы  
электроники, фотоники и  
молекулярной физики  
А.С. Батурин**

|                            |  |
|----------------------------|--|
|                            | <b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>   |
| <b>по дисциплине:</b>      | Инженерия кристаллических материалов   |
| <b>по направлению:</b>     | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b> | Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра химической физики функциональных материалов |
| <b>курс:</b>               | 4  |
| <b>квалификация:</b>       | бакалавр   |

Семестры, формы промежуточной аттестации:

7 (осенний) - Дифференцированный зачет

8 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 60 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составил: Ю.В. Нелюбина, д-р хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры химической физики функциональных материалов 03.03.2023

## Аннотация

Курс рассматривает следующие основные разделы:

1. Основные положения и понятия инженерии кристаллов
2. Межмолекулярные взаимодействия
3. Базы структурных данных
4. Анализ распределения электронной плотности
5. Кристаллизация
6. Полиморфизм
7. Многокомпонентные кристаллы
8. Металл-органические координационные полимеры
9. Предсказание кристаллических структур
10. Высокопроизводительный скрининг

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

Ознакомление обучающихся с основными аспектами инженерии кристаллических материалов.

#### Задачи дисциплины

Формирование базовых знаний и представлений об инженерии кристаллических материалов для различных применений в лаборатории и промышленности.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                           | УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи                         |
|   | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки          |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем |

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- теоретические основы инженерии кристаллов в лаборатории и промышленности;
- специфику различных физико-химических методов анализа кристаллических материалов;
- основные методы кристаллизации органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- особенности экспериментального и теоретического поиска новых кристаллических форм.

уметь:

- использовать базы структурных данных органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- планировать стратегию поиска структурных прототипов новых веществ и материалов с заданными свойствами;
- обрабатывать данные, полученные с помощью физико-химических методов исследования вещества и анализа банков структурных данных;
- планировать стратегию дизайна кристаллических материалов с заданными свойствами.

владеть:

- методологией использования современного программного обеспечения по визуализации и анализу кристаллический структур органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- практическими навыками поиска информации в банках структурной данных;
- различными способами визуализации и анализа межмолекулярных взаимодействий в кристаллах;
- методологией сопоставления, критической интерпретации и обработки массива данных для поиска закономерностей «структура – свойство».

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

| №                     | Тема (раздел) дисциплины                          | Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час. |          |                 |                |
|-----------------------|---|---|----------|-----------------|----------------|
|                       |   | Лекции  | Семинары | Лаборат. работы | Самост. работа |
| 1                     | Основные положения и понятия инженерии кристаллов | 6   |          |                 | 15             |
| 2                     | Межмолекулярные взаимодействия                    | 6   |          |                 | 10             |
| 3                     | Базы структурных данных                           | 6   |          |                 | 10             |
| 4                     | Анализ распределения электронной плотности        | 4   |          |                 | 10             |
| 5                     | Кристаллизация                                    | 4   |          |                 | 7              |
| 6                     | Полиморфизм                                       | 4   |          |                 | 8              |
| 7                     | Многокомпонентные кристаллы                       | 8   |          |                 | 8              |
| 8                     | Металл-органические координационные полимеры      | 8   |          |                 | 8              |
| 9                     | Предсказание кристаллических структур             | 8   |          |                 | 4              |
| 10                    | Высокопроизводительный скрининг                   | 6   |          |                 | 10             |
| Итого часов           |   | 60  |          |                 | 90             |
| Подготовка к экзамену |   | 30 час.   |          |                 |                |
| Общая трудоёмкость    |   | 180 час., 4 зач.ед.   |          |                 |                |

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

###### 1. Основные положения и понятия инженерии кристаллов

История развития инженерии кристаллов до настоящего времени. Проблемы и основные направления современной инженерии кристаллов. Методологические аспекты. Принцип «ключ-замок». Топохимический принцип. Твердофазные реакции. Понятие элементарных структурных единиц (строительных блоков) кристаллов. Супрамолекулярная химия. Концепция супермолекулы. Понятие супрамолекулярного синтона и тектона. Классификация Эттер. Супрамолекулярная изомерия. Полиморфизм синтонов

###### 2. Межмолекулярные взаимодействия

Типы межмолекулярных взаимодействий, их природа и энергия. Ориентационное, индукционное, дисперсионное взаимодействие. Невалентные взаимодействия. Ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Принцип плотной упаковки. Гидрофобный эффект. Водородные связи и их иерархия. Галогенная связь. Пниктогенная связь. Стекинг-взаимодействия. Металлофильные взаимодействия. Жидкие кристаллы. Аналитические методы изучения невалентных взаимодействий

### 3. Базы структурных данных

Базы структурных данных. Боннская база данных. Кембриджская база данных. Брукхэвенская база данных. Валидация кристаллической структуры. Особенности поиска информации в Кембриджской базе структурных данных. Информация о супрамолекулярной структуре кристаллических материалов. Критерии поиска, ограничения. Поиск сольватов и полиморфов. Молекулярная комплементарность. «Карты» невалентных взаимодействий. Визуализация трехмерных структур. Программный пакет Mercury. Анализ данных о супрамолекулярной структуре кристаллических материалов

### 4. Анализ распределения электронной плотности

Качественный и количественный анализ невалентных взаимодействий. Поверхности Хиршфельда и их 2D-развертки. Визуализация невалентных взаимодействий. Количественные характеристики поверхностей Хиршфельда. Оценка вкладов невалентных взаимодействий. Теория Р. Бейдера «Атомы в Молекулах». Основы прецизионных рентгеноструктурных исследований. Деформационная электронная плотность. Топологический анализ. Критические точки. Способы оценки энергии взаимодействий. Эмпирическая зависимость Эспинозы-Моллинса-Лекомта. Индекс невалентного взаимодействия. Другие индикаторы невалентного взаимодействия

### 5. Кристаллизация

Основные понятия. Элементарная ячейка. Индексы Миллера. Морфология и габитус. Агрегация и зародышеобразование. Конкуренция термодинамических и кинетических факторов. Правило ступеней Освальда. Растворимость. Фазовые диаграммы. Правило фаз. Способы кристаллизации в лаборатории и промышленности. Высокотемпературная распылительная сушка. Совместное растирание компонентов. Кристаллизация из расплава. Медленное испарение. Охлаждение. Добавление осадителя. Влияние растворителя, добавок и примесей. Ингибиторы кристаллизации. Газовая диффузия. Поверхностная межфазная диффузия. Использование гелей. In situ кристаллизация жидкостей. Перекристаллизация как способ очистки химических веществ. Аналитические методы изучения и описания кристаллических продуктов

### 6. Полиморфизм

Основные понятия и определения. Полиморфы, гидраты и сольваты. Полиморфизм элементов и неорганических соединений. Полиморфизм органических соединений. Термодинамика полиморфных молекулярных кристаллов. Энантиотропия и монотропия. Кинетические факторы. Сопутствующие и исчезающие полиморфы. Методы контроля кристаллизации полиморфов. Аналитические методы изучения и описания полиморфов. Конформационный полиморфизм. Полиморфизм и корреляции «структура-свойство». Органические магнитные материалы. «Прыгающие» кристаллы. Органические проводники и сверхпроводники. Полиморфизм лекарственных препаратов. Полиморфизм красителей и пигментов. Полиморфизм высокоэнергетических материалов. Полиморфизм и патенты

Семестр: 8 (Весенний)

### 7. Многокомпонентные кристаллы

Общая классификация. Твердые растворы. Соединения «гость-хозяин» и соединения включения. Гидраты и сольваты. Донорно-акцепторные комплексы. Многокомпонентные кристаллы и сокристаллы. Правило АрКа для образования сокристаллов и солей. Методы получения многокомпонентных кристаллов. Метод «кристаллических губок» и его аналоги. Многокомпонентные кристаллы в фармацевтической промышленности. Органические проводники и сверхпроводники. Фотохромные кристаллические материалы. Многокомпонентные кристаллы высокоэнергетических материалов. Полифункциональные кристаллические материалы.

## 8. Металл-органические координационные полимеры

Металл-органические координационные полимеры и пористые каркасы. Способы получения, свойства и применения. Общие подходы к построению металл-органических координационных полимеров и пористых каркасов. Терминология, методы и инструменты ретикулярной химии. Строительные блоки, масштабирование. Вторичные строительные блоки, иерархические структуры. Изоретикулярные ряды. Топологические изомеры. Топологические дескрипторы. Топологические базы данных. Закономерности «состав-топология-свойство». Принципы топологического дизайна. Водородно-связанные органические полимеры и каркасы.

## 9. Предсказание кристаллических структур

Постановки и решения задачи предсказания структур. Геометрическая модель кристалла. Атом-атомные потенциалы. Формирование пробных элементарных ячеек. Случайный поиск. Имитация отжига. Эволюционные алгоритмы. Методы машинного обучения. Предсказание стабильных соединений. «Слепые» тесты Кембриджской базы структурных данных. Сольваты и сокристаллы. Оптимизация физических свойств

## 10. Высокопроизводительный скрининг

Комбинаторный синтез. Автоматизация. Высокопроизводительный скрининг кристаллических форм. Скрининг лекарственных препаратов. Полиморфы, сольваты, многокомпонентные кристаллы. Коммерческие и оригинальные установки для высокопроизводительного скрининга продуктов кристаллизации. Оптимизация условий кристаллизации. Машинное обучение. Компьютерное зрение. 3D-печать

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором и экраном.

Самостоятельная работа студента обеспечивается доступностью библиотечного фонда.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Полиморфизм молекулярных кристаллов. Дж. Бернштейн. Наука, Москва, 2007.
2. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы. Лен Жан-Мари. Наука, Новосибирск, 1998.
3. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. Каплан И.Г. Наука, Москва, 1982.

### Дополнительная литература

1. Crystallization and Materials Science of Modern Artificial and Natural Crystals. Ed. by E. Borisenko, N. Kolesnikov. InTech, Rijeka, Croatia, 2012.
2. Crystallography of Supramolecular Compounds. Ed. by G. Tsoucaris, J.L. Atwood, J. Lipkowski, NATO ASI Series, C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 480, Kluwer, Dordrecht, 1996.
3. A Practical Guide to Supramolecular Chemistry, P. J. Cragg. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2005.
4. Core Concepts in Supramolecular Chemistry and Nanochemistry, J. W. Steed, D. R. Turner, K. Wallace, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 2003.
5. Reactivity of Molecular Solids. Ed. by E. Boldyreva, V. Boldyrev, Molecular Solid State Series Vol. 3, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim, Germany, 1999.

**7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)**

Не используются

**8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

База данных Национального института стандартизации и технологии США по свойствам соединений - <http://webbook.nist.gov/chemistry/>

Научная электронная библиотека РФФИ [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)

Единое окно доступа к образовательным ресурсам Федерального портала Российское образование <http://www.window.edu.ru>

**9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину, должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- напряжённой самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- решение задач, предлагаемых студентам на занятиях;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

|   |  |
|---|--|
| <b>по направлению:</b>                    | Прикладные математика и физика   |
| <b>профиль подготовки:</b>                | Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы<br>Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики<br>кафедра химической физики функциональных материалов |
| <b>курс:</b>                              | <u>4</u>   |
| <b>квалификация:</b>                      | бакалавр   |
| Семестры, формы промежуточной аттестации: |  |
| 7 (осенний) - Дифференцированный зачет    |  |
| 8 (весенний) - Экзамен                    |  |
| <b>Разработчик:</b>                       | Ю.В. Нелюбина, д-р хим. наук   |

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

| Код и наименование компетенции  | Индикаторы достижения компетенции   |
|---|---|
| УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач                           | УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи                         |
|   | УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки          |
| ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования | ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем |

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Инженерия кристаллических материалов» обучающийся должен:

### знать:

- теоретические основы инженерии кристаллов в лаборатории и промышленности;
- специфику различных физико-химических методов анализа кристаллических материалов;
- основные методы кристаллизации органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- особенности экспериментального и теоретического поиска новых кристаллических форм.

### уметь:

- использовать базы структурных данных органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- планировать стратегию поиска структурных прототипов новых веществ и материалов с заданными свойствами;
- обрабатывать данные, полученные с помощью физико-химических методов исследования вещества и анализа банков структурных данных;
- планировать стратегию дизайна кристаллических материалов с заданными свойствами.

### владеть:

- методологией использования современного программного обеспечения по визуализации и анализу кристаллической структур органических, неорганических и элементоорганических соединений;
- практическими навыками поиска информации в банках структурной данных;
- различными способами визуализации и анализа межмолекулярных взаимодействий в кристаллах;
- методологией сопоставления, критической интерпретации и обработки массива данных для поиска закономерностей «структура – свойство».

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущей лекции

## 4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к дифференцированному зачету:

1. Понятие супрамолекулярного синтона и тектона.
2. Классификация водородно-связанных ассоциатов по Эттер.
3. Понятие полиморфа, сольвата, соли и многокомпонентного кристалла.
4. Проблемы и основные направления современной инженерии кристаллов.
5. Типы невалентных взаимодействий
6. Ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Принцип плотной упаковки. Гидрофобный эффект.



7. Аналитические методы изучения невалентных взаимодействий.
  8. Базы структурных данных.
  9. Поиск информации о супрамолекулярной структуре в Кембриджской базе структурных данных.
  10. Визуализация и оценка вкладов невалентных взаимодействий при помощи поверхностей Хиршфельда и их 2D-развертки.
  11. Основы прецизионных рентгеноструктурных исследований.
  12. Основы топологического анализа распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера «Атомы в Молекулах».
  13. Правило ступеней Освальда.
  14. Фазовые диаграммы. Правило фаз.
  15. Основные способы кристаллизации в лаборатории и промышленности и их отличия.
  16. Ингибиторы кристаллизации.
  17. In situ кристаллизация жидкостей.
  18. Аналитические методы изучения кристаллических продуктов.
  19. Влияние растворителя, добавок и примесей на процесс кристаллизации.
  20. Конкуренция термодинамических и кинетических факторов в процессе кристаллизации.
- Вопросы к экзамену:

1. Понятие супрамолекулярного синтона и тектона.
2. Классификация водородно-связанных ассоциатов по Эттер.
3. Понятие полиморфа, сольвата, соли и многокомпонентного кристалла.
4. Проблемы и основные направления современной инженерии кристаллов.
5. Типы невалентных взаимодействий
6. Ван-дер-ваальсовы взаимодействия. Принцип плотной упаковки. Гидрофобный эффект.
7. Аналитические методы изучения невалентных взаимодействий.
8. Базы структурных данных.
9. Поиск информации о супрамолекулярной структуре в Кембриджской базе структурных данных.
10. Визуализация и оценка вкладов невалентных взаимодействий при помощи поверхностей Хиршфельда и их 2D-развертки.
11. Основы прецизионных рентгеноструктурных исследований.
12. Основы топологического анализа распределения электронной плотности в рамках теории Р. Бейдера «Атомы в Молекулах».
13. Правило ступеней Освальда.
14. Фазовые диаграммы. Правило фаз.
15. Основные способы кристаллизации в лаборатории и промышленности и их отличия.
16. Ингибиторы кристаллизации.
17. In situ кристаллизация жидкостей.
18. Аналитические методы изучения кристаллических продуктов.
19. Влияние растворителя, добавок и примесей на процесс кристаллизации.
20. Конкуренция термодинамических и кинетических факторов в процессе кристаллизации.
21. Полиморфизм элементов и неорганических соединений.
22. Полиморфизм органических соединений.
23. Термодинамика полиморфных молекулярных кристаллов.
24. Аналитические методы изучения и описания полиморфов.
25. Полиморфизм лекарственных препаратов.
26. Правило ДрКа для образования сокристаллов и солей.
27. Способы получения многокомпонентных кристаллов.
28. Метод «кристаллических губок» и его аналоги.
29. Многокомпонентные кристаллы в фармацевтической промышленности.
30. Терминология, методы и инструменты ретикулярной химии.
31. Металл-органические координационные полимеры и пористые каркасы: основные способы получения, свойства и применения.
32. Топологические базы данных.
33. Изоретикулярные ряды. Топологические изомеры.

34. Современные методы предсказания кристаллических структур.
35. Валидация результатов теоретического моделирования кристаллических структур
36. Высокопроизводительный скрининг кристаллических форм.
37. Коммерческие и оригинальные установки для высокопроизводительного скрининга продуктов кристаллизации.

Примеры экзаменационных билетов:

Пример 1:

1. Термодинамика полиморфных молекулярных кристаллов.
2. Основы прецизионных рентгеноструктурных исследований.

Пример 2:

1. Влияние растворителя, добавок и примесей на процесс кристаллизации.
2. Понятие полиморфа, сольвата, соли и многокомпонентного кристалла.

#### Критерии оценивания

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Оценка в осеннем семестре выставляется по результатам устного опроса на дифференцированном зачете. Оценка в весеннем семестре выставляется по результатам устного экзамена. Опрос не должен превышать 60 минут.