

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 02.06.2022 18:39:52  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Санкт-Петербургский государственный технологический институт  
(технический университет)»

УТВЕРЖДАЮ  
Врио проректора по учебной  
и методической работе  
\_\_\_\_\_ Б.В. Пекаревский  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

**Рабочая программа дисциплины**  
**СТРОЕНИЕ И РЕАКЦИОННАЯ СПОСОБНОСТЬ**  
**ГЕТЕРОАРОМАТИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

Направление подготовки

**18.03.01 – Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата

**Химическая технология тонкого органического синтеза**

Квалификация

**Бакалавр**

Форма обучения

**Очная**

Факультет **химической и биотехнологии**

Кафедра **химической технологии органических красителей и фототропных соединений**

Санкт-Петербург

2021

## ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Должность	Подпись	Ученое звание, фамилия, инициалы
Зав. кафедрой		Рамш С.М.

Рабочая программа дисциплины «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» обсуждена на заседании кафедры химической технологии органических красителей и фототропных соединений протокол от «01» апреля 2021 г. № 4

Заведующий кафедрой

С.М. Рамш

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии протокол от «20» апреля 2021 г. № 9

Председатель

М.В. Рутто

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления подготовки «Химическая технология»		М.В. Рутто
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник учебно-методического управления		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	4
2 Место дисциплины в структуре образовательной программы .....	6
3 Объем дисциплины.....	6
4 Содержание дисциплины.....	7
4.1 Разделы дисциплины и виды занятий .....	7
4.2. Занятия лекционного типа .....	8
4.3 Занятия семинарского типа .....	12
4.3.1 Семинары, практические занятия .....	12
4.4 Самостоятельная работа обучающихся.....	13
4.4.1 Вопросы для КСР и самостоятельного изучения .....	13
4.4.2 Темы контрольной работы.....	13
4.4.3 Темы рефератов .....	14
5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	14
6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации .....	15
6.1 Контрольные вопросы по дисциплине, используемые при промежуточной аттестации .....	15
6.2 Перечень типовых задач по строению и реакционной способности гетероароматических соединений, используемых при промежуточной аттестации (экзамен).....	17
6.3 Перечень типовых задач по номенклатуре гетероциклических соединений, используемых при текущем контроле (АР) и промежуточной аттестации (экзамен) .....	21
7 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины .....	25
8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	26
9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	33
10 Перечень информационных технологий и программного обеспечения, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	34
10.1 Информационные технологии.....	34
10.2 Программное обеспечение.....	34
10.2.1 Специальное программное обеспечение:.....	34
10.2.2 Универсальное программное обеспечение: .....	34
10.3. Базы данных и информационные справочные системы. ....	34
11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине .....	35
12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья. ....	37
Приложение № 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений»	40
1. Перечень компетенций и этапов их формирования .....	40
2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания.....	39
3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации .....	43
4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций.....	45

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы.

В результате освоения образовательной программы бакалавриата обучающийся должен овладеть следующими результатами обучения по дисциплине:

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
<p><b>ПК-2</b> Способность использовать методики создания органических веществ и материалов</p>	<p><b>ПК-2.1</b> Использование знаний о свойствах ароматических и гетероароматических соединений для выбора оптимального метода их получения</p>	<p><b>Знать:</b> молекулярное строение и физико-химические свойства основных классов гетероароматических соединений (ЗН-1); методы получения основных классов гетероароматических соединений (ЗН-2); химические свойства основных классов гетероароматических соединений (ЗН-3); основные методы получения «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – функционализированных производных гетероароматических соединений (ЗН-4); механизмы основных типов реакций, протекающих с участием гетероароматических соединений «простого» и «сложного» строения (ЗН-5); качественные соотношения между строением и реакционной способностью «исходных» соединений, «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – соединений гетероароматического ряда (ЗН-6).</p>

<sup>1</sup> Содержание и номер компетенции в точности соответствует ФГОС ВО и отображается в матрице компетенций для конкретной дисциплины.

<sup>2</sup> Код индикатора присваивается руководителем направления подготовки, отображается в матрице компетенции и доводится разработчикам РПД. Повторение кодов индикаторов для конкретной компетенции, реализуемой разными дисциплинами, не допускается.

<sup>3</sup> Дескрипторы переносятся из матрицы компетенций без смены формулировок.

Код и наименование компетенции <sup>1</sup>	Код и наименование индикатора достижения компетенции <sup>2</sup>	Планируемые результаты обучения (дескрипторы) <sup>3</sup>
		<p><b>Уметь:</b>  применять полученные знания для установления строения, изучения физико-химических и химических свойств вновь синтезированных в ходе выполнения лабораторных, курсовых работ и ВКР гетероароматических соединений «простого» и «сложного» строения (У-1);  применять полученные знания для целенаправленного синтеза как новых, так и уже известных гетероароматических соединений заданного строения (У-2);  прогнозировать физико-химические, химические и специальные свойства, а также реакционную способность вновь синтезированных гетероароматических соединений (У-3);  работать с учебной, научной и справочной литературой по химии гетероароматических соединений в процессе выполнения курсовых работ по специальности, ВКР, а также в ходе дальнейшей профессиональной деятельности (У-4).</p> <p><b>Владеть:</b>  навыками изучения строения, физико-химических и химических свойств вновь синтезированных гетероароматических соединений (Н-1);  навыками лабораторного синтеза основных классов гетероароматических соединений (Н-2);  навыками работы с научно-технической информацией по химии и технологии гетероароматических соединений (Н-3).</p>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.01.01) и изучается на 4 курсе в 7 семестре.

В методическом аспекте дисциплина базируется на следующих дисциплинах учебного плана:

Б1.О.05 «Математика»,

Б1.О.07 «Физика»,

Б1.О.08 «Общая и неорганическая химия»,

Б1.О.25 «Органическая химия»,

Б1.О.09 «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа»,

Б1.О.24 «Физическая химия»,

Б1.В.04 «Теория химико-технологических процессов тонкого органического синтеза».

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01 «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» рассматривается как связующее звено между указанными математическими, естественнонаучными и профессиональными дисциплинами – с одной стороны, и дисциплинами профессионального цикла Б1.В.02 «Химия и технология органических красителей», Б1.В.03 «Введение в фотохимию», Б1.В.05 «Химия и технология тонкого органического синтеза» – с другой.

Полученные в рамках изучения данной дисциплины знания будут необходимы студентам при изучении указанных дисциплин профессионального цикла, при подготовке, выполнении и защите курсовых работ по специальности, выпускной квалификационной работы, при решении научно-исследовательских задач в будущей профессиональной деятельности.

## 3 Объем дисциплины

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Общая трудоемкость дисциплины (зачетных единиц / академических часов)</b>	<b>5 / 180</b>
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>78</b>
занятия лекционного типа	36
занятия семинарского типа, в том числе	36
семинары, практические занятия (в том числе практическая подготовка)*	36 (9)
лабораторные работы (в том числе практическая подготовка)*	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	6
другие виды контактной работы	-

Вид учебной работы	Всего, академических часов
	Очная форма обучения
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>75</b>
<b>Форма текущего контроля (Кр, реферат, РГР, эссе)</b>	Реферат
<b>Форма промежуточной аттестации (КР, КП, зачет, экзамен)</b>	Экзамен / <b>27</b>

\* практическая подготовка только для дисциплин с ПК

## 4 Содержание дисциплины

### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Контролируемая самостоятельная работа, акад. часы	Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции	Формируемые индикаторы
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы				
1	Значение и области применения гетероароматических соединений	4	4		–	–	ПК-2	ПК-2.1
2	Номенклатура гетероароматических соединений	4	4		6	-	ПК-2	ПК-2.1
3	Строение гетероароматических соединений	4	4		–	–	ПК-2	ПК-2.1
4	Методы получения гетероароматических соединений	8	8		–	75	ПК-2	ПК-2.1
5	Реакционная способность гетероароматических соединений	12	12		–	–	ПК-2	ПК-2.1
6	Количественная оценка физико-химических свойств и реакционной способности	4	4		–	–	ПК-2	ПК-2.1

	гетероароматический соединений							
	<b>Итого</b>	<b>36</b>	<b>36</b>		<b>6</b>	<b>75</b>		

#### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
1	<b>1. Значение и области применения гетероароматических соединений</b>	4	ПЛ
2	<b>2. Номенклатура гетероароматических соединений</b> Тривиальные названия гетероциклических соединений. Система Ганча-Видмана. Номенклатурные правила IUPAC. Номенклатура конденсированные гетероароматических соединений.	4	ЛВ
3	<b>3. Строение гетероароматических соединений</b> 3.1. Ароматичность гетероциклов Критерии определения ароматичности: структурные, магнитные, энергетические, химические. Квантово-химический подход к описанию строения и свойств гетероароматических соединений. Строение 5- и 6-членных гетероароматических систем с одним, двумя и более гетероатомами. Влияние бензоаннелирования на распределение электронной плотности в гетероароматических соединениях. 3.2. $\pi$ -Электроноизбыточные и $\pi$ -электронодефицитные гетероароматические соединения Основные принципы классификации гетероароматических соединений на $\pi$ -избыточные, $\pi$ -дефицитные и $\pi$ -амфотерные. Критерии оценки $\pi$ -избыточности и $\pi$ -дефицитности. Понятие об общей и локальной $\pi$ -избыточности и $\pi$ -дефицитности. 3.3. Электронодонорные и электроноакцепторные свойства гетероароматических систем Критерии оценки электронодонорных и электроноакцепторных свойств гетероциклов. Молекулярные комплексы гетероароматических соединений с $\pi$ -донорами и $\pi$ -акцепторами, автокомплексы. Катион-радикалы, нейтральные $\pi$ -радикалы гетероароматических соединений.	4	Л, ДОТ



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
4	<p><b>4. Методы получения гетероароматического соединений</b></p> <p>4.1. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.</p> <p>4.2. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.</p> <p>4.3. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.</p> <p>4.4. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя и более гетероатомами.</p> <p>4.5. Методы получения бензоаннелированных 5- и 6-членных ароматических гетероциклов.</p> <p>4.6. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя, тремя и более гетероядрами.</p>	8	Л, ДОТ
5	<p><b>5. Реакционная способность гетероароматических соединений</b></p> <p>5.1. Типичные реакции гетероатомов гетероароматической системы</p> <p>5.1.1. Пиридиновый атом азота Основность гетероциклов и факторы, влияющие на нее. Кватернизация азаароматических систем. Алкилирующие агенты, механизм реакции, влияние растворителя, электронные эффекты заместителей, стерические факторы. Относительная реакционная способность азинов и азолов. Алкилирование амино-, гидроксид-, меркапто- и алкилпроизводных азинов и азолов. Кинетический и термодинамический контроль реакций. N-Арилирование, N-ацилирование. Окисление азаароматических систем до N-оксидов. Взаимодействие с катионами нитрония и нитрозония. N-Аминирование и цианирование. Образование комплексных соединений с металлами.</p> <p>5.1.2. Пиррольный атом азота Основность, NH-кислотность. Влияние бензоаннелирования на кислотно-основные свойства гетероцикла. Зависимость NH-кислотности от числа гетероатомов в азолах. Прототропная таутомерия азолов. N-</p>	12	Л, ДОТ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Алкилирование азолов в нейтральной и щелочной среде, механизмы реакций. Амбидентность анионов NH-гетероциклов. Факторы, определяющие соотношение продуктов алкилирования.</p> <p>N-Арилирование и N-ацилирование азолов. Факторы, способствующие N-ацилированию. Взаимодействие NH-гетероциклов с непредельными соединениями.</p> <p>Деметилирование четвертичных солей гетероциклов. Механизм перегруппировки Ладенбурга. Использование N-замещенных гетероциклов в качестве высокоселективных реагентов в реакциях нитрования, сульфирования, галогенирования, ацилирования, бензоилирования и др. Роль этих реакций в биохимических процессах.</p> <p>5.2. Электрофильное замещение в гетероароматических системах</p> <p>Реакционная способность гетероциклов по отношению к электрофилам, ее зависимость от типа реагирующей частицы. Механизмы реакций электрофильного замещения: «классический», катион-радикальный, карбанионный (илидный), замещение через продукт присоединения.</p> <p>Реакции электрофильного замещения в <math>\pi</math>-электронодефицитных циклах. Сравнительная активность <math>\alpha</math>- и <math>\beta</math>-положений в 5-членных гетероароматических системах с одним гетероатомом. Влияние термодинамических и стерических факторов.</p> <p>Реакции электрофильного замещения в азолах. Зависимость реакционной способности азолов от природы гетероатома, числа гетероатомов и их взаимного положения в цикле.</p> <p>Влияние бензоаннелирования на электрофильное замещение в <math>\pi</math>-избыточных и <math>\pi</math>-дефицитных гетероциклических системах.</p> <p>5.3. Взаимодействие гетероароматических соединений с нуклеофильными реагентами.</p> <p>Факторы, определяющие реакционную способность гетероциклов по отношению к нуклеофилам: тип реагирующей частицы, бензоаннелирование, ароматичность, термодинамические, электростатические, орбитальные, энергетические факторы.</p>		

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	<p>Особенности реакций нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях. Механизмы реакций: «классический», кин- и теле-замещение, ариновый, радикально-нуклеофильный, ANRORC.</p> <p>Влияние замещаемой группы на условия реакций. Замещение гидрид-иона, галогена, сульфо-, нитро- и углеводородных групп. Реакция Чичибабина.</p> <p>Взаимодействие гетероциклов с металлорганическими соединениями. Димеризация гетероциклов под действием нуклеофилов.</p> <p>Реакционная способность гетероароматических катионов. Взаимодействие со щелочами, образование илидов, ангидрооснований, псевдооснований; диспропорционирование и окисление псевдооснований. Взаимодействие с аминами, гидразинами, цианидами, гидроксисоединениями, <math>\pi</math>-электрононасыщенными циклическими системами. Гетарилирование. Рециклизация гетероароматических катионов под действием нуклеофилов: с сохранением гетерокольца, с заменой одного гетероатома на другой, с заменой гетероатома на атом углерода, с расширением или сужением цикла. Реакции гетероароматических катионов с отщеплением N-заместителей.</p>		
6	<p><b>6. Количественная оценка физико-химических свойств и реакционной способности гетероароматических соединений</b></p> <p>Гетероатом как специфических заместитель. Сравнение электроноакцепторных свойств пиридинового атома азота и нитрогруппы. Индукционные и мезомерные эффекты гетероатомов пиррольного типа. Оценка влияния гетероатомов в конденсированных системах. Передача эффектов заместителей в гетероароматических системах. Проводимость электронных эффектов через гетероатомы пиридинового и пиррольного типа. Сравнение проводимости электронных эффектов через азиновые и бензольные кольца. Гетарильные группы как заместители, <math>\sigma</math>-константы</p>	4	Л, ДОТ

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
	гетарильных групп.		

**Примеры образовательных технологий, способов и методов обучения** (с сокращениями): традиционная лекция (Л), лекция-визуализация (ЛВ), проблемная лекция (ПЛ), лекция – пресс-конференция (ЛПК), занятие – конференция (ЗК), тренинг (Т), дебаты (Д), мозговой штурм (МШ), мастер-класс (МК), «круглый стол» (КрСт), активизация творческой деятельности (АТД), регламентированная дискуссия (РД), дискуссия типа форум (Ф), деловая и ролевая учебная игра (ДИ, РИ), метод малых групп (МГ), занятия с использованием тренажеров, имитаторов (Тр), компьютерная симуляция (КтСм), использование компьютерных обучающих программ (КОП), интерактивных атласов (ИА), посещение врачебных конференции, консилиумов (ВК), участие в научно-практических конференциях (НПК), съездах, симпозиумах (Сим), учебно-исследовательская работа студента (УИРС), проведение предметных олимпиад (О), подготовка письменных аналитических работ (АР), подготовка и защита рефератов (Р), проектная технология (ПТ), экскурсии (Э), дистанционные образовательные технологии (ДОТ).

### 4.3 Занятия семинарского типа

#### 4.3.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы		Инновационная форма
		всего	в том числе на практическую подготовку*	
1	Значение и области применения гетероароматических соединений	4		РД
2	Номенклатура гетероароматических соединений	4		АР, Т
3	Строение гетероароматических соединений	4		АТД
4	Методы получения гетероароматических соединений	8	4	Р
5	Реакции электрофильного замещения в гетероароматических соединениях. Реакции гетероароматических соединений с нуклеофильными реагентами. Рециклизация гетероароматических соединений под действием нуклеофилов.	12	5	АТД
6	Кислотно-основные свойства гетероциклов. Типичные реакции гетероатомов	2		АТД

	гетероароматических систем			
6	Таутомерия и двойственная реакционная способность гетероциклических соединений	2		УИРС

#### 4.4 Самостоятельная работа обучающихся

##### 4.4.1 Вопросы для КСР и самостоятельного изучения

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
2	Номенклатура гетероароматических соединений	6 (КСР)	АР
4	Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом	6	Устный опрос №1
4	Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя и более гетероатомами	6	Устный опрос №2
4	Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом	6	Устный опрос №3
4	Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя и более гетероатомами	6	Устный опрос №4
4	Методы получения бензоаннелированных 5- и 6-членных ароматических гетероциклов	6	Устный опрос №5
4	Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя, тремя и более гетероядрами	6	Устный опрос №6
1-6	Подготовка к контрольной работе	9	Контрольная работа
4	Подготовка индивидуального задания	30	Реферат

По разделам 1-6 дисциплины студенты выполняют одну контрольную работу.

По разделу 4 дисциплины студенты подготавливают индивидуальное задание в виде реферата.

##### 4.4.2 Темы контрольной работы

Контрольная работа содержит одну задачу по строению и реакционной способности гетероароматических соединений.

Контрольная работа охватывает следующие вопросы:

1. Строение гетероароматических соединений.
2. Кислотно-основные свойства гетероароматических соединений в.
3. Типичные реакции гетероатомов гетероароматических систем.

4. Таутомерия и двойственная реакционная способность гетероциклических соединений.
5. Реакции электрофильного замещения в гетероароматическом ряду.
6. Реакции нуклеофильного замещения в гетероароматическом ряду.
7. Рециклизация гетероароматических соединений под действием нуклеофилов.

Перечень типовых задач по строению и реакционной способности гетероароматических соединений приведен ниже, в разделе 6.

#### 4.4.3 Темы рефератов

По разделу 4 «Методы получения гетероароматических соединений» студенты подготавливают индивидуальное задание в виде реферата на предложенную тему:

1. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.
2. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.
3. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.
4. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.
5. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.
6. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.
7. Методы получения бензоаннелированных 5-членных ароматических гетероциклов.
8. Методы получения бензоаннелированных 6-членных ароматических гетероциклов.
9. Методы получения бензоаннелированных 7-членных и большего размера ароматических гетероциклов.
10. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя гетероядрами.
11. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с тремя гетероядрами.
12. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с более чем тремя гетероядрами.

Выполнение реферата является обязательным условием допуска к экзамену.

### **5 Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Методические указания для обучающихся по организации самостоятельной работы по дисциплине, включая перечень тем самостоятельной работы, формы текущего контроля по дисциплине и требования к их выполнению, размещены в электронной

## **6 Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации**

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет достигнуть (оценка «удовлетворительно») или превысить пороговый уровень результатов обучения.

Результаты освоения дисциплины считаются достигнутыми, если у обучающегося выявлены индикаторы достижения компетенций, т. е. для всех дескрипторов компетенций достигнут пороговый уровень их усвоения на данном этапе, что соответствует оценке «удовлетворительно».

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме реферата и экзамена.

К сдаче экзамена допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля, т. е. получившие положительные оценки за письменную аналитическую работу и реферат.

Экзамен предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных дескрипторов компетенций и комплектуется вопросами (заданиями) трех видов: теоретический вопрос (для проверки знаний), практическая задача по строению, реакционной способности и получению гетероароматических соединений и практическая задача по номенклатуре гетероциклических соединений (для проверки умений и навыков).

В экзаменационном билете содержится один вопрос из перечня контрольных вопросов (теоретический вопрос) и две практических задания, по одному из каждого перечня типовых задач, время подготовки студента к устному ответу на экзамене – до 45 мин.

### **6.1 Контрольные вопросы по дисциплине, используемые при промежуточной аттестации**

(теоретические вопросы к экзамену)

1. Значение и области применения гетероароматических соединений.
2. Тривиальные названия гетероциклических соединений. Система Ганча-Видмана для гетеромоноциклов. Номенклатурные правила IUPAC. Номенклатура конденсированные гетероароматических соединений.
3. Критерии определения ароматичности: структурные, магнитные, энергетические, химические. Квантово-химический подход к описанию строения и свойств гетероароматических соединений. Строение 5- и 6-членных гетероароматических систем с одним, двумя и более гетероатомами. Влияние бензоаннелирования на распределение электронной плотности в гетероароматических соединениях.
4. Основные принципы классификации гетероароматических соединений на  $\pi$ -избыточные,  $\pi$ -дефицитные и  $\pi$ -амфотерные. Критерии оценки  $\pi$ -избыточности и  $\pi$ -дефицитности. Понятие об общей и локальной  $\pi$ -избыточности и  $\pi$ -дефицитности.
5. Критерии оценки электронодонорных и электроноакцепторных свойств гетероциклов. Молекулярные комплексы гетероароматических соединений с  $\pi$ -донорами и  $\pi$ -акцепторами, автокомплексы. Катион-радикалы, нейтральные  $\pi$ -радикалы гетероароматических соединений.
6. Гетероатом как специфических заместитель. Сравнение электроноакцепторных свойств пиридинового атома азота и нитрогруппы. Индукционные и мезомерные эффекты гетероатомов пиррольного типа. Оценка влияния гетероатомов в конденсированных

системах. Передача эффектов заместителей в гетероароматических системах. Проводимость электронных эффектов через гетероатомы пиридинового и пиррольного типа. Сравнение проводимости электронных эффектов через азиновые и бензольные кольца. Гетарильные группы как заместители,  $\sigma$ -константы гетарильных групп.

7. Основность гетероциклов с атомами азота пиридинового типа и факторы, влияющие на нее.

8. Кватернизация азаароматических систем. Алкилирующие агенты, механизм реакции, влияние растворителя, электронные эффекты заместителей, стерические факторы. Относительная реакционная оспособнность азинов и азолов. Алкилирование амино-, гидроксо-, меркапто- и алкилпроизводных азинов и азолов. Кинетический и термодинамический контроль реакций.

9. N-Арилирование, N-ацилирование азаароматических систем. Окисление азаароматических систем до N-оксидов. Взаимодействие с катионами нитрония и нитрозония. N-Аминирование и цианирование. Образование комплексных соединений с металлами.

10. Основность, NH-кислотность гетероциклов с атомом азота пиррольного типа. Влияние бензоаннелирования на кислотно-основные свойства гетероцикла. Зависимость NH-кислотности от числа гетероатомов в азолах.

11. Прототропная таутомерия азолов. N-Алкилирование азолов в нейтральной и щелочной среде, механизмы реакций. Амбидентность анионов NH-гетероциклов. Факторы, определяющие соотношение продуктов алкилирования.

12. N-Арилирование и N-ацилирование азолов. Факторы, способствующие N-ацилированию. Взаимодействие NH-гетероциклов с непредельными соединениями.

13. Деметилирование четвертичных солей гетероциклов. Механизм перегруппировки Ладенбурга. Использование N-замещенных гетероциклов в качестве высокоселективных реагентов в реакциях нитрования, сульфирования, галогенирования, ацилирования, бензоилирования и др. Роль этих реакций в биохимических процессах.

14. Реакционная способность гетероциклов по отношению к электрофилам, ее зависимость от типа реагирующей частицы. Механизмы реакций электрофильного замещения: «классический», катион-радикальный, карбанионный (илидный), замещение через продукт присоединения.

15. Реакции электрофильного замещения в  $\pi$ -электронодефицитных циклах. Сравнительная активность  $\alpha$ - и  $\beta$ -положений в 5-членных гетероароматических системах с одним гетероатомом. Влияние термодинамических и стерических факторов.

16. Реакции электрофильного замещения в азолах. Зависимость реакционной способности азолов от природы гетероатома, числа гетероатомов и их взаимного положения в цикле.

17. Влияние бензоаннелирования на электрофильное замещение в  $\pi$ -избыточных и  $\pi$ -дефицитных гетероциклических системах.

18. Факторы, определяющие реакционную способность гетероциклов по отношению к нуклеофилам: тип реагирующей частицы, бензоаннелирование, ароматичность, термодинамические, электростатические, орбитальные, энергетические факторы.

19. Особенности реакций нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях. Механизмы реакций: «классический», кин- и теле-замещение, ариновый, радикально-нуклеофильный, ANRORC.

20. Влияние замещаемой группы на условия реакций нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях. Замещение гидрид-иона, галогена, сульфо-, нитро- и углеводородных групп. Реакция Чичибабина.

21. Взаимодействие гетероциклов с металлорганическими соединениями. Димеризация гетероциклов под действием нуклеофилов.



22. Реакционная способность гетероароматических катионов. Взаимодействие со щелочами, образование илидов, ангидрооснований, псевдооснований; диспропорционирование и окисление псевдооснований. Взаимодействие с аминами, гидразинами, цианидами, гидрокси-соединениями,  $\pi$ -электрононасыщенными циклическими системами. Гетарилирование. Рециклизация гетероароматических катионов под действием нуклеофилов: с сохранением гетерокольца, с заменой одного гетероатома на другой, с заменой гетероатома на атом углерода, с расширением или сужением цикла. Реакции гетероароматических катионов с отщеплением N-заместителей.

23. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.

24. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.

25. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.

26. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.

27. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.

28. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.

29. Методы получения бензоаннелированных 5-членных ароматических гетероциклов.

30. Методы получения бензоаннелированных 6-членных ароматических гетероциклов.

31. Методы получения бензоаннелированных 7-членных и большего размера ароматических гетероциклов.

32. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя гетероядрами.

33. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с тремя гетероядрами.

34. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с более чем тремя гетероядрами.

## **6.2 Перечень типовых задач по строению и реакционной способности гетероароматических соединений, используемых при промежуточной аттестации (практические задания к экзамену)**

1. Объясните, почему пиразин уступает по локальной  $\pi$ -дефицитности не только 1,3,5-триазину, но даже пиридину.

2. Какой из галогенов в 3,4-дихлорпиридине легче замещается на нуклеофил? Представьте схемы превращений. Объясните.

3. Расположите в порядке уменьшения основности следующие соединений:

- a) пиридин,
- b) пиразин (1,4-диазин),
- c) хинолин,
- d) 1,5-нафтиридин.

Объясните. Представьте схемы протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации.

4. Как влияют на основность азатруппы в пиридиновом цикле конденсированные с ним циклы:

- бензол,
- пиррол,
- пиридин?

Объясните. Представьте схемы протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации.

5. В каком соединении NH-группа более кислая – в карбазоле или в анилине? Какое соединение обладает более сильными кислотными свойствами – флуорен или толуол? Объясните.

Представьте схемы кислотной диссоциации для каждого соединения. Найдите справочные (оценочные) значения констант диссоциации.

6. Как должна измениться скорость взаимодействия 4-хлорпиридина с фенолом в щелочной среде по сравнению с «нейтральной» (без добавления щелочи)? Представьте схемы превращений. Объясните.

7. Что быстрее взаимодействует со щелочью, 4-хлорпиридин или 4-иодпиридин? Представьте схемы превращений. Объясните.

8. Какой из двух атомов азота более основен в молекуле:

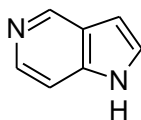
- бензимидазола;
- 2-аминопиридина?

Объясните. Представьте схемы (уравнения) протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации.

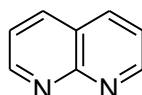
9. Расположите в ряд по увеличению  $pK_a$  следующие соединения:



I



II

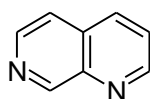
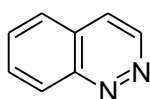
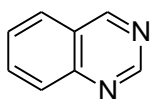


III

Дайте качественное объяснение. Представьте схемы протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации. Назовите эти соединения по правилам IUPAC.

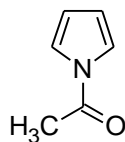
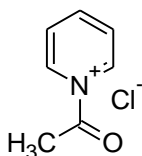
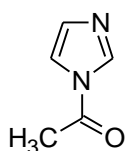
10. Объясните, почему в воде аммиак является более сильным основанием, чем пиридин, тогда как в газовой фазе (в парах) основность пиридина несколько выше, чем аммиака.

11. Укажите, какой из атомов азота в представленных ниже соединениях подвергается алкилированию в первую очередь? Представьте схемы реакционных превращений. Объясните.



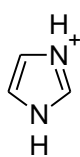
Назовите эти соединения по правилам IUPAC.

12. Объясните, почему имидазол намного основнее, чем пиразол. Представьте схемы протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации.
13. Почему при алкилировании имидазола в нейтральной среде алкилгалогенидами при мольном соотношении реагентов 1:1 получается смесь продуктов моно- и диалкилирования? Напишите уравнения реакций. Каким должно быть соотношение реагентов, чтобы получался в основном продукт моноалкилирования? Объясните.
14. Почему при ацилировании азолов в безводных апротонных растворителях их вводят в реакцию в 2-кратном мольном избытке по отношению к ацилирующему агенту? Приведите примеры реакций ацилирования азолов.
15. Какой продукт преимущественно образуется при метилировании 2-аминопиридина в нейтральных условиях? Объясните. Изобразите схемы реакций.
16. Объясните, почему натриевая соль 2-бензотиазолтиола («каптакса») метилируется преимущественно по атому серы, а ацетируется – по атому азота. Изобразите схемы соответствующих реакций.
17. Объясните, почему реакции алкилирования амбидентных анионов  $\alpha$ - и  $\gamma$ -амино-, гидрокси-, меркапто-, алкилазинов и азолов обычно являются кинетически контролируемы, а реакции ацилирования, гидроксиметилирования, аминометилирования таких гетероциклических субстратов подчиняются термодинамическому контролю? Приведите примеры таких реакций.
18. Расположите следующие N-ацетильные производные гетероциклов в порядке увеличения легкости отщепления ацетильной группы:

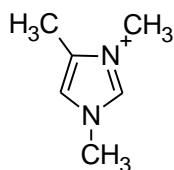


Объясните. Приведите примеры соответствующих реакций.

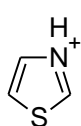
19. Объясните, почему четвертичные пиридиниевые соли, в которых атом азота связан с остатками неорганических кислот (серной, азотной, циановой), отличаются высокой лабильностью и часто применяются для введения этих остатков (назовите их) в другие молекулы. Приведите формулы этих солей и примеры реакций переноса указанных остатков.
20. Расположите в порядке уменьшения активности в реакции основного H/D-обмена, т. е. в порядке уменьшения скорости обмена, следующие азолиевые катионы:



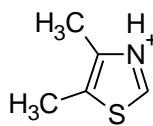
1



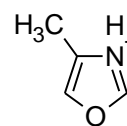
2



3



4



5

Объясните. Представьте механизм дейтерообмена в ряду азолов.

21. Почему под действием сильных кислот наблюдаются процессы ди-, три- и олигомеризации пиррола, фурана, индола и т. п.? Поясните механизм этих реакций на примере димеризации пиррола.

22. Расположите в порядке уменьшения активности (реакционной способности) по отношению к электрофильным реагентам следующие соединения:

- пиридин,
- хинолин,
- пиррол,
- индол.

Объясните. Представьте схемы (механизмы) реакций электрофильного замещения в указанных гетероароматических субстратах.

23. Какие продукты получаются при алкилировании индазола в нейтральной и в щелочной среде? Изобразите схемы этих реакций, объясните их ход и назовите механизмы, которым они следуют.

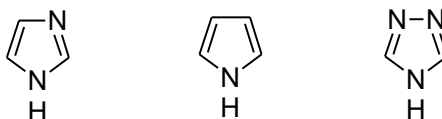
24. Расположите в порядке уменьшения NH-кислотности следующие соединения:

- пиррол,
- индол,
- имидазол,
- бензимидазол.

Объясните предложенный порядок уменьшения NH-кислотности. Представьте схемы кислотной диссоциации для каждого соединения. Найдите справочные (оценочные) значения констант диссоциации.

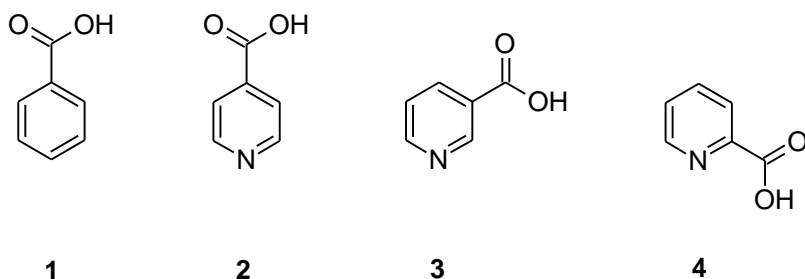
25. Объясните, почему реакции электрофильного замещения в пирроле идут преимущественно по  $\alpha$ -положению, а в индоле – преимущественно по  $\beta$ -положению? Представьте схемы (механизмы) соответствующих реакций.

26. Расположите следующие гетероциклы в порядке увеличения реакционной способности по отношению к электрофилам и объясните этот порядок.



Назовите эти гетероциклы. Приведите примеры реакций этих гетероароматических субстратов с электрофильными реагентами (с механизмами).

27. Расположите в порядке увеличения кислотности следующие соединения:



1

2

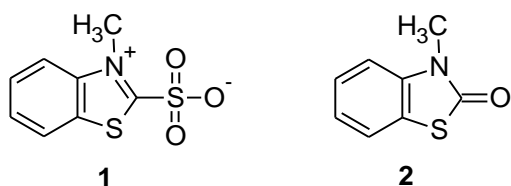
3

4

Объясните предложенный порядок. Представьте схемы кислотно-основных равновесий для амфотерных соединений (амфолитов). Найдите справочные значения констант диссоциации соединений **1-4**. Укажите, к каким равновесиям относятся найденные константы.

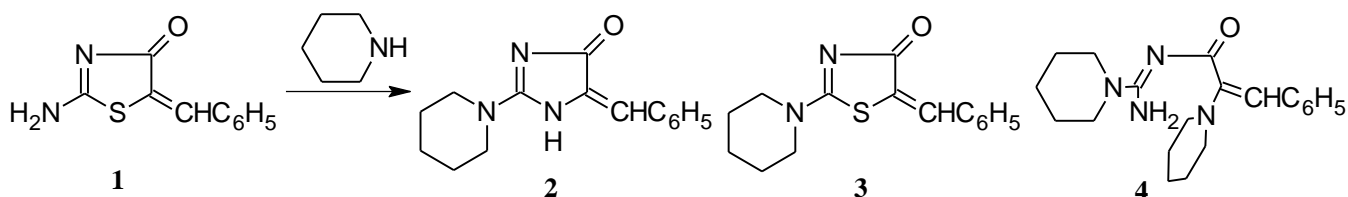
Назовите эти соединения.

28. Объясните, почему в ЯМР  $^1\text{H}$  спектре кондиционного 3-метилбензо[*d*]тиазол-3-ий-2-сульфоната (бетаин, **1**), записанном в товарном ДМСО- $d_6$ , помимо сигналов самого бетаина (**1**), содержатся сигналы 3-метилбензо[*d*]тиазол-2(3*H*)-она (бензотиазолон, **2**). В ЯМР  $^1\text{H}$  спектре этого же образца бетаина (**1**), записанном в товарном дейтерированном ацетонитриле, дополнительные сигналы, относящиеся к бензотиазолону (**2**), отсутствуют, и спектральная картина полностью соответствует структуре (**1**).



При необходимости проиллюстрируйте ваш ответ схемой химической трансформации.

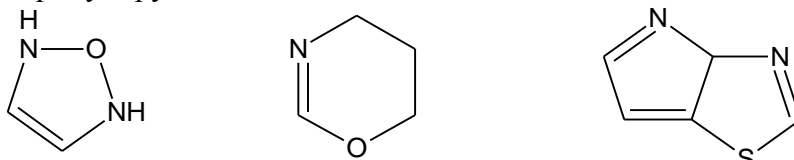
29. После нагревания 2-амино-5-бензилиден-1,3-тиазол-4(5*H*)-она (**1**) с избытком пиперидина в толуоле из реакционной смеси были выделены 2-(пиперидин-1-ил)-5-бензилиден-1,5-дигидро-4*H*-имидазол-4-он (**2**), тиазольное производное (**3**) и производное акриламида (**4**):



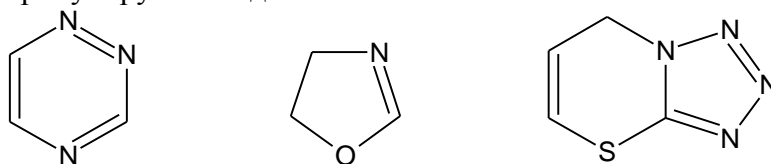
Предложите возможные маршруты протекающих в реакционной смеси реакций.

### 6.3 Перечень типовых задач по номенклатуре гетероциклических соединений, используемых при текущем контроле (АР) и промежуточной аттестации (практические задания к экзамену)

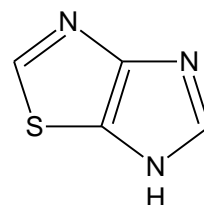
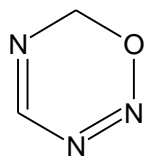
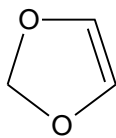
1. Назовите и пронумеруйте соединение:



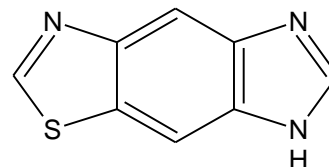
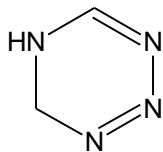
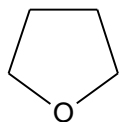
2. Назовите и пронумеруйте соединение:



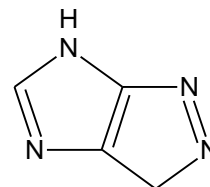
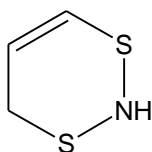
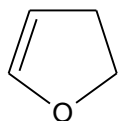
3. Назовите и пронумеруйте соединение:



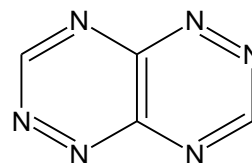
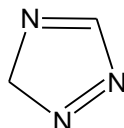
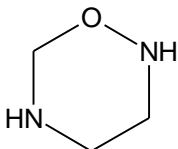
4. Назовите и пронумеруйте соединение:



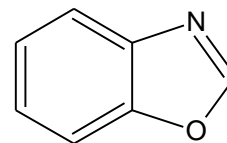
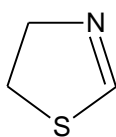
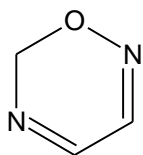
5. Назовите и пронумеруйте соединение:



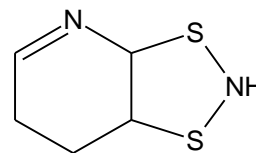
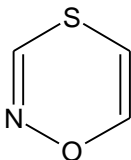
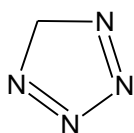
6. Назовите и пронумеруйте соединение:



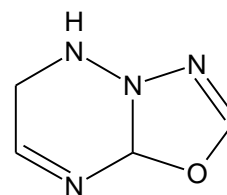
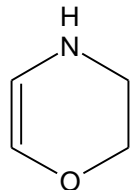
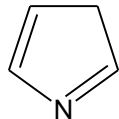
7. Назовите и пронумеруйте соединение:



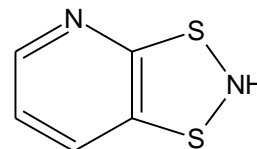
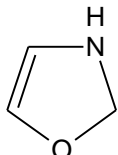
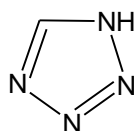
8. Назовите и пронумеруйте соединение:



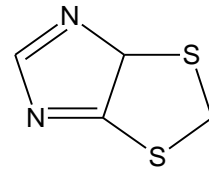
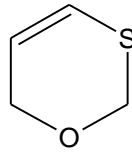
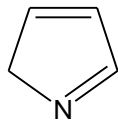
9. Назовите и пронумеруйте соединение:



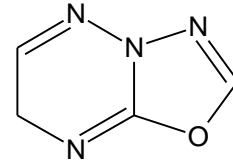
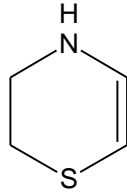
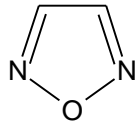
10. Назовите и пронумеруйте соединение:



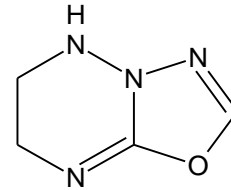
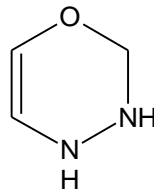
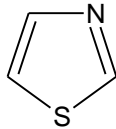
11. Назовите и пронумеруйте соединение:



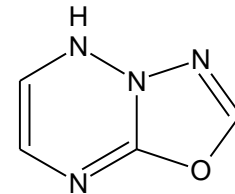
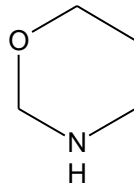
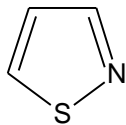
12. Назовите и пронумеруйте соединение:



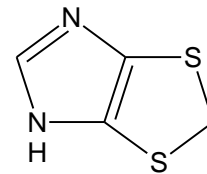
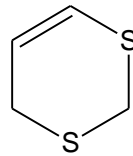
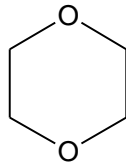
13. Назовите и пронумеруйте соединение:



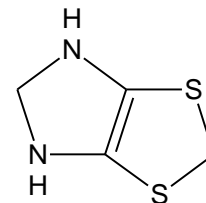
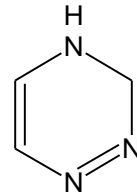
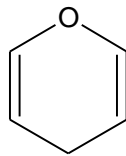
14. Назовите и пронумеруйте соединение:



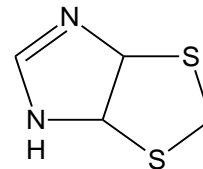
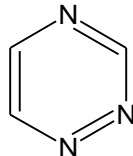
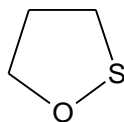
15. Назовите и пронумеруйте соединение:



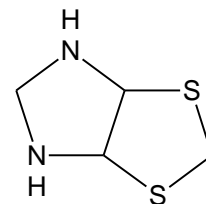
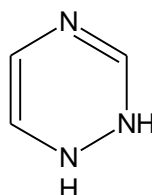
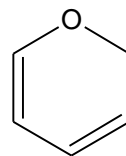
16. Назовите и пронумеруйте соединение:



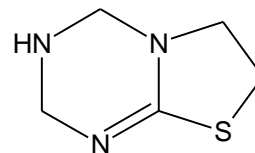
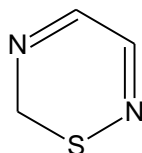
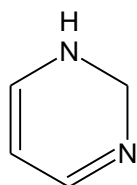
17. Назовите и пронумеруйте соединение:



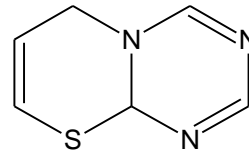
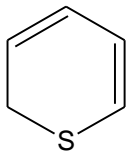
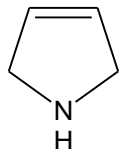
18. Назовите и пронумеруйте соединение:



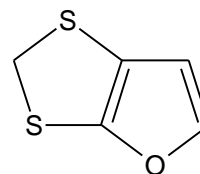
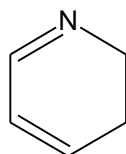
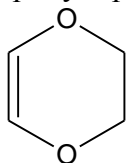
19. Назовите и пронумеруйте соединение:



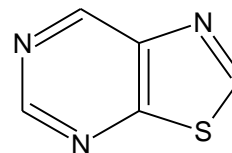
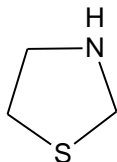
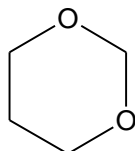
20. Назовите и пронумеруйте соединение:



21. Назовите и пронумеруйте соединение:



22. Назовите и пронумеруйте соединение:



При необходимости используются дополнительные задачи и упражнения из рекомендованных учебников и учебных пособий.

Пример варианта экзаменационного билета:

Экзаменационный билет № 1

1. Основность как основная характеристика гетероциклов, содержащих пиридиновый атом азота. Факторы, влияющие на величину константы основности.

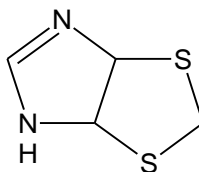
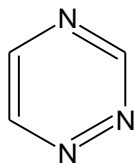
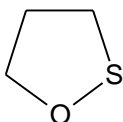
2. Какой из двух атомов азота более основен в молекуле:

бензимидазола;

2-аминопиридина?

Объясните. Представьте схемы (уравнения) протонирования для каждого соединения. Найдите справочные значения констант ионизации.

3. Назовите и пронумеруйте соединения:





## 7 Перечень учебных изданий, необходимых для освоения дисциплины

### а) печатные издания:

1 Быкова, Л. М. Строение и реакционная способность ароматических и гетероароматических соединений. Ч. 1. Строение и реакционная способность гетероароматических соединений : Учебное пособие / Л. М. Быкова, С. М. Рамш, Е. С. Храброва ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2015. – 50 с.

2 Рамш, С. М. Строение и реакционная способность гетероароматических соединений в вопросах и ответах : Учебное пособие / С. М. Рамш, А. В. Зиминов, Е. С. Храброва ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. – 73 с.

3 Рамш, С. М. Руководство по составлению названий гетероциклических соединений с примерами и задачами : Учебное пособие / С. М. Рамш. – Санкт-Петербург : Химиздат, 2009. – 407 с. – ISBN 978-5-93808-173-4.

### б) электронные учебные издания:

1 Быкова, Л. М. Строение и реакционная способность ароматических и гетероароматических соединений. Ч. 1. Строение и реакционная способность гетероароматических соединений : Учебное пособие / Л. М. Быкова, С. М. Рамш, Е. С. Храброва ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений. – Электронные текстовые данные. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2015. – 50 с. // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 23.03.2021). – Режим доступа : для зарегистрированных пользователей.

2 Рамш, С. М. Строение и реакционная способность гетероароматических соединений в вопросах и ответах : Учебное пособие / С. М. Рамш, А. В. Зиминов, Е. С. Храброва ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Санкт-Петербургский государственный технологический институт (технический университет), Кафедра химической технологии органических красителей и фототропных соединений. – Электронные текстовые данные. – Санкт-Петербург : СПбГТИ(ТУ), 2020. – 73 с. – // СПбГТИ. Электронная библиотека. – URL: <https://technolog.bibliotech.ru> (дата обращения: 23.03.2021). – Режим доступа : для зарегистрированных пользователей.

3 Юровская, М. А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М. А. Юровская. – 2-е изд., электронное. – Электронные текстовые данные. – Москва : Лаборатория знаний, 2020. – 211 с. – (Учебник для высшей школы). – ISBN 978-5-00101-832-2 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 23.03.2021). – Режим доступа: по подписке.

4 Берестовицкая, В. М. Химия гетероциклических соединений / В.М. Берестовицкая, Э.С. Липина. – 2-е изд., перераб. – Электронные текстовые данные. – Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2019. – 256 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература). – ISBN 978-5-8114-3631-6 // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com> (дата обращения: 23.03.2021). – Режим доступа: по подписке.

## 8 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины

Учебный план, РПД и учебно-методические материалы:  
<http://media.technolog.edu.ru>.

Электронно-библиотечные системы:

«Электронный читальный зал – БиблиоТех» <https://technolog.bibliotech.ru/>;

«Лань» <https://e.lanbook.com/books/>;

Сайт фундаментальной библиотеки СПбГТИ(ТУ): <http://bibl.lti-gti.ru>.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать следующие универсальные Интернет-ресурсы для химика-технолога.

*Специализированные информационные системы, базы данных, базы знаний, сайты для поиска учебной и научной информации по химии и химической технологии:*

<http://www.acscinf.org/>

<http://www.acscinf.org/content/chemical-information-literacy>

<http://scholar.google.ru/>

<http://scienceresearch.com>

<http://www.nature.com>

[www.chemweb.com](http://www.chemweb.com)

<http://www.iupac.org/>

[http://en.wikibooks.org/wiki/Chemical\\_Information\\_Sources](http://en.wikibooks.org/wiki/Chemical_Information_Sources)

<http://www.chem.vsu.ru/content/links.html> (обширная сводка химических сайтов «Химия в сети Internet»)

<http://www.doaj.org/> (Directory of open access journals)

<http://www.chemport.ru/> (сайт для химиков)

<http://www.liv.ac.uk/Chemistry/Links/links.html> («линки» для химиков, University of Liverpool), не работает в настоящее время

<http://geogr.isu.ru/leos/index.php> (СИС «Химический ускоритель»), не работает в настоящее время

<http://chemexpress.fatal.ru/Navigator.html> («Химический навигатор»), не работает в настоящее время

<http://www.organic-chemistry.org/>

<http://www.chem.sc.edu/faculty/morgan/resources/links.html>

<http://www.chem.ucla.edu/chempointers.html>

[www.abc.chemistry.bsu.by](http://www.abc.chemistry.bsu.by) (портал Белорусского государственного университета – Азбука Web-поиска для химиков. Пособия по поиску патентов, баз данных, статей)

[www.chem.msu.ru](http://www.chem.msu.ru) (химический портал МГУ – базы данных, полезная информация, ссылки и т. д.)

*Справочники, энциклопедии:*

**ULLMANN'S Encyclopedia of Industrial Chemistry**

<http://eu.wiley.com/WileyCDA/Section/id-407379.html>

[http://media.wiley.com/assets/5018/03/Ullmanns2011\\_Contents.pdf](http://media.wiley.com/assets/5018/03/Ullmanns2011_Contents.pdf)

<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/14356007>

**Kirk-Othmer Encyclopedia of Chemical Technology**

<http://eu.wiley.com/WileyCDA/Section/id-302479.html?query=Kirk-Othmer>

**Справочник химика 21. Химия и химическая технология. On-line ресурс**

<http://chem21.info/map/>

**List of academic databases and search engines**

[https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_academic\\_databases\\_and\\_search\\_engines](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_academic_databases_and_search_engines)

### *Базы данных по химии:*

**Базы данных Chemical Abstracts Service**

<http://www.cas.org/expertise/cascontent/> (поиск с помощью поискового инструмента «SciFinder»)

<http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470749418>

<http://www.cas.org/products/scifinder/system-requirements-web>

<http://www.cas.org/training/scifinder>

**Базы данных STN-International**

[http://www.nioch.nsc.ru/sibstn/onlin\\_db.htm](http://www.nioch.nsc.ru/sibstn/onlin_db.htm)

<http://www.nioch.nsc.ru/sibstn/clusters.htm>

<http://www.cas.org/support/stngen/dbss/index.html>

<https://stnweb.cas.org/>

<http://www.stn-international.com/index.php?id=123>

<http://www.stn-international.de/index.php?id=123>

<https://stneasy.cas.org/html/english/login1.html?service=STN>

**Базы данных ELSEVIER/REAXYS (Beilstein&Gmelin)**

<https://www.elsevier.com/solutions/reaxys>

<https://www.reaxys.com/reaxys/session.do>

(поиск с помощью поискового инструмента «Reaxys Chemistry Discovery Engine»)

**Базы данных ScienceDirect (Elsevier)**

<http://www.sciencedirect.com/science>

<http://www.scopus.com/home.url>

<http://www.mendeley.com/features/>

**Базы данных Web of Science (Clarivate Analytics)**

<http://webofscience.com>

**ChemBioFinder.com (PerkinElmer Informatics, Chembridge.com)**

<http://chembiofinder.cambridgesoft.com/chembiofinder/Forms/Home/ContentArea/Home.aspx>

**База данных Royal Society of Chemistry ChemSpider** (бесплатная, the database contains information on more than 40 million molecules from over 500 data sources)

<http://www.chemspider.com/>

**The Cambridge Structural Database**

<http://www.ccdc.cam.ac.uk/solutions/csd-system/components/csd/>

**Базы данных MEDLINE (PubChem databases)**

[http://wwwcf2.nlm.nih.gov/nlm\\_eresources/eresources/search\\_database.cfm](http://wwwcf2.nlm.nih.gov/nlm_eresources/eresources/search_database.cfm)

<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/help.html>  
<http://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search/search.cgi>  
<http://www.hubmed.org/>  
<http://www.nioch.nsc.ru/sibstn/databases/medline.htm>  
<http://www.disser.ru/library/31/188.htm>  
<http://voliadis.ru/pubmed-tips>

**Базы спектральных данных органических соединений**

<http://sdbs.db.aist.go.jp/sdbs/cgi-bin/ENTRANCE.cgi>

**Базы данных ВИНТИ**

<http://www2.viniti.ru/>

**Термические константы веществ**

<http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcome.html>

**The Merck Index Online<sup>SM</sup>**

<http://library.dialog.com/bluesheets/html/bl0304.html>

[http://www.dmoz.org/Science/Chemistry/Chemical\\_Databases/](http://www.dmoz.org/Science/Chemistry/Chemical_Databases/)

<http://www.emolecules.com/> (Find [Suppliers and Information](#) for over 8 Million Unique Chemicals!)

<http://cds.dl.ac.uk/> (the Chemical Database Service)

<http://library.dialog.com/bluesheets/html/bls0016.html#SB0016> (Databases by Subject Category: Science-Chemistry)

<http://www.crc.t.polymtl.ca/FACT/index.php> (Facility for the Analysis of Chemical Thermodynamics)

[http://www.google.ru/Top/Science/Chemistry/Chemical\\_Databases/](http://www.google.ru/Top/Science/Chemistry/Chemical_Databases/)

<http://chem-v.narod.ru/data.htm> (сводка баз данных)

***Патентные базы:***

<http://www.abc.chemistry.bsu.by/patent/default.htm> (патентные базы данных, руководство к практикуму)

**European Patent Office. Espacenet – Patent search**

<http://www.epo.org/searching/free/espacenet.html>

[http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en\\_EP](http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en_EP)

<https://worldwide.espacenet.com/> (Европейское патентное ведомство)

[https://ru.espacenet.com/?locale=ru\\_RU](https://ru.espacenet.com/?locale=ru_RU) (Европейское патентное ведомство, русскоязычный сайт)

**The US Patent and Trademark Office**

<http://www.uspto.gov/>

<http://www.google.com/googlebooks/uspto.html>

<http://www.google.com/googlebooks/uspto-patents-pair.html>

<http://www.us-patent-search.com/>

<http://www.patentstorm.us/> (патенты США, аннотации)

[www.freepatentsonline.com](http://www.freepatentsonline.com) (бесплатные патенты США, доступ к полнотекстовым файлам)

### **Google Patents**

<http://www.google.com/patents>

### **ФГУ ФИПС**

[www.fips.ru](http://www.fips.ru) (Роспатент)

<https://patents.su/> (база авторских свидетельств СССР)

<https://yandex.ru/patents> (сервис поиска патентов компании «Яндекс», созданный при содействии Федеральной службы по интеллектуальной собственности (Роспатента))

### *Химические библиотеки:*

#### **Библиотека химического факультета МГУ**

<http://www.chem.msu.ru/rus/library/welcome.html>

#### **Электронная библиотека учебных материалов по химии МГУ**

<http://www.chem.msu.ru/rus/elibrary/welcome.html>

#### **Зарубежные журналы через Интернет МГУ**

<http://www.chem.msu.ru/rus/library/licenced.html>

#### **Научная библиотека им. М. Горького СПбГУ, электронные ресурсы по химии**

<http://cufts.library.spbu.ru/CRDB/SPBGU/browse/facets/subject/5>

#### **Информационно-библиотечный центр им. С.И. Сулименко РХТУ им. Д.И. Менделеева, электронные информационные ресурсы**

<http://lib.muotr.ru/page/117>

#### **Научная электронная библиотека**

<http://elibrary.ru/defaultx.asp>

#### **Поиск электронных книг**

<http://www.poiskknig.ru/>

#### **Научная литература в Интернете**

<http://www.scintific.narod.ru/literature.htm>

#### *Электронная библиотека по химии и технике*

<http://rushim.ru/books/books.htm>

#### **Книги по химии и химической технологии**

<http://www.chemport.ru/index.php?cid=29>

#### **НИЦ СПбГТУРП. Химия и химическая технология. Более 1000 наименований учебников и монографий**

<http://www.nizrp.narod.ru/chem.htm>

### *Библиотеки общего профиля:*

**Российская государственная библиотека**

<http://www.rsl.ru>

**Российская национальная библиотека**

<http://www.nlr.ru>

**Государственная публичная научно-техническая библиотека России**

<http://www.gpntb.ru>

**Библиотека по естественным наукам РАН**

<http://www.benran.ru/>

**Библиотека РАН (БАН)**

<http://www.rasl.ru/>

**Фундаментальная библиотека СПбГТИ (ТУ)**

<http://bibl.lti-gti.ru/>

**Библиотека Конгресса США**

<http://www.loc.gov/index.html>

**Британская библиотека**

<http://portico.bl.uk>

**Электронная библиотека диссертаций РГБ**

<http://www.diss.rsl.ru>

*Издательства научно-технической литературы:*

**Elsevier**

[http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws\\_home](http://www.elsevier.com/wps/find/homepage.cws_home)

<http://health.elsevier.ru/>

<http://elsevierscience.ru/>

**Wiley-VCH**

<http://www.chemistryviews.org/view/0/index.html>

<http://onlinelibrary.wiley.com/?CRETRY=1&SRETRY=0>

**Springer**

<http://www.link.springer.com/>

*Хемоинформатика (статья в Википедии):*

<https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A5%D0%B5%D0%BC%D0%BE%D0%B8%D0%BD%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0>

*Разработчики программных продуктов по химии, молекулярная графика  
(Chem-Soft):*

**Advanced Chemistry Development Inc. (ACD/Labs)**

<http://www.acdlabs.com/home/>

**CambridgeSoft Corporation**  
<http://www.cambridgesoft.com/>

**Dassault Systèmes/BIOVIA/Accelrys/Symyx/MDL**  
<http://accelrys.com/>

**ChemAxon**  
<https://www.chemaxon.com/products/marvin/marvinsketch>  
<https://www.chemaxon.com/products/marvin/marvinsketch>

**World Index of Molecular Visualization Resources**  
[www.molvisindex.org](http://www.molvisindex.org)  
<http://molvis.sdsc.edu/visres/index.html>

**Mercury – Crystal Structure Visualisation**  
[http://www.ccdc.cam.ac.uk/products/csd\\_system/mercury\\_csd/](http://www.ccdc.cam.ac.uk/products/csd_system/mercury_csd/)

<http://jmol.sourceforge.net/> (Molecular graphic: Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D)

<http://openrasmol.org/> (Home Page for RasMol and OpenRasMol Molecular Graphics Visualisation Tool)

<http://edchemistry.tripod.com/graphics.htm> (visualization and animations in chemistry)

***Вычислительная химия:***

**Hypercube, Inc.**  
<http://www.hyper.com/>

***Разработчики программных продуктов по химической технологии  
(Chem-Engineering):***

**Process Systems Enterprise**  
<http://www.psenterprise.com/>

**Invensys SimSci-Esscor**  
<http://iom.invensys.com/EN/Pages/SimSci-Esscor.aspx>

**Aspentech**  
<http://www.aspentech.com/Company/About-AspenTech/>  
[http://www.aspentech.com/corporate/press/media\\_kit.aspx](http://www.aspentech.com/corporate/press/media_kit.aspx)

**Aspentech HYSYS**  
<http://www.aspentech.com/core/asp-hysys.aspx>

***Математические вычисления и инженерная графика:***

**PTC Mathcad**  
<http://www.ptc.com/product/mathcad/>

**Autodesk (Autocad)**

<http://www.autodesk.com/products/autodesk-autocad/overview>

**АСКОН (КОМПАС)**

<http://edu.ascon.ru/download/>

<http://kompas.ru/>

*Химические общества, организации, союзы:*

**Am. Chem. Soc.**

<http://www.acs.org/content/acs/en.html>

**RSC**

<http://www.rsc.org/>

**РХО им. Д.И. Менделеева**

<http://www.chemsoc.ru/>

<http://www.chemsoc.ru/regions/Spb/index.php>

**IUPAC**

<http://old.iupac.org/index.html>

[http://goldbook.iupac.org/structure\\_search.html](http://goldbook.iupac.org/structure_search.html)

*Производители химической и фармацевтической продукции:*

<http://www.chemicalinfo.ru/>

<http://rccnews.ru/Rus/About/>

*Стандарты:*

**Росстандарт**

<http://www.gost.ru/wps/portal/pages.Main>

<http://www.technormativ.ru/>

**Роспромтест**

<http://www.rospromtest.ru/>

**Центр по экономическим классификациям**

<http://www.okpd.org/index.htm>

**NIST**

<http://nist.gov/>

<http://webbook.nist.gov/>

<http://webbook.nist.gov/chemistry/>

*Электронно-библиотечные системы (электронные ресурсы), предлагаемые библиотекой СПбГТИ (ТУ):*

<http://bibl.lti-gti.ru/main.html>



## 9 Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Все виды занятий по дисциплине «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» проводятся в соответствии с требованиями следующих СТО:

СТП СПбГТИ 040-02. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Лекция. Общие требования;

СТО СПбГТИ 018-2014. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Семинары и практические занятия. Общие требования к организации и проведению.

СТП СПбГТИ 048-2009. КС УКДВ. Виды учебных занятий. Самостоятельная планируемая работа студентов. Общие требования к организации и проведению.

СТО СПбГТИ (ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.

Планирование времени, необходимого на изучение данной дисциплины, лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала.

Основными условиями правильной организации учебного процесса для студентов является:

- плановость в организации учебной работы;
- серьезное отношение к изучению материала;
- постоянный самоконтроль.

На занятия студент должен приходить, имея знания по уже изученному материалу.

Рабочей программой дисциплины «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» предусмотрена самостоятельная работа студентов в объеме 75 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления и расширения знаний по дисциплине и предусматривает:

чтение студентами рекомендованной учебной литературы, в том числе для усвоения теоретического материала дисциплины, вынесенного на самостоятельное изучение;

- подготовку к лекциям и практическим занятиям;
- подготовку письменной аналитической работы;
- подготовку к контрольной работе;
- написание реферата;
- работу с рекомендованными Интернет-источниками научно-технической информации;

интерактивное обучение с использованием рекомендованных электронных учебных пособий, доступных программно-обучающих модулей и телекоммуникационных технологий *on line* доступа к соответствующим программным продуктам и обучающим системам, в том числе с помощью компьютерных симуляций.

Планирование времени на самостоятельную работу лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях или полученный в виде раздаточных материалов, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в списке рекомендованной учебной литературы. По каждому из вопросов для самостоятельного изучения следует сначала прочитать рекомендованную литературу, а затем составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания, являющихся основополагающими в этом вопросе и необходимых для усвоения последующих разделов дисциплины. В случае возникновения трудностей при самостоятельном усвоении материала рекомендуется составить перечень непонятных вопросов и обратиться за консультацией к преподавателю.

## **10 Перечень информационных технологий и программного обеспечения, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине**

### **10.1 Информационные технологии**

В учебном процессе по данной дисциплине предусмотрено использование следующих информационных технологий и возможностей компьютерного класса кафедры:

- чтение лекций с использованием слайд-презентаций;
- поиск учебной и научной информации по дисциплине на специализированных ресурсах (сайтах) сети Интернет с помощью технологий удаленного доступа (сетевых технологий) и специализированных поисковых систем (инструментов) (см. раздел 8);
- взаимодействие с обучающимися на Медиа-портале, посредством ЭИОС, электронной почты, мессенджеров и других сетевых технологий.

### **10.2 Программное обеспечение**

#### 10.2.1 Специальное программное обеспечение:

1. Специальные программные средства и технологии (программные продукты) важнейших информационно-поисковых систем по химии и химической технологии, доступные в режиме *online* на соответствующих сайтах, указанных в разделе 8: поисковый инструмент БД CAS «SciFinder», поисковый инструмент БД ELSEVIER/REAXYS», поисковые инструменты БД Science Direct, Scopus, Web of Science, STN International, ВИНИТИ, Роспатента, The US Patent and Trademark Office, European Patent Office, MEDLINE (PubChem), Cambridge Structural Database.
2. Программа представление структурных данных «Mercury» (бесплатная версия с сайта CCDC (см. раздел 8).
3. ИПС «Web ИРБИС» для поиска библиографической информации на сайте ФБ СПбГТИ (ТУ).
4. Электронно-библиотечные системы (электронные ресурсы), предлагаемые на сайте ФБ СПбГТИ (ТУ).

#### 10.2.2 Универсальное программное обеспечение:

1. Стандартные программные продукты «Microsoft Office».
2. Компьютерная молекулярная графика: бесплатно распространяемые (no fee, free, trial versions) на соответствующих сайтах (см. раздел 8) пакеты программ «ACD/Labs» («ACD/ChemSketch»), «MDL/ISIS» / «Symyx» / «Accelrys» / «BIOVIA» / Dassault Systèmes («ISIS Draw» и более поздние версии этого продукта – «Symyx Draw», «Accelrys Draw», «BIOVIA Draw»), «ChemOffice» («ChemDraw») и т. п. – от разработчиков программных продуктов по химии.

### **10.3. Базы данных и информационные справочные системы.**

См. раздел 8.

Справочно-поисковая система «Консультант-Плюс».

## 11 Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Для проведения занятий по дисциплине «Основы химической информатики» имеется необходимая материально-техническая база: лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором; специализированный компьютерный класс, с подключенными периферийными устройствами и оборудованием для выхода в локальную сеть СПбГТИ (ТУ) и Интернет; компьютерное (*hardware*) и программное (*software*) обеспечение для выполнения практических работ, а также для самостоятельной работы по дисциплине; Фундаментальная библиотека с читальными залами, оснащенными компьютерами, подключенными к локальной сети СПбГТИ (ТУ). с возможностью выхода в Интернет.

### Перечень учебных помещений и их оборудования

Адрес	Наименование оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий	Оснащенность оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра ХТОКиФС, аудитория (помещение №6)	Специализированная мебель (56 посадочных мест), доска меловая/маркерная, мультимедийный проектор с экраном, ноутбук
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра ХТОКиФС, компьютерный класс (помещение №5)	Специализированная мебель (компьютерные столы, 15 рабочих мест), персональные компьютеры, 15 шт., с кабельным подключением к сети Интернет
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра ХТОКиФС, учебная лаборатория (помещение № 29)	Специализированная мебель (лабораторные столы, вытяжные шкафы, 14 рабочих мест), насосы вакуумные мембранные, насосы вакуумные водоструйные, дистиллятор, шкафы сушильные (вакуумные), электронные весы, мешалки магнитные, устройства перемешивающие электромеханические, лабораторная химическая посуда, термометры, установка для перегонки с водяным паром, электрообогревающие устройства, оборудование для тонкослойной хроматографии, хроматоскоп, рН-метр
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра ХТОКиФС, лаборатория спектральных методов исследований (помещения №№3, 4)	УФ-Вид спектрофотометры, ИК спектрофотометр
190013, г. Санкт-Петербург, Московский	Кафедра ХТОКиФС, помещение для самостоятельной работы	Специализированная мебель (12 посадочных мест), доска меловая,

Адрес	Наименование оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий	Оснащенность оборудованных учебных кабинетов/объектов для проведения практических занятий
проспект, д. 24-26/49, лит. Б	студентов (помещение №1)	демонстрационный экран
190013, г. Санкт-Петербург, Московский проспект, д. 24-26/49, лит. Б	Кафедра ХТОКиФС, помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования (помещение №20)	Специализированная мебель, оборудование для профилактического обслуживания учебного оборудования

#### Перечень компьютерной техники и сетевого оборудования

Наименование и марка оборудования	Назначение и краткая характеристика оборудования	Год ввода в эксплуатацию
Проектор Acer X113PH_800×600	Презентация иллюстративных материалов	2016
Компьютерный класс кафедры, компьютеры PC, 15 шт.	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2017
Ноутбук MSI GP72 6QF-273RU Ci7-6700HQ 2.6/17.3"FHD/GTX960/W10/8G/1000/DVDRW/WF/BT/Cam_Blac	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2016
Ноутбук Asus X756UV Ci3-6100U 2.3/17.3"/GT920MX/W10/4G/1000/DVDRW/WF/BT/Cam_brown_	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2016
Ноутбук Asus X756UV Ci3-6100U 2.3/17.3"/GT920MX/W10/4G/1000/DVDRW/WF/BT/Cam_brown_	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2016
Ноутбук Asus X751MA PQC N3530	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2014
Ноутбук Asus X751MA PQC N3530	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2014

Наименование и марка оборудования	Назначение и краткая характеристика оборудования	Год ввода в эксплуатацию
Компьютер KEY HM Pro H-505- 4G1000_Ci5-4570	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2014
Компьютер KEY HM Pro H-505- 4G1000_Ci5-4570	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2014
Общеинститутские серверы	Кабельное сетевое соединение. Широкополосное проводное подключение к локальной сети, выход в Интернет. Кабельная технология Ethernet, скорость 100 Мбит в сек.	
Общеинститутские серверы	Беспроводное сетевое соединение. Беспроводное подключение к локальной сети, выход в Интернет. Беспроводная технология WiFi, скорость 50 Мбит в сек.	

## **12. Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья.**

Для инвалидов и лиц с ограниченными возможностями учебные процесс осуществляется в соответствии с «Положением об организации учебного процесса для обучения инвалидов и лиц с ограниченными возможностями здоровья СПбГТИ (ТУ)», утвержденным ректором 28.08.2014.

**Фонд оценочных средств  
для проведения промежуточной аттестации по дисциплине  
«Строение и реакционная способность гетероароматических соединений»**

**1. Перечень компетенций и этапов их формирования**

<b>Компетенции</b>		
<b>Индекс</b>	<b>Формулировка</b>	<b>Этап формирования</b>
ПК-2	Способность использовать методики создания органических веществ и материалов	промежуточный

**Жирным шрифтом** выделяется та часть компетенции, которая формируется в ходе изучения данной дисциплины (если компетенция осваивается полностью, то фрагменты не выделяются).

Этап формирования компетенции выбирается по п. 2 РПД и учебному плану (начальный – если нет предшествующих дисциплин, итоговый – если нет последующих дисциплин (или компетенция не формируется в ходе практики или ГИА), промежуточный – все другие).

## 2. Показатели и критерии оценивания компетенций на различных этапах их формирования, шкала оценивания

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
ПК-2.1. Использование знаний о свойствах ароматических и гетероароматических соединений для выбора оптимального метода их получения	<p>знает молекулярное строение и физико-химические свойства основных классов гетероароматических соединений (ЗН-1);</p> <p>знает методы получения основных классов гетероароматических соединений (ЗН-2);</p> <p>знает химические свойства основных классов гетероароматических соединений (ЗН-3);</p> <p>знает основные методы получения «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – функционализированных производных гетероароматических соединений (ЗН-4);</p> <p>знает механизмы основных типов реакций, протекающих с участием гетероароматических соединений «простого» и</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №2-7 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №23-34 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №8-22 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №23-34 к экзамену</p> <p>Правильные</p>	<p>Знание не полное, допускает частые ошибки в ответах на вопросы, но в основном справляется с ответами с помощью наводящих вопросов</p>	<p>Знание полное, допускает отдельные ошибки в ответах на вопросы, но полностью справляется с ответами с помощью наводящих вопросов</p>	<p>Знание полное, безошибочно отвечает на вопросы</p>

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	«сложного» строения (ЗН-5);  знает качественные соотношения между строением и реакционной способностью «исходных» соединений, «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – соединений гетероароматического ряда (ЗН-6).	ответы на вопросы №8, 9-12-22 к экзамену  Правильные ответы на вопросы №3-22 к экзамену			
	умеет применять полученные знания для установления строения, изучения физико-химических и химических свойств вновь синтезированных в ходе выполнения лабораторных, курсовых работ и ВКР гетероароматических соединений «простого» и «сложного» строения (У-1);  умеет применять полученные знания для целенаправленного синтеза как новых, так и уже известных гетероароматических	Правильные ответы на вопросы №1, 6, 7 к экзамену  Правильные ответы на вопросы №1, 2, 23-34 к экзамену	Реализует умение не в полной мере, допускает ошибки в применении знаний и навыков при реализации умения, но в основном справляется с поставленной задачей с подсказками преподавателя	Реализует умение в полной мере, допускает отдельные ошибки в применении знаний и навыков при реализации умения, но полностью справляется с поставленной задачей с небольшими подсказками преподавателя	Реализует умение безошибочно, в полной мере



Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<p>соединений заданного строения (У-2);</p> <p>умеет прогнозировать физико-химические, химические и специальные свойства, а также реакционную способность вновь синтезированных гетероароматических соединений (У-3);</p> <p>умеет работать с учебной, научной и справочной литературой по химии гетероароматических соединений в процессе выполнения курсовых работ по специальности, ВКР, а также в ходе дальнейшей профессиональной деятельности (У-4).</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №3-22 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №1, 2 к экзамену</p>			

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Показатели сформированности (дескрипторы)	Критерий оценивания	Уровни сформированности (описание выраженности дескрипторов)		
			«удовлетворительно» (пороговый)	«хорошо» (средний)	«отлично» (высокий)
	<p>владеет навыками изучения строения, физико-химических и химических свойств вновь синтезированных гетероароматических соединений (Н-1);</p> <p>владеет навыками лабораторного синтеза основных классов гетероароматических соединений (Н-2);</p> <p>владеет навыками работы с научно-технической информацией по химии и технологии гетероароматических соединений (Н-3).</p>	<p>Правильные ответы на вопросы №3-22 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №23-34 к экзамену</p> <p>Правильные ответы на вопросы №1, 2 к экзамену</p>	<p>Владеет навыками не в полной мере, допускает ошибки в их использовании, но в основном справляется с поставленной задачей с подсказками преподавателя</p>	<p>Владеет навыками в полной мере, допускает отдельные ошибки в их использовании, но полностью справляется с поставленной задачей с небольшими подсказками преподавателя</p>	<p>Владеет навыками в полной мере</p>

### 3. Типовые контрольные задания для проведения промежуточной аттестации

Вопросы для оценки знаний, умений и навыков, сформированных у студента по компетенции ПК-2:

1. Значение и области применения гетероароматических соединений.
2. Тривиальные названия гетероциклических соединений. Система Ганча-Видмана для гетеромоноциклов. Номенклатурные правила IUPAC. Номенклатура конденсированные гетероароматических соединений.
3. Критерии определения ароматичности: структурные, магнитные, энергетические, химические. Квантово-химический подход к описанию строения и свойств гетероароматических соединений. Строение 5- и 6-членных гетероароматических систем с одним, двумя и более гетероатомами. Влияние бензоаннелирования на распределение электронной плотности в гетероароматических соединениях.
4. Основные принципы классификации гетероароматических соединений на  $\pi$ -избыточные,  $\pi$ -дефицитные и  $\pi$ -амфотерные. Критерии оценки  $\pi$ -избыточности и  $\pi$ -дефицитности. Понятие об общей и локальной  $\pi$ -избыточности и  $\pi$ -дефицитности.
5. Критерии оценки электронодонорных и электроноакцепторных свойств гетероциклов. Молекулярные комплексы гетероароматических соединений с  $\pi$ -донорами и  $\pi$ -акцепторами, автокомплексы. Катион-радикалы, нейтральные  $\pi$ -радикалы гетероароматических соединений.
6. Гетероатом как специфических заместитель. Сравнение электроноакцепторных свойств пиридинового атома азота и нитрогруппы. Индукционные и мезомерные эффекты гетероатомов пиррольного типа. Оценка влияния гетероатомов в конденсированных системах. Передача эффектов заместителей в гетероароматических системах. Проводимость электронных эффектов через гетероатомы пиридинового и пиррольного типа. Сравнение проводимости электронных эффектов через азиновые и бензольные кольца. Гетарильные группы как заместители,  $\sigma$ -константы гетарильных групп.
7. Основность гетероциклов с атомами азота пиридинового типа и факторы, влияющие на нее.
8. Кватернизация азаароматических систем. Алкилирующие агенты, механизм реакции, влияние растворителя, электронные эффекты заместителей, стерические факторы. Относительная реакционная оспособнность азинов и азолов. Алкилирование amino-, гидроксо-, меркапто- и алкилпроизводных азинов и азолов. Кинетический и термодинамический контроль реакций.
9. N-Арилирование, N-ацилирование азаароматических систем. Окисление азаароматических систем до N -оксидов. Взаимодействие с катионами нитрония и нитрозония. N-Аминирование и цианирование. Образование комплексных соединений с металлами.
10. Основность, NH-кислотность гетероциклов с атомом азота пиррольного типа. Влияние бензоаннелирования на кислотно-основные свойства гетероцикла. Зависимость NH-кислотности от числа гетероатомов в азолах.
11. Прототропная таутомерия азолов. N-Алкилирование азолов в нейтральной и щелочной среде, механизмы реакций. Амбидентность анионов NH-гетероциклов. Факторы, определяющие соотношение продуктов алкилирования.
12. N-Арилирование и N-ацилирование азолов. Факторы, способствующие N-ацилированию. Взаимодействие NH-гетероциклов с непредельными соединениями.
13. Деметилирование четвертичных солей гетероциклов. Механизм перегруппировки Ладенбурга. Использование N-замещенных гетероциклов в качестве высокоселективных реагентов в реакциях нитрования, сульфирования, галогенирования, ацилирования, бензоилирования и др. Роль этих реакций в биохимических процессах.

14. Реакционная способность гетероциклов по отношению к электрофилам, ее зависимость от типа реагирующей частицы. Механизмы реакций электрофильного замещения: «классический», катион-радикальный, карбанионный (илидный), замещение через продукт присоединения.

15. Реакции электрофильного замещения в  $\pi$ -электронодефицитных циклах. Сравнительная активность  $\alpha$ - и  $\beta$ -положений в 5-членных гетероароматических системах с одним гетероатомом. Влияние термодинамических и стерических факторов.

16. Реакции электрофильного замещения в азолах. Зависимость реакционной способности азолов от природы гетероатома, числа гетероатомов и их взаимного положения в цикле.

17. Влияние бензоаннелирования на электрофильное замещение в  $\pi$ -избыточных и  $\pi$ -дефицитных гетероциклических системах.

18. Факторы, определяющие реакционную способность гетероциклов по отношению к нуклеофилам: тип реагирующей частицы, бензоаннелирование, ароматичность, термодинамические, электростатические, орбитальные, энергетические факторы.

19. Особенности реакций нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях. Механизмы реакций: «классический», кин- и теле-замещение, ариновый, радикально-нуклеофильный, ANRORC.

20. Влияние замещаемой группы на условия реакций нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях. Замещение гидрид-иона, галогена, сульфо-, нитро- и углеводородных групп. Реакция Чичибабина.

21. Взаимодействие гетероциклов с металлорганическими соединениями. Димеризация гетероциклов под действием нуклеофилов.

22. Реакционная способность гетероароматических катионов. Взаимодействие со щелочами, образование илидов, ангидрооснований, псевдооснований; диспропорционирование и окисление псевдооснований. Взаимодействие с аминами, гидразинами, цианидами, гидроксо-соединениями,  $\pi$ -электрононасыщенными циклическими системами. Гетарилирование. Рециклизация гетероароматических катионов под действием нуклеофилов: с сохранением гетерокольца, с заменой одного гетероатома на другой, с заменой гетероатома на атом углерода, с расширением или сужением цикла. Реакции гетероароматических катионов с отщеплением N-заместителей.

23. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.

24. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.

25. Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.

26. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом.

27. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя гетероатомами.

28. Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с тремя и более гетероатомами.

29. Методы получения бензоаннелированных 5-членных ароматических гетероциклов.

30. Методы получения бензоаннелированных 6-членных ароматических гетероциклов.

31. Методы получения бензоаннелированных 7-членных и большего размера ароматических гетероциклов.

32. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя гетероядрами.

33. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с тремя гетероядрами.

34. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с более чем тремя гетероядрами.

#### **4. Методические материалы для определения процедур оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме реферата и экзамена. Экзамен по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ (ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов. Шкала оценивания ответа на экзамене балльная («отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно») и соответствует СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. Шкала оценивания реферата также балльная.