

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Пекаревский Борис Владимирович  
Должность: Проректор по учебной и методической работе  
Дата подписания: 12.09.2021 20:41:03  
Уникальный программный ключ:  
3b89716a1076b80b2c167df0f27c09d01782ba84

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

Направление подготовки  
**18.03.01 Химическая технология**

Направленность программы бакалавриата  
**Химическая технология органических веществ**

Профессиональный модуль  
**Химическая технология тонкого органического синтеза**

## 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 «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ № \_\_

Заведующий кафедрой

С.М. Рамш

Одобрено учебно-методической комиссией факультета химической и биотехнологии  
протокол от «\_\_» \_\_\_\_\_ 201\_ № \_\_

Председатель

М.В. Рутто

## СОГЛАСОВАНО

Руководитель направления		Профессор В.И. Крутиков
Директор библиотеки		Т.Н. Старостенко
Начальник методического отдела учебно-методического управления		Т.И. Богданова
Начальник УМУ		С.Н. Денисенко

## СОДЕРЖАНИЕ

1	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы .....	04
2	Место дисциплины в структуре образовательной программы.....	05
3	Объем дисциплины .....	06
4	Содержание дисциплины.....	07
4.1	Разделы дисциплины и виды занятий.....	07
4.2	Занятия лекционного типа.....	08
4.3	Занятия семинарского типа.....	13
4.3.1	Семинары, практические занятия .....	13
4.4	Самостоятельная работа обучающихся.....	14
4.4.1	Вопросы для самостоятельного изучения.....	14
4.4.2	Темы контрольной работы.....	14
5	Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине .....	15
6	Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации.....	15
6.1	Контрольные вопросы по дисциплине, используемые при текущем контроле успеваемости (контрольная работа) и промежуточной аттестации (теоретические вопросы к зачету).....	16
6.2	Перечень типовых задач по строению и реакционной способности гетероароматических соединений, используемых при текущем контроле успеваемости (контрольная работа) и промежуточной аттестации (зачет)...	18
6.3	Перечень типовых задач по номенклатуре гетероциклических соединений, используемых при промежуточной аттестации (зачет).....	20
7	Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины.....	23
8	Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины .....	24
9	Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.....	31
10	Перечень информационных технологий и программного обеспечения, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине.....	32
10.1	Информационные технологии.....	32
10.2	Программное обеспечение.....	32
10.2.1	Специальное программное обеспечение.....	32
10.2.2	Универсальное программное обеспечение.....	33
11	Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине.....	33
12	Особенности освоения дисциплины инвалидами и лицами с ограниченными возможностями здоровья .....	34
<i>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации по дисциплине «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений».....</i>		<i>35</i>

**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:

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
<b>ОПК-3</b>	готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире	<p><b>Знать:</b>  молекулярное строение и физико-химические свойства основных классов гетероароматических соединений;  методы получения основных классов гетероароматических соединений;  химические свойства основных классов гетероароматических соединений.</p> <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.</p> <p><b>Владеть:</b>  навыками изучения строения, физико-химических и химических свойств вновь синтезированных гетероароматических соединений.</p>
<b>ПК-18</b>	готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	<p><b>Знать:</b>  основные методы получения «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – функционализированных производных гетероароматических соединений;  механизмы основных типов реакций, протекающих с участием гетероароматических соединений «простого» и «сложного»</p>

<i>Коды компетенции</i>	Результаты освоения ООП (содержание компетенций)	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
		<p>строения;  качественные соотношения между строением и реакционной способностью «исходных» соединений, «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – соединений гетероароматического ряда.</p> <p><b>Уметь:</b>  применять полученные знания для целенаправленного синтеза как новых, так и уже известных гетероароматических соединений заданного строения;  прогнозировать физико-химические, химические и специальные свойства, а также реакционную способность вновь синтезированных гетероароматических соединений;  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.</p> <p><b>Владеть:</b>  навыками лабораторного синтеза основных классов гетероароматических соединений;  навыками работы с научно-технической информацией по химии и технологии гетероароматических соединений.</p>

## 2 Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01.03 «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» принадлежит к числу дисциплин по выбору(ДВ) вариативной части (В) блока Б1 ООП по направлению подготовки 18.03.01 «Химическая технология», направленность подготовки «Химическая технология органических веществ». Изучается на 6 семестре Шкурса.

В методическом аспекте дисциплина базируется на следующих дисциплинах учебного плана:

Б1.Б.05 «Математика»,

Б1.Б.07 «Физика»,  
 Б1.Б.08 «Общая и неорганическая химия»,  
 Б1.В.02 «Органическая химия»,  
 Б1.Б.09.02 «Физико-химические методы анализа»,  
 Б1.В.01 «Физическая химия»,  
 Б1.В.ДВ.01.01.04 «Теория химико-технологических процессов тонкого органического синтеза».

Дисциплина Б1.В.ДВ.01.01.03 «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.ДВ.01.01.01 «Химия и технология органических красителей», Б1.В.ДВ.01.01.02 «Введение в фотохимию», Б1.В.ДВ.01.01.08 «Применение продуктов 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, ВКР, 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</b> (зачетных единиц/ академических часов)	4/144
<b>Контактная работа с преподавателем:</b>	<b>48</b>
занятия лекционного типа	32
занятия семинарского типа, в том числе	16
семинары, практические занятия	16
лабораторные работы	-
курсовое проектирование (КР или КП)	-
КСР	-
другие виды контактной работы	-
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>60</b>
<b>Форма текущего контроля</b> (Кр, реферат, РГР, эссе)	<b>1Кр</b>
<b>Форма промежуточной аттестации</b> (КР, КП, зачет, экзамен)	Экзамен (36)

#### 4Содержание дисциплины

##### 4.1 Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Занятия лекционного типа, акад. часы	Занятия семинарского типа, академ. часы		Самостоятельная работа, акад. часы	Формируемые компетенции
			Семинары и/или практические занятия	Лабораторные работы		
1	Значение и области применения гетероароматических соединений	2	–		–	ОПК-3 ПК-18
2	Номенклатура гетероароматических соединений	4	2		10	ОПК-3 ПК-18
3	Строение гетероароматических соединений	4	2		–	ОПК-3 ПК-18
4	Методы получения гетероароматических соединений	8	4		50	ОПК-3 ПК-18
5	Реакционная способность гетероароматических соединений	12	6		–	ОПК-3 ПК-18
6	Количественная оценка физико-химических свойств и реакционной способности гетероароматических соединений	2	2		–	ОПК-3 ПК-18
	<b>Итого</b>	<b>32</b>	<b>16</b>		<b>60</b>	

#### 4.2. Занятия лекционного типа

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, академические часы	Инновационная форма
1	<b>1. Значение и области применения гетероароматических соединений</b>	2	
2	<b>2. Номенклатура гетероароматических соединений</b> Тривиальные названия гетероциклических соединений. Система Ганча-Видмана. Номенклатурные правила IUPAC. Номенклатура конденсированные гетероароматических соединений.	4	
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	



№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. ча сы	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	
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	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. ча сы	Инновационная форма
	<p>Алкилирование азолов в нейтральной и щелочной среде, механизмы реакций. Амбидентность анионов NH-гетероциклов. Факторы, определяющие соотношение продуктов алкилирования.</p> <p>N-Ацилирование 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,</p>		

№ раздела дисци- плины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. ча- сы	Инновационная форма
	<p>орбитальные, энергетические факторы. 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, π-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</p>	2	

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. ча сы	Инновационная форма
	группы как заместители, $\sigma$ -константы гетарильных групп.		

### 4.3 Занятия семинарского типа

#### 4.3.1 Семинары, практические занятия

№ раздела дисциплины	Наименование темы и краткое содержание занятия	Объем, акад. часы	Инновационная форма
2	Номенклатура гетероароматических соединений	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
3	Строение гетероароматических соединений	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
4	Методы получения гетероароматических соединений	4	Слайд-презентация, групповая дискуссия
5	Кислотно-основные свойства гетероциклов. Типичные реакции гетероатомов гетероароматических систем	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
5	Таутомерия и двойственная реакционная способность гетероциклических соединений	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
5	Реакции электрофильного замещения в гетероароматических соединениях. Реакции гетероароматических соединений с нуклеофильными реагентами. Рециклизация гетероароматических соединений под действием нуклеофилов.	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия
6	Количественная оценка физико-химических свойств и реакционной способности гетероароматических соединений	2	Слайд-презентация, групповая дискуссия. Контрольная работа
	<b>Всего</b>	<b>16</b>	

## 4.4 Самостоятельная работа обучающихся

### 4.4.1 Вопросы для самостоятельного изучения

№ раздела дисциплины	Перечень вопросов для самостоятельного изучения	Объем, акад. часы	Форма контроля
4	Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом	8	Устный опрос №1
4	Методы получения 5-членных ароматических гетероциклов с двумя и более гетероатомами	8	Устный опрос №2
4	Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с одним гетероатомом	8	Устный опрос №3
4	Методы получения 6-членных ароматических гетероциклов с двумя и более гетероатомами	8	Устный опрос №4
4	Методы получения бензоаннелированных 5- и 6-членных ароматических гетероциклов	8	Устный опрос №5
4	Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя, тремя и более гетероядрами	8	Устный опрос №6
1-6	Подготовка к КР	12	Контрольная работа
	Всего:	60	

По изученным разделам дисциплины студенты выполняют одну контрольную работу.

### 4.4.2 Темы контрольной работы

Каждая контрольная работа содержит 1 задачу по строению и реакционной способности гетероароматических соединений и 1 задачу по методам получения определенного класса гетероароматических соединений.

Контрольная работа охватывает следующие разделы дисциплины:

1. Значение и области применения гетероароматических соединений.
2. Номенклатура гетероароматических соединений.
3. Строение гетероароматических соединений.
4. Методы получения гетероароматических соединений.
  - 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.
5. Кислотно-основные свойства гетероциклов.
  6. Типичные реакции гетероатомов гетероароматических систем.
  7. Таутомерия и двойственная реакционная способность гетероциклических соединений.
  8. Реакции электрофильного замещения в гетероароматических соединениях.
  9. Реакции нуклеофильного замещения в гетероароматических соединениях.
  10. Рециклизация гетероароматических соединений под действием нуклеофилов.

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

## **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 информационно-образовательной среде СПбГТИ (ТУ) на сайте: <http://media.technolog.edu.ru>.

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

Своевременное выполнение обучающимся мероприятий текущего контроля позволяет превысить (достигнуть) пороговый уровень («удовлетворительно») освоения предусмотренных элементов компетенций.

Результаты дисциплины считаются достигнутыми, если для всех элементов компетенций превышен (достигнут) пороговый уровень освоения компетенции на данном этапе.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в форме зачета.

К сдаче зачета допускаются студенты, выполнившие все формы текущего контроля, т. е. получившие положительную оценку за контрольную работу.

Зачет предусматривает выборочную проверку освоения предусмотренных элементов 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).

При сдаче зачета студент получает один вопрос из перечня теоретических вопросов и две задачи, по одной из каждого перечня типовых задач, время подготовки студента к устному ответу – до 45 мин.

### **6.1 Контрольные вопросы по дисциплине, используемые при текущем контроле успеваемости (контрольная работа) и промежуточной аттестации (теоретические вопросы к зачету)**

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 ароматических систем. Алкилирующие агенты, механизм реакции, влияние растворителя, электронные эффекты заместителей, стерические факторы. Относительная реакционная оспособнность азинов и азолов. Алкилирование амина-, гидроксид-, меркапто- и алкилпроизводных азинов и азолов. Кинетический и термодинамический контроль реакций.
9. N-Арилирование, N-ацилирование ароматических систем. Окисление ароматических 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 металлоорганическими 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.

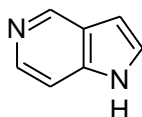
31. Методы получения бензоаннелированных 7-членных и большего размера ароматических гетероциклов.
32. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с двумя гетероядрами.
33. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с тремя гетероядрами.
34. Методы получения аннелированных гетероароматических систем с более чем тремя гетероядрами.

## 6.2 Перечень типовых задач по строению и реакционной способности гетероароматических соединений, используемых при текущем контроле успеваемости (контрольная работа) и промежуточной аттестации (зачет)

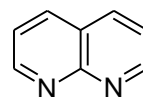
- Объясните, почему пиразин уступает по локальной  $\pi$ -дефицитности не только 1,3,5-триазиину, но даже пиридину.
- Какой из галогенов в 3,4-дихлорпиридине легче замещается на нуклеофил? Объясните.
- Расположите в порядке уменьшения основности следующие соединений:
  - пиридин,
  - пиразин (1,4-диазин),
  - хинолин,
  - 1,5-нафтиридин.
- Как влияют на основностьзагруппы в молекуле пиридина конденсированные с ним циклы:
  - бензол,
  - пиррол,
  - пиридин?
- В каком соединении NH-группа более кислая – в карбазоле или в анилине? Какое соединение обладает более сильными кислотными свойствами – флуорен или толуол? Объясните.
- Как изменится скорость взаимодействия 4-хлорпиридина с фенолом в нейтральной среде, если фенол заменить на фенолят натрия? Объясните.
- Что быстрее взаимодействует со щелочью, 4-хлорпиридин или 4-иодпиридин? Объясните.
- Какой из двух атомов азота более основен в молекулах:
  - бензимидазола;
  - 2-аминопиридина?
- Расположите в ряд по изменению  $pK_a$  следующие соединения:



I



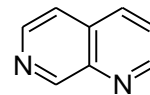
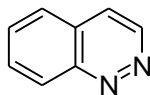
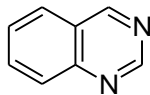
II



III

Назовите их по правилам IUPAC.

- Объясните, почему в воде аммиак является более сильным основанием, чем пиридин, тогда как в газовой фазе (в парах) основность пиридина несколько выше, чем аммиака.
- Какой атом азота в представленных ниже соединениях подвергается алкилированию в первую очередь?



Назовите эти соединения по правилам IUPAC.

- Объясните, почему имидазол намного основнее, чем пиразол.

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?

14. Почему при ацилировании азолов в безводных апротонных растворителях их вводят в реакцию в 2-кратном мольном избытке по отношению к ацилирующему агенту?

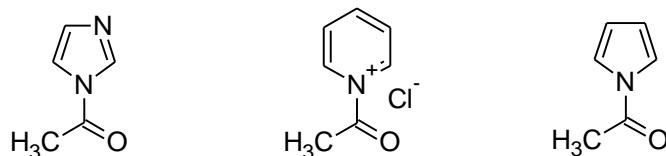
Приведите пример.

15. Какой продукт преимущественно образуется при метилировании 2-аминопиридина в нейтральных условиях? Напишите уравнения реакций.

16. Объясните, почему натриевая соль 2-бензотиазолтиола метилируется преимущественно по атому серы, а ацетируется – по атому азота. Напишите уравнения реакций.

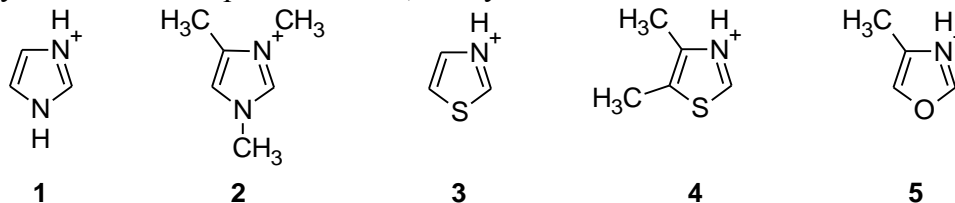
17. Почему реакции алкилирования амбидентных анионов  $\alpha$ - и  $\gamma$ -амино-, гидрокси-, меркапто-, алкилазинов и азолов обычно являются кинетически контролируемые, а реакции ацилирования, гидроксиметилирования, аминометилирования таких гетероциклических субстратов подчиняются термодинамическому контролю?

18. Расположите следующие N-ацетильные производные гетероциклов в порядке увеличения легкости отщепления ацетильной группы:



19. Объясните, почему четвертичные пиридиновые 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.

20. Расположите в порядке уменьшения активности в реакции основного H/D-обмена, т. е. в порядке уменьшения скорости обмена, следующие азольевые катионы:



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

22. Расположите в порядке уменьшения активности по отношению к электрофильным реагентам следующие соединения:

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

Объясните.

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

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

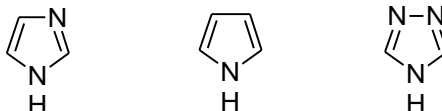
- пиррол,
- индол,
- имидазол,

d) бензимидазол.

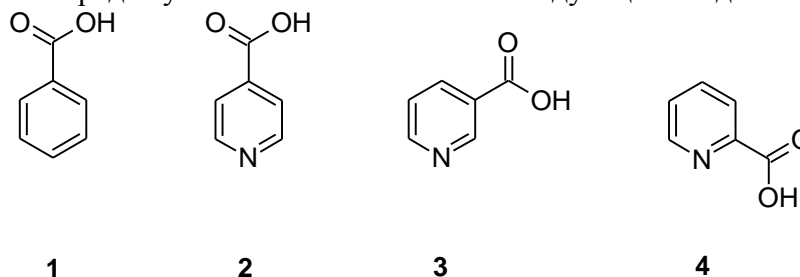
Объясните предложенный порядок уменьшения NH-кислотности.

25. Объясните, почему реакции электрофильного замещения в пирроле идут преимущественно по  $\alpha$ -положению, а в индоле – преимущественно по  $\beta$ -положению?

26. Расположите следующие соединения в порядке увеличения реакционной способности по отношению к электрофилам, назовите эти гетероциклы и объясните предложенный порядок реакционной способности:

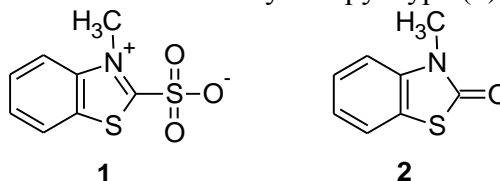


27. Расположите в порядке увеличения кислотности следующие соединения:

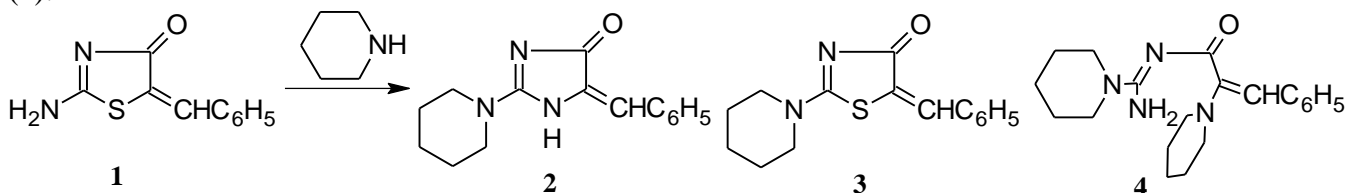


Назовите эти соединения. Объясните свое решение.

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 дейтерированном ацетонитриле, дополнительные сигналы, относящиеся к бензотиазолону (**2**), отсутствуют, и спектральная картина полностью соответствует структуре (**1**).



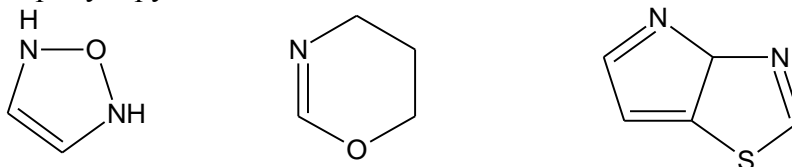
29. После нагревания 2-амино-5-бензилиден-1,3-тиазол-4(5*H*)-она (**1**) с избытком пиперидина в толуоле из реакционной смеси были выделены 2-(пиперидин-1-ил)-5-бензилиден-1,5-дигидро-4*H*-имидазол-4-он (**2**), тиазольное производное (**3**) и акриламид (**4**):



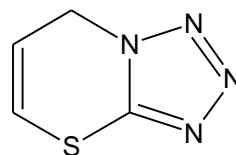
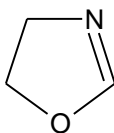
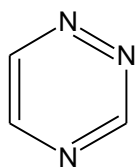
Предложите возможные механизмы протекающих в реакционной смеси процессов.

### 6.3 Перечень типовых задач по номенклатуре гетероциклических соединений, используемых при промежуточной аттестации (зачет)

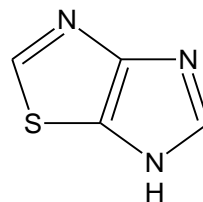
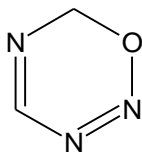
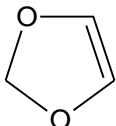
1. Назовите и пронумеруйте соединение:



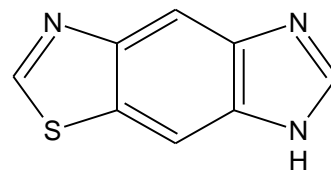
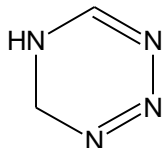
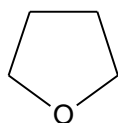
2. Назовите и пронумеруйте соединение:



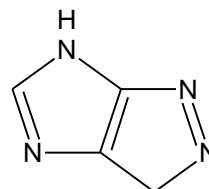
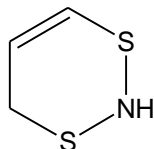
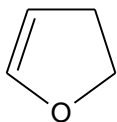
3. Назовите и пронумеруйте соединение:



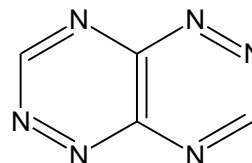
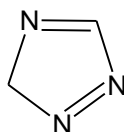
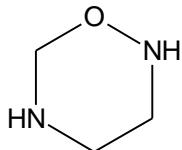
4. Назовите и пронумеруйте соединение:



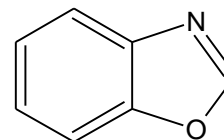
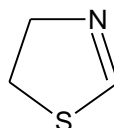
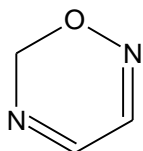
5. Назовите и пронумеруйте соединение:



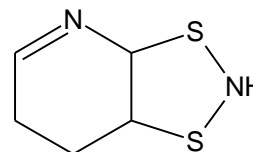
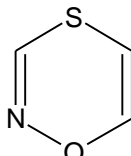
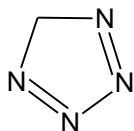
6. Назовите и пронумеруйте соединение:



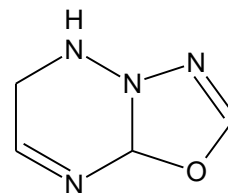
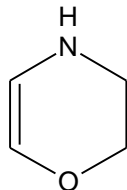
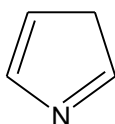
7. Назовите и пронумеруйте соединение:



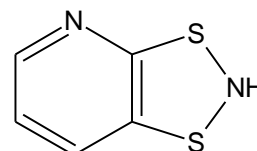
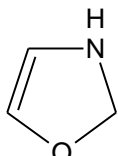
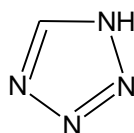
8. Назовите и пронумеруйте соединение:



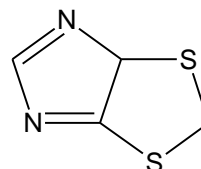
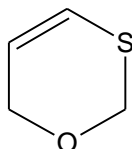
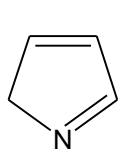
9. Назовите и пронумеруйте соединение:



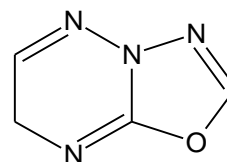
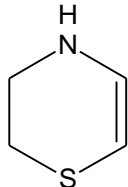
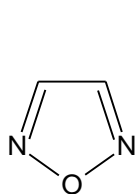
10. Назовите и пронумеруйте соединение:



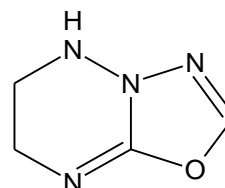
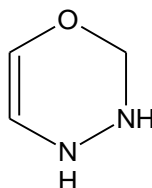
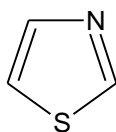
11. Назовите и пронумеруйте соединение:



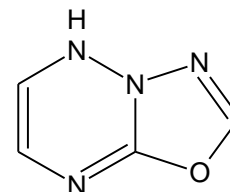
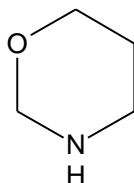
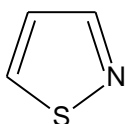
12. Назовите и пронумеруйте соединение:



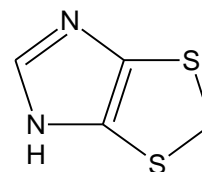
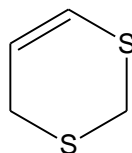
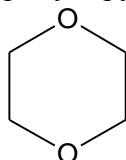
13. Назовите и пронумеруйте соединение:



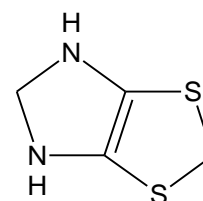
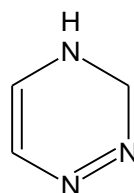
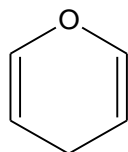
14. Назовите и пронумеруйте соединение:



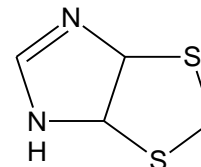
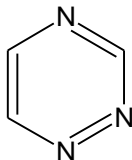
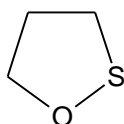
15. Назовите и пронумеруйте соединение:



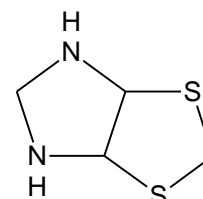
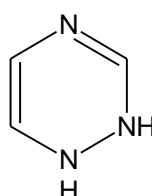
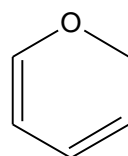
16. Назовите и пронумеруйте соединение:



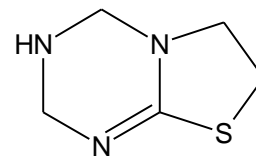
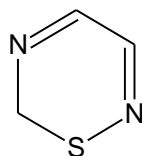
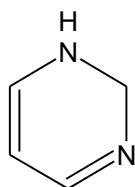
17. Назовите и пронумеруйте соединение:



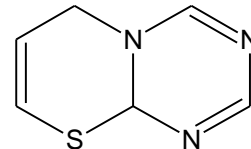
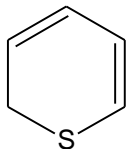
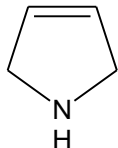
18. Назовите и пронумеруйте соединение:



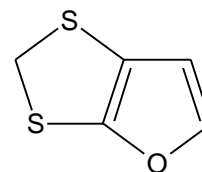
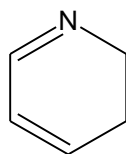
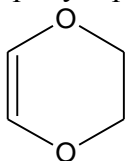
19. Назовите и пронумеруйте соединение:



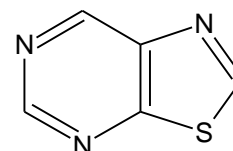
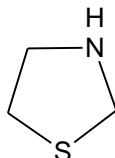
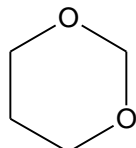
20. Назовите и пронумеруйте соединение:



21. Назовите и пронумеруйте соединение:



22. Назовите и пронумеруйте соединение:



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

## 7 Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

### а) основная литература:

1. Быкова, Л.М. Структура и реакционная способность ароматических и гетероароматических соединений. Ч. 1. Структура и реакционная способность гетероароматических соединений: Учебное пособие / Л.М. Быкова, С.М. Рамш, Е.С. Храброва – СПб.:СПбГТИ, 2015. – 50 с.

### б) дополнительная литература:

1. Джоуль, Дж. Химия гетероциклических соединений / Дж. Джоуль, К. Миллс. – М.: Мир, 2004. – 728 с.  
2. Рамш, С.М. Руководство по составлению названий гетероциклических соединений (с примерами и задачами) / С.М. Рамш. – СПб.:Химиздат, 2009. – 408 с.

### в) вспомогательная литература:

1. Пожарский, А.Ф. Теоретические основы химии гетероциклов / А.Ф.Пожарский. – М.: Химия, 1985. – 280 с.  
2. Джоуль, Дж. Основы химии гетероциклических соединений / Дж. Джоуль, Г. Смит. – М.: Мир, 1975. – 398 с.  
3. Джилкрест, Т. Химия гетероциклических соединений / Т. Джилкрест. – М.: Мир, 1996. – 463 с.

4. Иванский, В.И. Химия гетероциклических соединений / В.И. Иванский. – М.: ВШ, 1978. – 559 с.
5. Юровская, М.А. Методы синтеза и химические свойства ароматических гетероциклических соединений. Часть I / М.А. Юровская. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. – 91 с.; Юровская М.А. Методы синтеза и химические свойства ароматических гетероциклических соединений. Часть I / М.А. Юровская. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 59 с. // Сайт химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс]: Электронная библиотека учебных материалов по химии. URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/yurovska/welcome.html>.
6. Юровская, М.А. Методы синтеза и химические свойства ароматических гетероциклических соединений. Часть II / М.А. Юровская. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. – 86 с.; Юровская, М.А. Методы синтеза и химические свойства ароматических гетероциклических соединений. Часть II / М.А. Юровская. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2005. – 74 с. // Сайт химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс]: Электронная библиотека учебных материалов по химии. URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/yurovska/welcome.html>.
7. Юровская, М.А. Химия ароматических гетероциклических соединений / М.А. Юровская, А.В. Куркин, Н.В. Лукашев. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. – 50 с. // Сайт химического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова [Электронный ресурс]: Электронная библиотека учебных материалов по химии. URL: <http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/urovskaja/welcome.html>.
8. Резников, В.А. Гетероциклические соединения / В.А. Резников, В.Д. Штейнгарц. – Новосибирск: НГУ, 2003 // Сайт Новосибирского государственного университета [Электронный ресурс]: Учебно-методический сайт кафедры органической химии. URL: [http://www.nioch.nsc.ru/cafedra/2k\\_xim\\_m/hetero.htm](http://www.nioch.nsc.ru/cafedra/2k_xim_m/hetero.htm).
9. Пожарский, А.Ф. Молекулы-перстни / А.Ф. Пожарский, А.Т. Солдатенков. – М.: Химия, 1993. – 256 с.
10. Физические методы в химии гетероциклических соединений / Под ред. А.Р. Катрицкого. – Л.: Химия, 1966. – 344 с.
11. Квитко, И.Я. Синтез пятичленных азот- и серосодержащих гетероциклов: Метод. указания / И.Я. Квитко, Л.В. Алам, Е.А. Панфилова. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1989. – 36.
12. Островский, В.А. Кислотно-основные свойства гетероциклических соединений: Метод. указания / В.А. Островский, Г.И. Колдобский, В.С. Поплавский. – Л.: ЛТИ им. Ленсовета, 1991. – 26 с.
13. Рамш, С.М. Введение в номенклатуру гетероциклических соединений (с примерами и задачами): Учебное пособие / С.М. Рамш. – СПб.: СПбГТИ. Часть I, 2004. – 88 с.; Часть II, 2007. – 110 с.; Часть III, 2008. – 139 с.
14. Katritzky, A.R. Handbook of Heterocyclic Chemistry / A.R. Katritzky, A.F. Pozharskii. – Amsterdam, Gainesville: Elsevier, 2000. – 734p.
15. Pozharskii, A.F. Heterocycles in life and society: an introduction to heterocyclic chemistry and biochemistry and the role of heterocycles in science, technology, medicine, and agriculture / A.F. Pozharskii, A.T. Soldatenkov, A.R. Katritzky. – Chichester, a.: John Wiley & Sons, 1997. – 301 p.
16. Bioactive heterocyclic compound classes. 2 V. / Eds. J. Dinges, C. Lamberth. – Weinheim: Wiley-VCH, 2012.

## **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 системы и 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.organic-chemistry.org/>  
<http://www.chem.sc.edu/faculty/morgan/resources/links.html>  
<http://www.chem.ucla.edu/chempointers.html>

***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 ChemicalAbstractsService**  
<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 «ReaxysChemistryDiscoveryEngine»)

**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 (Thomson Reuters)**

<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://sdb.sdb.aist.go.jp/sdb/cgi-bin/ENTRANCE.cgi>

**Базы данных ВИНТИ**

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

**Термические константы веществ**

<http://www.chem.msu.su/cgi-bin/tkv.pl?show=welcme.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.crct.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:*

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

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

<http://worldwide.espacenet.com/advancedSearch?locale=en> EP

**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/>

**Google Patents**

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

**ФГУ ФИПС**

[http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content\\_ru/ru/inform\\_resources/inform\\_retrieval\\_system](http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system)

### *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 РФБ**

<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.springerlink.com/>

<http://www.springerlink.com/home/main.mpx>

*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/>

**DassaultSystèmes/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/aspen-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 приходиться, имея багаж знаний и вопросов по уже изученному материалу.

Рабочей программой дисциплины «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» предусмотрена самостоятельная работа студентов в объеме 60 часов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления и расширения знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной основной, дополнительной и вспомогательной литературы, в том числе для усвоения теоретического материала дисциплины, вынесенного на самостоятельное изучение;
- подготовку к лекциям и практическим занятиям;

подготовку к контрольной работе (ответы на контрольные вопросы и решение тестовых задач);

работу с рекомендованными Интернет-источниками научно-технической информации;

интерактивное обучение с использованием рекомендованных электронных учебных пособий, доступных программно-обучающих модулей и телекоммуникационных технологий *online* 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 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 данной 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 посредством 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«ReaxysChemistryDiscoveryEngine», поисковые инструменты БД ScienceDirect, Scopus, Web of Science, STN International, ВИНТИ, Роспатента, TheUSPatentandTrademarkOffice, EuropeanPatentOffice, MEDLINE (PubChem), CambridgeStructuralDatabase.
2. Программа представление структурных данных «Mercury» (бесплатная версия с сайта CCDC (см. раздел 8).
3. БД Beilstein, CambridgeStructuralDatabase на электронных носителях (кафедра физики СПбГТИ (ТУ), проф. Беляков А.В.).



4. Учебный пакет «STN-Mentor» системы STNInternational на электронных носителях (кафедра системного анализа СПбГТИ (ТУ), доц. Ананченко И.В.).
5. ИПС «Web ИРБИС» для поиска библиографической информации на сайте ФБ СПбГТИ (ТУ).
6. Электронно-библиотечные системы (электронные ресурсы), предлагаемые на сайте ФБСПбГТИ (ТУ).

### 10.2.2 Универсальное программное обеспечение:

1. Стандартные программные продукты «MICROSOFTOFFICE».
2. Компьютерная молекулярная графика: бесплатно распространяемые (nofee, free, trialversions) на соответствующих сайтах (см. ниже) пакеты программ «ACD/Labs» («ACD/ChemSketch»), «MDL/ISIS» / «Symyx» / «Accelrys» / «BIOVIA» / Dassault Systèmes («ISISDraw» и более поздние версии этого продукта – «SymyxDraw», «AccelrysDraw», «BIOVIADraw»), «ChemOffice» («ChemDraw») и т. п. – от разработчиков программных продуктов по химии.

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

Для проведения занятий по дисциплине «Строение и реакционная способность гетероароматических соединений» имеется необходимая материально-техническая база: лекционная аудитория, оснащенная мультимедийным проектором; специализированный компьютерный класс, с подключенными периферийными устройствами и оборудованием, выходом в Интернет и локальную сеть СПбГТИ (ТУ); компьютерное (*hardware*) и программное (*software*) обеспечение для проведения семинарских и практических занятий, а также для самостоятельной работы по дисциплине; Фундаментальная библиотека с читальными залами, оснащенными компьютерами, с выходом в Интернет и локальную сеть СПбГТИ (ТУ).

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 MSIGP72 6QF-273RUCi7-6700HQ 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 AsusX756UVCi3-6100U 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 AsusX756UVCi3-6100U 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
НоутбукAsus X751MAPQCN3530	Работа в Интернете, профессиональные вычисления, профессиональные (химические) приложения, подготовка текстов, презентаций и т. п.	2014
НоутбукAsus X751MAPQCN3530	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
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,скорость50 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**

Компетенции		
Индекс	Формулировка	Этап формирования
ОПК-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире	промежуточный
ПК-18	Готовность использовать знание свойств химических элементов, соединений и материалов на их основе для решения задач профессиональной деятельности	промежуточный

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

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
	<b>Знает:</b>		
Освоение раздела № 2 Освоение раздела № 3	молекулярное строение и физико-химические свойства основных классов гетероароматических соединений;	Правильные ответы на вопросы №2-7к зачету	ОПК-3
Освоение раздела № 4	методы получения основных классов гетероароматических соединений;	Правильные ответы на вопросы №23-34 к зачету	
Освоение раздела № 5	химические свойства основных классов гетероароматических соединений.	Правильные ответы на вопросы №8-22 к зачету	
	<b>Умеет:</b>		
Освоение раздела № 1 Освоение раздела № 6	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.	Правильные ответы на вопросы №1, 6, 7 к зачету	ОПК-3
	<b>Владеет:</b>		

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 3 Освоение раздела № 5 Освоение раздела № 6	навыками изучения строения, физико-химических и химических свойств вновь синтезированных гетероароматических соединений.	Правильные ответы на вопросы №3-22 к зачету	ОПК-3
	<b>Знает:</b>		
Освоение раздела № 4	основные методы получения «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – функционализированных производных гетероароматических соединений;	Правильные ответы на вопросы №23-34 к зачету	ПК-18
Освоение раздела № 5	механизмы основных типов реакций, протекающих с участием гетероароматических соединений «простого» и «сложного» строения;	Правильные ответы на вопросы №8, 9-12-22 к зачету	
Освоение раздела № 3 Освоение раздела № 5	качественные соотношения между строением и реакционной способностью «исходных» соединений, «промежуточных» и «конечных» продуктов тонкого органического синтеза – соединений гетероароматического ряда.	Правильные ответы на вопросы №3-22 к зачету	
	<b>Умеет:</b>		
Освоение раздела № 1 Освоение раздела № 3 Освоение раздела № 4	применять полученные знания для целенаправленного синтеза как новых, так и уже известных гетероароматических соединений заданного строения;	Правильные ответы на вопросы №1, 2, 23-34 к зачету	ПК-18
Освоение раздела № 5 Освоение раздела № 6	прогнозировать физико-химические, химические и специальные свойства, а также реакционную способность вновь синтезированных гетероароматических соединений;	Правильные ответы на вопросы №3-22 к зачету	
Освоение раздела № 2	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.	Правильные ответы на вопросы №1, 2 к зачету	
	<b>Владеет:</b>		
Освоение раздела № 4	навыками лабораторного синтеза основных классов гетероароматических соединений;	Правильные ответы на вопросы №23-34 к зачету	ПК-18

Показатели оценки результатов освоения дисциплины	Планируемые результаты	Критерий оценивания	Компетенции
Освоение раздела № 1	навыками работы с научно-технической информацией по химии и технологии гетероароматических соединений.	Правильные ответы на вопросы №1, 2 к зачету	

Шкала оценивания соответствует СТО СПбГТИ(ТУ) 016-2015. КС УКВД. Порядок проведения зачетов и экзаменов:

промежуточная аттестация проводится в форме зачета, результатом зачета является оценка «зачтено».

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

#### а) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ОПК-3:

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.

#### **б) Вопросы для оценки сформированности элементов компетенции ПК-18:**

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 ароматических систем. Алкилирующие агенты, механизм реакции, влияние растворителя, электронные эффекты заместителей, стерические факторы. Относительная реакционная оспособнность азинов и азолов. Алкилирование амино-, гидроксид-, 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 металлоорганическими 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.

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

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в соответствии с требованиями СТО СПбГТИ (ТУ) 016-2015. КС УКДВ. Порядок организации и проведения зачетов и экзаменов.