



## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ФГБОУ ВО «ИГУ»

Кафедра физической и коллоидной химии

УТВЕРЖДАЮ  
 А.И. Вильмс  
Декан химического факультета  
«26» мая 2022 г.  


### Рабочая программа дисциплины

Наименование дисциплины: **Б1.В.ДВ.05.02 Химия металлорганических соединений**

Направление подготовки **04.03.01 – «Химия»**

Направленность подготовки: **химия**

Квалификация выпускника - **бакалавр**

Форма обучения: **очная**

Согласовано с УМК химического  
факультета

Протокол № 6 от «26» мая 2022 г.

Председатель   
А.И. Вильмс.

Рекомендовано кафедрой физической и  
коллоидной химии:

Протокол № 7 от «26» мая 2022 г.

И.о. зав. кафедрой   
Бельх Л.Б.

Иркутск 2022 г..

1. Цели и задачи дисциплины (модуля)
2. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП.
3. Требования к результатам освоения дисциплины (модуля)
4. Объем дисциплины (модуля) и виды учебной работы
5. Содержание дисциплины (модуля)
  - 5.1 Содержание разделов и тем дисциплины (модуля)
  - 5.2 Разделы дисциплины (модуля) и междисциплинарные связи с обеспечиваемыми (последующими) дисциплинами (модулями)
  - 5.3 Разделы и темы дисциплин (модулей) и виды занятий
6. Перечень семинарских, практических занятий, лабораторных работ, план самостоятельной работы студентов, методические указания по организации самостоятельной работы студентов
  - 6.1. План самостоятельной работы студентов
  - 6.2. Методические указания по организации самостоятельной работы студентов
7. Примерная тематика курсовых работ (проектов) (при наличии)
8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля):
  - а) основная литература;
  - б) дополнительная литература;
  - в) программное обеспечение;
  - г) базы данных, поисково-справочные и информационные системы
9. Материально-техническое обеспечение дисциплины (модуля)
10. Образовательные технологии
11. Оценочные средства (ОС)

## I. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ:

**Цель:** усвоение фундаментальных знаний в области современной металлоорганической химии на примере соединений переходных металлов и представлений о ее тесной взаимосвязи со смежными областями науки: органической химией, катализом, материаловедением.

### **Задачи:**

1. Обучить студентов теоретическим основам химии металлоорганических соединений.
2. Показать современные взгляды на металлоорганические соединения переходных металлов, взаимосвязь строения и типов реакционной способности соединений со связью металл-углерод, а также области возможного применения.
3. Закрепить необходимый понятийный аппарат важнейших разделов металлоорганической химии.
4. Показать способы использования теоретических основ химии металлоорганических соединений при решении конкретных химических задач.
5. Дать представление о роли и месте металлоорганической химии в профессиональной деятельности.

## II. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП ВО

2.1 Учебная дисциплина «Химия металлоорганических соединений» относится к дисциплинам по выбору части программы, формируемой участниками образовательных отношений (Б1.В.ДВ.05.02).

Курс металлоорганической химии входит в список химических курсов, предлагаемых университетами Европы и США, а также в ряде ведущих вузов России, таких как, например, МГУ, СПбГУ, НГУ. При подготовке данной рабочей программы были использованы программы следующих курсов: «Избранные главы металлоорганической химии», сост. проф. С.Н. Конченко, Новосибирский ГУ; «Химия элементоорганических соединений», ИФХЭ РАН; «Металлоорганическая химия», сост. Проф. Л.И. Ворончихина Тверской ГУ; «Organometallic Chemistry» Prof. George G. Stanley, Louisiana State University; «Organometallic Chemistry» Prof. Peter H.M. Budzelaar, Univ. of Manitoba; «Organometallic Chemistry» Prof. M.-Christina White, Harvard Univ.

Построение курса отражает современный уровень, на который вышла химия металлоорганических соединений, превратившись в раздел химии, поднявший на новый уровень как неорганическую, так и органическую химию, катализ. Частично химия металлоорганических соединений (МС) рассматривается в курсах органической химии, неорганической химии, химии элементоорганических соединений, поэтому данный курс построен так, чтобы осветить в первую очередь те вопросы, которым не уделено внимание в других курсах. Поэтому основную часть курса составляет металлоорганическая химия переходных элементов, бурное развитие которой происходило со второй половине XX, начала XXI веков и происходит в настоящее время.

Курс построен так, чтобы после исторического введения и определения круга объектов металлоорганической химии, а также общей характеристики типов и физико-химического описания связи металл-углерод в их с связи с природой металла, донести до студентов информацию о методах синтеза, химических и физических свойствах МС элементов. Кроме того, отдельное внимание уделено междисциплинарной роли МС. В курсе дается детальное обобщение методов синтеза и свойств соединений со связью металл-углерод, излагаются закономерности изменения их свойств в контексте с изменением электронного строения и физико-химических параметров связи металл-углерод, рассматривается роль МС в органическом синтезе, катализе и материаловедении. В теоретическом отношении курс строится на широком использовании современного теоретического описания строения вещества, знании термодинамики, кинетики и

современных спектроскопических и спектрометрических методов исследования, что обеспечивает его взаимодополняемость с рядом других курсов, читаемых на химическом факультете ИГУ.

2.2 Для изучения данной учебной дисциплины необходимы знания, умения и навыки, формируемые предшествующими дисциплинами, а именно:

«Общая химия. Химия неметаллов» (Б1.О.16),

«Металлическая связь. Химия металлов» (Б1.О.17),

«Органическая химия» (Б1.О.19),

«Физическая химия. Химическая термодинамика» (Б1.О.24)

«Физическая химия. Электрохимия. Химическая кинетика и катализ» (Б1.О.25),

«Высокомолекулярные соединения» (Б1.О.26),

«Строение вещества» (Б1.О.29).

2.3 Перечень последующих учебных дисциплин, для которых необходимы знания, умения и навыки, формируемые данной учебной дисциплиной:

выполнения выпускных квалификационных работ и формирования профессиональных компетенций

### III. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс освоения дисциплины направлен на формирование компетенций (элементов следующих компетенций) в соответствии с ФГОС ВО и ОП ВО по данному направлению подготовки 04.03.01 «Химия», профиль: теоретическая и прикладная химия.

#### Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Компетенция	Индикаторы компетенций	Результаты обучения
ПК-6 Способен применять основные естественнонаучные законы и закономерности развития химической науки при анализе полученных результатов	ИДК <i>опк-6.1</i> Знает теоретические основы базовых химических дисциплин (неорганической, органической, аналитической, физической химии, химии высокомолекулярных соединений, химических основ биологических процессов.) и способы их использования при решении конкретных химических задач	<b>Знать:</b> основы теоретического описания различных типов связи металл-углерод, закономерности устойчивости МС в зависимости от природы металла и лиганда, основные типы реакций МС и их связь с электронной конфигурацией, основные классы МС переходных металлов, лигандов, основные типы реакционной способности МС, основные методы синтеза соединений со связью металл-углерод
		<b>Уметь:</b> ориентироваться в современной металлоорганической химии переходных металлов на уровне понимания основных проблем, решаемых этой наукой, и основных областей и вариантов использования МС в смежных областях и промышленности; применять и использовать полученные знания при обсуждении экспериментальных данных
		<b>Владеть:</b> понятийным аппаратом и теоретическими представлениями в области металлоорганической химии; представлениями о металлоорганических соединениях разных металлов, особенностях связей металл-углерод; представлениями о типах используемых лигандов в металлоорганической химии, основных реакция МС.

## I. СОДЕРЖАНИЕ И СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетных единиц, 72 часа

Форма промежуточной аттестации: *зачет*

**4.1 Содержание дисциплины, структурированное по темам, с указанием видов учебных занятий и отведенного на них количества академических часов**

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)					Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			КСР + консультации			
			Лекции	Практические занятия					
				Всего	Из них практическая подготовка*				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	
1	Введение в металлоорганическую химию	8	1	2	2	1	4	Проверка КР	
2	Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов	8	2	2	2	1	4	Проверка КР	
3	Алкильные и арильные соединения переходных металлов	8	2	2	2		4	Опрос	
4	Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов	8	2	1	1		4	Опрос	
5	Комплексы металлов с олефинами.	8	2	2	2		4	Опрос	
6	Би- и полиядерные соединения переходных	8	1	-	-		-	Опрос	

№ п/п	Раздел дисциплины/темы	Семестр	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость (в часах)					Самостоятельная работа	Формы текущего контроля успеваемости; Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			Контактная работа преподавателя с обучающимися			КСР + консультации	Самостоятельная работа		
			Лекции	Практические занятия					
				Всего	Из них практическая подготовка*				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	
	металлов.								
7	Основные фундаментальные реакции	8	4	4	4	1	4	Проверка КР	
8	Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям	8	2	1	1		4	Опрос	
9	Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС	8	2	4	4	1	4	Проверка КР. Опрос	
<b>Итого часов</b>			<b>18</b>	<b>18</b>		<b>4</b>	<b>32</b>	Зачет	

Примечание: КР – контрольная работа, \*в рабочей программе по дисциплине при выполнении лабораторных работ предусмотрена практическая подготовка в виде выполнения отдельных видов работ, связанных с будущей профессиональной деятельностью

#### 4.2 План внеаудиторной самостоятельной работы обучающихся по дисциплине

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
8	Введение в металлоорганическую химию	Выполнение практических заданий. Подготовка решений по практическим заданиям.		4	Устная беседа; проверка практических заданий по теме	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..
8	Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов	Выполнение практических заданий. Подготовка решений по практическим заданиям.		4	Устная беседа; проверка практических заданий по теме	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..
8	Алкильные и арильные соединения переходных металлов	Выполнение практических заданий		4	Опрос	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..
8	Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов	Выполнение практических заданий»		4	Опрос	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..
8	Комплексы металлов с олефинами.	Выполнение практических заданий»		4	Опрос	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
8	Основные фундаментальные реакции	Выполнение практических заданий. Подготовка решений по практическим заданиям.		4	Устная беседа; проверка практических заданий по теме	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014..
8	Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям	Выполнение практических заданий		4	Опрос	Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия. - Москва : Бином., 2014.. Быков, М.В. Катализаторы на основе комплексов переходных металлов: синтезы прекурсоров на основе палладия и никеля / М. В. Быков, Д. С. Суслов, В. С. Ткач . - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014.

Семестр	Название раздела, темы	Самостоятельная работа обучающихся			Оценочное средство	Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы
		Вид самостоятельной работы	Сроки выполнения	Затраты времени (час.)		
8	Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС	Подготовка решений по практическим заданиям. Подготовка отчета по результатам работы с научной литературой		4	Устная беседа; проверка практических заданий по теме ; проверка отчета по результатам работы с научной литературой	Подобранная преподавателем научная литература
Общая трудоемкость самостоятельной работы по дисциплине (час)				<b>32</b>		
<b>Бюджет времени самостоятельной работы, предусмотренный учебным планом для данной дисциплины (час)</b>				<b>32</b>		

## 4.3 Содержание учебного материала

### Содержание разделов и тем дисциплины

#### I. Введение в металлоорганическую химию

Предмет металлоорганической химии. Условность разделения на металло- и элементоорганическую химию, разделы, рассматриваемые в данном курсе. Краткая история развития металлоорганической химии - основные события и люди. Правило 18(8) электронов и его применение при прогнозировании устойчивости и реакционной способности МС.

#### II. Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов (3 ч)

Классификация металлоорганических соединений переходных металлов по типу лигандов, координированных с металлом. Соединения переходных металлов с основаниями Льюиса: М-Х, М-О, М-S, М-N.

Основные типы карбониллов металлов. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-карбонил. Практическое применение карбониллов металлов.

Соединения переходных металлов с фосфорорганическими соединениями. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-фосфор.

Гидридные комплексы переходных металлов. Соединения с водородным атомом: моно-, би- и полиядерные. Соединения с терминальным и мостиковым атомами водорода. Соединения с молекулярным водородом: синтез, строение, свойства. Характер связи металл-водород, ее полярность, возможность диссоциации. Взаимные превращения водородных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль водородных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.

#### III. Алкильные и арильные соединения переходных металлов

Связь металл - углерод как основной отличительный элемент металло-органических соединений: степень ионности и ковалентности связей С-М. Методы синтеза, строение и реакции. Взаимные превращения алкильных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль алкильных и арильных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.

#### IV. Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов

Карбеновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбеновые комплексы Фишера. Карбеновые комплексы Шрока. Реакции карбеновых комплексов Фишера, депротонирование связей С-Н. Роль карбеновых комплексов в катализе (метатезис олефинов). Использование в тонком органическом синтезе. Карбиновые комплексы переходных металлов. Синтез карбиновых комплексов действием кислот Льюиса на карбеновые комплексы Фишера. Комплексы переходных металлов.

#### V. Комплексы металлов с олефинами

Типы комплексов с линейными и циклическими моно- и полиолефинами. Методы получения, строение, свойства. Природа связи олефина с металлом. Роль олефиновых комплексов в катализе. Ацетиленовые комплексы. Типы ацетиленовых комплексов. Методы получения, строение, свойства. Моно- и биметаллические комплексы. Аллильные комплексы.

Типы аллильные комплексы. Методы синтеза, строение, реакции. Роль в катализе.

Циклопентадиенильные комплексы. Типы комплексов. Строение. Металлоцены: ферроцен, никелецен, кобальтоцен. Синтез. Реакционная способность Циклопентадиенильные производные титана и циркония. Типы комплексов. Ареновые комплексы. Типы ареновых комплексов. Методы получения и реакции.

#### VI. Би- и полиядерные соединения переходных металлов

Методы синтеза и реакции образования моно- и полиядерных МС Основные свойства связи М-М.

#### VII. Основные фундаментальные реакции

Лигандное замещение. Окислительное присоединения и восстановительное элиминирование. Внутримолекулярное внедрение и элиминирования. Механизмы данных реакций. Атака по координированных лигандам, краткий обзор.

#### VIII. Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям

Окислительное присоединение галогенуглеводородов: «прямой» синтез из металла и галогенуглеводорода; «смешаннометаллический» синтез - из галогенуглеводорода и смеси металла-восстановителя с металлом, окисление галогенуглеводородами металлов в промежуточной степени окисления. Трансметаллирование. Обмен металлов. Метатезис (нуклеофильное замещение галогена на R). Замещение галогена на металл в реакции арилгалогенидов с алкиллитием. Другие методы.

#### IX. Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС

Металлоорганические соединения в катализе, материаловедении. ЯМР-спектроскопии в исследовании строения и реакционной способности МС. Масс-спектрометрия. Метод рентгеноструктурного анализа (РСА).

### 4.3.1 Перечень практических занятий и лабораторных работ

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Все-го	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
1	1. Введение в металлоорганическую химию	Правило 8/18 электронов	2	2	Проверка КР	ПК-6.1
2	2. Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов	Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов и их роль в каталитическом органическом синтезе	2	2	Проверка КР	ПК-6.1
3	3. Алкильные и арильные соединения переходных металлов	Алкильные и арильные соединения переходных металлов и их роль в каталитическом органическом синтезе	2	2	Устная беседа. Опрос.	ПК-6.1
4	4. Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов	Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов, особенности структуры и роль в катализе	1	1	Устная беседа. Опрос.	ПК-6.1
5	5. Комплексы металлов	Комплексы металлов с	2	2	Устная	ПК-6.1

№ п/п	№ раздела и темы дисциплины (модуля)	Наименование семинаров, практических и лабораторных работ	Трудоемкость (час.)		Оценочные средства	Формируемые компетенции
			Всего	Из них практическая подготовка		
1	2	3	4	5	6	7
	с олефинами.	олефинами.			беседа. Опрос.	
6	7.Основные фундаментальные реакции	Окислительное присоединения и восстановительное элиминирование. Внутримолекулярное внедрение и элиминирования. Механизмы данных реакций.	4	4	Проверка КР	ПК-6.1
7	8.Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям	Рассмотрение подходов к синтезу ряда соединений	1	1	Устная беседа. Опрос.	ПК-6.1
8	9. Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС	Применение МС в катализе и материаловедении	4	4	Проверка КР; устная беседа по отчету по результатам работы с научной литературой	ПК-6.1

#### 4.3.2. Перечень тем (вопросов), выносимых на самостоятельное изучение самостоятельной работы студентов

№ п/п	Тема	Задание	Формируемая компетенция	ИДК
1	Введение в металлоорганическую химию	Подготовка к устной беседе (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
2	Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов	Подготовка к устной беседе (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
3	Алкильные и арильные соединения переходных металлов	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
4	Карбеновые и карбиновые	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего	ПК-6	ПК-6.1

	комплексы переходных металлов	контроля). Выполнение практических заданий.		
5	Комплексы металлов с олефинами.	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
6	Основные фундаментальные реакции	Подготовка к устной беседе (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
7	Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям	Подготовка к устному опросу (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1
8	Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС	Подготовка к устной беседе (см. вопросы текущего контроля). Выполнение практических заданий.	ПК-6	ПК-6.1

### 3.2 Методические указания по организации самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов, связанная с закреплением теоретического материала в виде решения задач и подготовки к устным опросам и беседам проводится во внеаудиторное время.

*Структура отчета по результатам работы с научной литературой:*

1. Цель работы.
2. Теоретическая часть (укажите металлоорганические соединения как и зачем синтезировались, какие методы использовались для подтверждения их состава и структуры, каково практическое применение описанных в работе соединений)
3. Вывод (на основе полученных результатов).

### 4.5. Примерная тематика курсовых работ (проектов )

*не предусмотрено*

## V. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

а) *основная литература:*

1. Эльшенбройх, К. Металлоорганическая химия [Электронный ресурс] / К. Эльшенбройх. - Москва : Бином. Лаборатория знаний, 2014. - 746 с. : ил. - (Химия). - Режим доступа: ЭБС "Издательство "Лань". - Неогранич. доступ. - Библиогр.: с. 681-703, библиогр. в предисл. - Предм. указ.: с. 720-740. - Авт. указ.: с. 704-719. - ISBN 978-5-9963-1332-7. - Пер. изд.: Organometallchemie / C. Elschenbroich. 2008.

б) *дополнительная литература:*

2. Катализаторы на основе комплексов переходных металлов: актуальные проблемы и примеры их эффективного решения [Текст] : учеб. пособие / В. С. Ткач, Д. С. Суслов ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. - 148 с. : граф., портр. ; 21 см. - Библиогр. в конце разд. -
3. Быков, М.В. Катализаторы на основе комплексов переходных металлов: синтеза прекурсоров на основе палладия и никеля [Текст] : учеб. пособие / М. В. Быков, Д. С. Суслов, В. С. Ткач ; рец.: Л. О. Ниндакова, Б. Н. Баженов ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - 109 с. ; 20 см. - Библиогр. в конце глав. - ISBN 978-5-9624-1114-9
4. Титова, Ю. Ю. Комплексы никеля в органическом синтезе и катализе [Текст] : учеб. пособие : в 2 ч. / Ю. Ю. Титова, Ф. К. Шмидт ; рец.: А. В. Рохин, В. В. Смирнов ; Иркутский гос. ун-т, Хим. фак. - Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. - 20 см. - ISBN 978-5-9624-1132-3. Ч. 1 : Характеристика никеля как элемента и основные соединения никеля, используемые в синтезе и катализе. - 2014. - 85 с. : ил. - Библиогр.: с. 84-85. - ISBN 978-5-9624-1133-0



**в) периодические издания (при необходимости)**

**г) список авторских методических разработок:**

**д) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы**

<http://icchair.niic.nsc.ru/files.shtml>

Данный интернет источник – сайт Новосибирского госуниверситета (Кафедра неорганической химии), на котором представлены лекции С. Н. Конченко по металлорганической химии, программа курса и литература

[https://www.lsu.edu/science/chemistry/people/contact\\_pages/Professors/stanley.php](https://www.lsu.edu/science/chemistry/people/contact_pages/Professors/stanley.php)

(копия:

[http://organicheskii.narod.ru/Organometallic\\_chemistry\\_lectures-George\\_Stanley-.pdf](http://organicheskii.narod.ru/Organometallic_chemistry_lectures-George_Stanley-.pdf))

Данный интернет источник – сайт Louisiana State University, на котором представлены лекции Prof. George G. Stanley по металлорганической химии

<https://home.cc.umanitoba.ca/~budzela/CHEM4680/CHEM4680.html>

Данный интернет источник – сайт Univ. of Manitoba, на котором представлены лекции Prof. Peter H.M. Budzelaar по металлорганической химии

## **VI. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **6.1. Учебно-лабораторное оборудование:**

Помещения для проведения лекционных и практических занятий, укомплектованные необходимым оборудованием, а именно:

- аудитории, оснащенные мультимедийными средствами, для проведения аудиторных и практических занятий (ауд. 303, 402, 426); ауд. 5, 402, 426 оборудованы мультимедийными проекторами (InFocus IN 105 (3D Ready), настенными экранами, ноутбуками Samsung NP 300T5A-A0FRU.

- компьютерный класс кафедры физической и коллоидной химии (ауд. 303). Общее количество единиц вычислительной техники – 3. Имеется локальная сеть.

### **6.2. Программное обеспечение: нет**

### 6.3. Технические и электронные средства:

## VII. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В процессе изучения дисциплины «Химия металлоорганических соединений» читаются лекции, проводятся практические (семинарские) занятия и контрольные работы, разбор конкретных ситуаций с использованием пассивных, активных и интерактивных форм обучения.

Активные формы обучения. На практических занятиях, которые составляют около половины от контактной работы, каждый студент выполняет практические индивидуально, выполняет контрольные работы по темам указанным преподавателем. Такой вид организации обучения способствует приобретению навыков самостоятельного ведения работ. Подготовка отчетов по работе с научной литературой формирует умение проводить анализ результатов с учетом общих закономерностей, формулируемых в рамках химии металлоорганических соединений, грамотно формулировать выводы. В ходе обучения используются презентации с использованием различных вспомогательных средств: доски, видеослайдов, постеров, применяется активное использование технических средств, в том числе раздаточного и дидактического материала в виде таблиц, слайдов, учебных фильмов, видеоклипов, видеотехники, с помощью которых иллюстрируется изучаемый материал

Закрепление теоретических положений «Химия металлоорганических соединений» проводится в виде интерактивного обучения – интенсивное использование индивидуальных заданий (домашние контрольные задания самодиагностического или творческого характера), а также обратной связи для актуализация полученного на лекции содержания (участникам (в произвольном порядке) предлагается высказаться по поводу прослушанной информации), размещении материалов презентаций в ЭИОС.

### Наименование тем занятий с использованием интерактивных форм обучения:

№	Тема занятия	Вид занятия	Форма / Методы интерактивного обучения	Кол-во часов
1	Правило 8/18 электронов	практические	Групповая дискуссия	2
2	Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов и их роль в каталитическом органическом синтезе	практические	Групповая дискуссия	2
3	Окислительное присоединения и восстановительное элиминирование. Внутримолекулярное внедрение и элиминирования. Механизмы данных реакций.	практические	Групповая дискуссия	4
4	Применение МС в катализе и материаловедении	практические	Групповая дискуссия	4

### VIII. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### Оценочные средства (ОС):

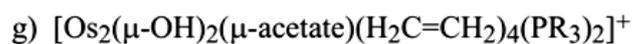
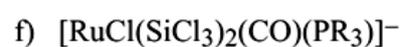
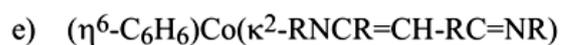
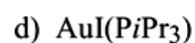
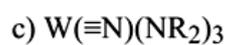
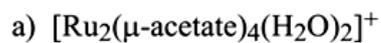
Оценочные средства текущего контроля формируются в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе университета. Назначение оценочных средств текущего контроля - выявить у обучающихся сформированность компетенций: ПК-6.1.

#### Материалы для проведения текущего и промежуточного контроля знаний студентов:

№	Вид контроля	Контролируемые темы (разделы)	Компетенции, компоненты которых контролируются
1	Собеседование. Контрольная работа	1. Введение в металлоорганическую химию	ОПК-6.1
2	Собеседование. Контрольная работа	2. Карбонильные, фосфиновые и гидридные комплексы переходных металлов	ОПК-6.1
3	Собеседование	3. Алкильные и арильные соединения переходных металлов	ОПК-6.1
4	Собеседование	4. Карбеновые и карбиновые комплексы переходных металлов	ОПК-6.1
5	Собеседование	5. Комплексы металлов с олефинами.	ОПК-6.1
6	Собеседование. Контрольная работа	7. Основные фундаментальные реакции	ОПК-6.1
7	Собеседование	8. Основные синтетические подходы к металлоорганическим соединениям	ОПК-6.1
8	Собеседование. Контрольная работа	9. Практическое применение металлоорганических соединений, методы анализа МС	ОПК-6.1

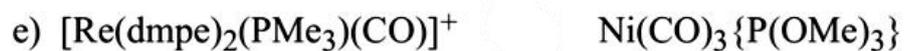
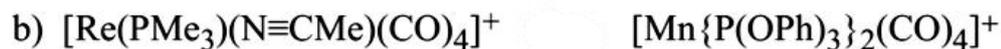
**Демонстрационный вариант контрольной работы №1**

Нарисуйте структуру, отражающую геометрию металлокомплексного соединения как можно более точно и произведите подсчет электронов.



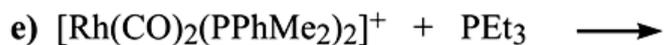
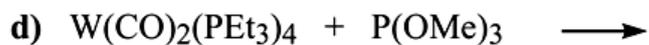
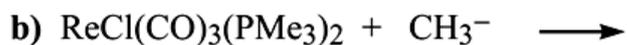
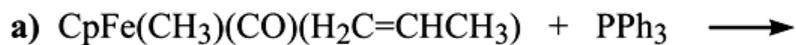
Демонстрационный вариант контрольной работы №2

У какого из представленной пары соединений частота колебаний карбонильной группы будет выше. Коротко опишите ваши рассуждения в каждом случае.



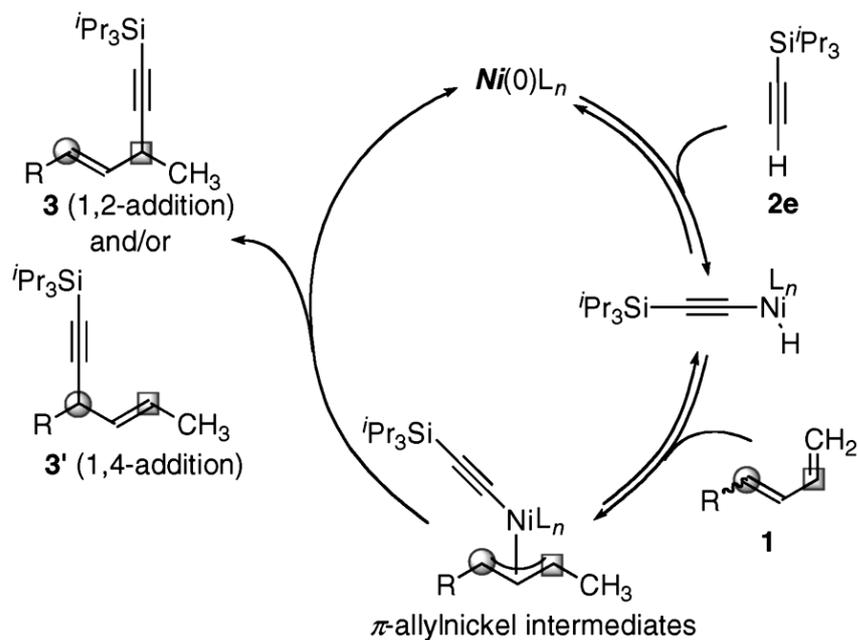
**Демонстрационный вариант контрольной работы №3**

Нарисуйте продукт реакции лигандного замещения. Какой механизм вы предполагаете: ассоциативный или диссоциативный? Почему?

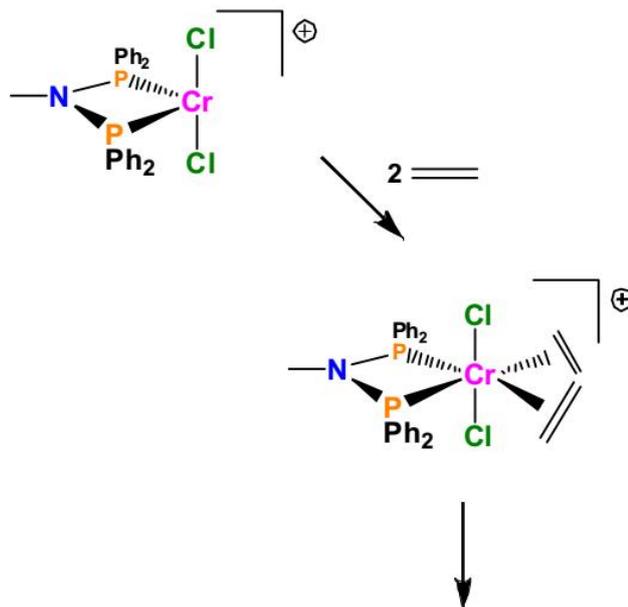


## Демонстрационный вариант контрольной работы №4

Назовите стадии каталитического цикла, предложенного авторами статьи



Предложите механизм тримеризации этилена на хромовом катализаторе:



## ВОПРОСЫ ДЛЯ СОБЕСЕДОВАНИЯ

1. Предмет металлоорганической химии. Условность разделения на металло- и элементоорганическую химию, разделы, рассматриваемые в данном курсе. Краткая история развития металлоорганической химии - основные события и люди. Правило 18(8) электронов и его применение при прогнозировании устойчивости и реакционной способности МС.
2. Классификация металлоорганических соединений переходных металлов по типу лигандов, координированных с металлом. Соединения переходных металлов с основаниями Льюиса: М-Х, М-О, М-S, М-N.
3. Основные типы карбонил металлов. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-карбонил. Практическое применение карбонил металлов.
4. Соединения переходных металлов с фосфорорганическими соединениями. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-фосфор.
5. Гидридные комплексы переходных металлов. Соединения с водородным атомом: моно-, би- и полиядерные. Соединения с терминальным и мостиковым атомами водорода. Соединения с молекулярным водородом: синтез, строение, свойства. Характер связи металл-водород, ее поляридность, возможность диссоциации. Взаимные превращения водородных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль водородных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.
6. Связь металл - углерод как основной отличительный элемент металло-органических соединений: степень ионности и ковалентности связей С-М. Методы синтеза, строение и реакции. Взаимные превращения алкильных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль алкильных и арильных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.
7. Карбеновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбеновые комплексы Фишера. Карбеновые комплексы Шрока. Методы синтеза карбеновых комплексов Фишера (по Фишеру, по Лэпперту). Реакции карбеновых комплексов Фишера, депротонирование связей С-Н. Роль карбеновых комплексов в катализе (метатезис олефинов). Использование в тонком органическом синтезе. Карбиновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбиновые комплексы Фишера. Карбиновые комплексы Шрока. Синтез карбиновых комплексов действием кислот Льюиса на карбеновые комплексы Фишера. Роль карбиновых комплексов в катализе: метатезис и полимеризация алкинов. Комплексы переходных металлов.
8. Типы комплексов с линейными и циклическими моно- и полиолефинами. Методы получения, строение, свойства. Природа связи олефина с металлом. Роль олефиновых комплексов в катализе. Ацетиленовые комплексы. Типы ацетиленовых комплексов. Методы получения, строение, свойства. Моно- и биметаллические комплексы. Аллильные комплексы.
9. Типы аллильные комплексы. Методы синтеза, строение, реакции. Роль в катализе.
10. Циклопентадиенильные комплексы. Типы комплексов. Строение. Металлоцены: ферроцен, никелецен, кобальтоцен. Синтез. Реакционная способность Циклопентадиенильные производные титана и циркония. Типы комплексов. Ареновые комплексы. Типы ареновых комплексов. Методы получения и реакции.
11. Методы синтеза и реакции образования моно- и полиядерных МС Основные свойства связи М-М.
12. Лигандное замещение. Окислительное присоединения и восстановительное элиминирование.
13. Внутримолекулярное внедрение и элиминирования. Атака по координированным лигандам.
14. Окислительное присоединение галогенуглеводородов: «прямой» синтез из металла и галогенуглеводорода; «смешаннометаллический» синтез - из галогенуглеводорода и смеси металла-восстановителя с металлом, окисление галогенуглеводородами металлов в промежуточной степени окисления.
15. Трансметаллирование. Обмен металлов. Метатезис (нуклеофильное замещение галогена на R). Замещение галогена на металл в реакции арилгалогенидов с алкиллитием. Другие методы.
16. Металлоорганические соединения в катализе, материаловедении.
17. ЯМР-спектроскопия в исследовании строения и реакционной способности МС. Масс-спектрометрия. Области применения в химии МС. Метод рентгеноструктурного анализа (РСА). Области применения в химии МС: установление строения молекул и кристаллов, исследование природы химических связей.

Промежуточная аттестация (*зачет*) может проводиться в форме устного собеседования или в виде тестовых заданий с открытыми вопросами.

## ПРИМЕРНЫЙ ПЕРЕЧЕНЬ ВОПРОСОВ И ЗАДАНИЙ К ЗАЧЕТУ

1. Предмет металлоорганической химии. Условность разделения на металло- и элементоорганическую химию, разделы, рассматриваемые в данном курсе. Краткая история развития металлоорганической химии - основные события и люди. Правило 18(8) электронов и его применение при прогнозировании устойчивости и реакционной способности МС.
2. Классификация металлоорганических соединений переходных металлов по типу лигандов, координированных с металлом. Соединения переходных металлов с основаниями Льюиса: М-Х, М-О, М-S, М-N.
3. Основные типы карбониллов металлов. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-карбонил. Практическое применение карбониллов металлов.
4. Соединения переходных металлов с фосфорорганическими соединениями. Методы синтеза, строение и реакции. Природа связи металл-фосфор.
5. Гидридные комплексы переходных металлов. Соединения с водородным атомом: моно-, би- и полиядерные. Соединения с терминальным и мостиковым атомами водорода. Соединения с молекулярным водородом: синтез, строение, свойства. Характер связи металл-водород, ее полярность, возможность диссоциации. Взаимные превращения водородных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль водородных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.
6. Связь металл - углерод как основной отличительный элемент металло-органических соединений: степень ионности и ковалентности связей С-М. Методы синтеза, строение и реакции. Взаимные превращения алкильных комплексов и органических соединений переходных металлов. Роль алкильных и арилильных комплексов в металлоорганическом синтезе и катализе.
7. Карбеновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбеновые комплексы Фишера. Карбеновые комплексы Шрока. Методы синтеза карбеновых комплексов Фишера (по Фишеру, по Лэпперту). Реакции карбеновых комплексов Фишера, депротонирование связей С-Н. Роль карбеновых комплексов в катализе (метатезис олефинов). Использование в тонком органическом синтезе. Карбиновые комплексы переходных металлов. Электронное строение. Карбиновые комплексы Фишера. Карбиновые комплексы Шрока. Синтез карбиновых комплексов действием кислот Льюиса на карбеновые комплексы Фишера. Роль карбиновых комплексов в катализе: метатезис и полимеризация алкинов. Комплексы переходных металлов.
8. Типы комплексов с линейными и циклическими моно- и полиолефинами. Методы получения, строение, свойства. Природа связи олефина с металлом. Роль олефиновых комплексов в катализе. Ацепиленовые комплексы. Типы ацепиленовых комплексов. Методы получения, строение, свойства. Моно- и биметаллические комплексы. Аллильные комплексы.
9. Типы аллильные комплексы. Методы синтеза, строение, реакции. Роль в катализе.
10. Циклопентадиенильные комплексы. Типы комплексов. Строение. Металлоцены: ферроцен, никелецен, кобальтоцен. Синтез. Реакционная способность Циклопентадиенильные производные титана и циркония. Типы комплексов. Ареновые комплексы. Типы ареновых комплексов. Методы получения и реакции.
11. Методы синтеза и реакции образования моно- и полиядерных МС Основные свойства связи М-М.
12. Лигандное замещение. Окислительное присоединения и восстановительное элиминирование.
13. Внутримолекулярное внедрение и элиминирования. Атака по координированным лигандам.

14. Окислительное присоединение галогенуглеводородов: «прямой» синтез из металла и галогенуглеводорода; «смешаннометаллический» синтез - из галогенуглеводорода и смеси металла-восстановителя с металлом, окисление галогенуглеводородами металлов в промежуточной степени окисления.
15. Трансметаллирование. Обмен металлов. Метатезис (нуклеофильное замещение галогена на R). Замещение галогена на металл в реакции арилгалогенидов с алкиллитием. Другие методы.
16. Металлоорганические соединения в катализе, материаловедении.
17. ЯМР-спектроскопия в исследовании строения и реакционной способности МС. Масс-спектрометрия. Области применения в химии МС. Метод рентгеноструктурного анализа (РСА). Области применения в химии МС: установление строения молекул и кристаллов, исследование природы химических связей.

### ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИЙ

Индикаторы достижения компетенции	Результаты обучения (знать, уметь, владеть)	Процедура оценивания
<p style="text-align: center;"><i>ПК-6.1</i></p> <p>Знает теоретические основы базовых химических дисциплин (неорганической, органической, аналитической, физической химии, химии высокомолекулярных соединений, химических основ биологических процессов.) и способы их использования при решении конкретных химических задач</p>	<p><b>Знает:</b> основы теоретического описания различных типов связи металл-углерод, закономерности устойчивости МС в зависимости от природы металла и лиганда, основные типы реакций МС и их связь с электронной конфигурацией, основные классы МС переходных металлов, лигандов, основные типы реакционной способности МС, основные методы синтеза соединений со связью металл-углерод</p>	<p>Собеседование. Выполнение контрольных работ.</p>
	<p><b>Умеет:</b> ориентироваться в современной металлоорганической химии переходных металлов на уровне понимания основных проблем, решаемых этой наукой, и основных областей и вариантов использования МС в смежных областях и промышленности; применять и использовать полученные знания при обсуждении экспериментальных данных</p>	<p>Собеседование. Выполнение контрольных работ.</p>
	<p><b>Владет:</b> понятийным аппаратом и теоретическими представлениями в области металлоорганической химии; представлениями о металлоорганических соединениях разных металлов, особенностях связей металл-углерод; представлениями о типах используемых лигандов в металлоорганической химии, основных реакция МС.</p>	<p>Собеседование. Выполнение контрольных работ.</p>

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ:**

1. Предусмотрено 4 практических задания в виде контрольных работ. Каждая контрольная работа оценивается максимум на 20 баллов.
2. Предусмотрено 1 собеседование по теоретическому материалу в виде дискуссии по прочитанной студентом статье. Оценивается максимум на 10 баллов.

### **Зачтено:**

в целом, сформированные знания предмета, умение применять методы и подходы изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач с минимальным количеством ошибок не принципиального характера, наличие навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных и практических задач.

### **Не зачтено:**

фрагментарное знание предмета, отсутствие умений и навыков применения методов и подходов изучаемой дисциплины при решении учебных задач.

### **Разработчики:**



профессор Д.С. Суслов

Программа составлена в соответствии с требованиями ФГОС ВО и учетом рекомендаций ПООП по направлению и профилю подготовки 04.03.01 – «Химия».

Программа рассмотрена на заседании кафедры физической и коллоидной химии «26» мая 2022 г.

Протокол №7

И.о.зав. кафедрой



/ Л.Б. Белых /

*Настоящая программа, не может быть воспроизведена ни в какой форме без предварительного письменного разрешения кафедры-разработчика программы.*