

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический  
университет»  
(НХТИ ФГБОУ ВО «КНИТУ»)



УТВЕРЖДАЮ

Заместитель директора по УР

Н.И. Никифорова

« 16 » 04 2021 г.

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

по дисциплине (модулю)

**Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке**  
(наименование дисциплины)

**18.03.01 «Химическая технология»**  
(код и наименование направления подготовки)

**«Химическая технология органических веществ»**  
(профиль подготовки)

**бакалавр**  
квалификация

**очная, очно-заочная, заочная**  
форма обучения

Нижекамск, 2021 г.





Составитель ФОС:

доцент кафедры Нефтехимического синтеза  
(должность)

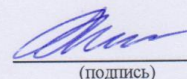


(подпись)

С.В. Вдовина  
(Ф.И.О)

ФОС рассмотрен и одобрен на заседании кафедры Нефтехимического синтеза,  
протокол от 24 марта 2021 г. № 8

Зав. кафедрой



(подпись)

Т.Б. Минигалиев  
(Ф.И.О)

Эксперт:

Ответственный за ООП, разработчик

Новожилова А.И., доцент кафедры Нефтехимического синтеза НХТИ  
ФГБОУ ВО «КНИТУ»  
Ф.И.О., должность, организация, подпись



**Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием этапов формирования в процессе освоения дисциплины**

**Компетенция:**

ПК-1 Способен к обеспечению выработки компонентов и приготовление товарной продукции.

**Индикаторы достижения компетенции:**

1.1 Знает технологию производства товарной продукции; основное оборудование процесса, принципы его работы и правила технической эксплуатации; технические требования, предъявляемые к сырью, материалам, катализаторам, готовой товарной продукции.

1.2 Умеет осуществлять оперативное руководство работой производственного подразделения и организовывать работу подчиненного персонала на выполнение производственной программы и качества товарной продукции; проводить сверку сходимости баланса потребляемого сырья и выработки товарной продукции; рассчитывать планируемую потребность присадок, реагентов, катализаторов, материалов для выполнения производственных заданий на планируемый период с указанием срока поставки.

1.3 Владеет навыками руководства деятельностью технологического участка и подчиненным персоналом; контроля соблюдения технологических параметров в пределах, утвержденных технологическим регламентом; применения мер по устранению причин, вызывающих отклонение от норм технологического регламента; подготовки предложений по разработке мероприятий по совершенствованию технологических процессов, повышающих качество товарной продукции.

<b>Индикаторы достижения компетенции</b>	<b>Этапы формирования в процессе освоения дисциплины</b>				<b>Наименование оценочного средства</b>
	<b>Лекции</b>	<b>Практические занятия, лабораторный практикум</b>	<b>Лабораторные занятия</b>	<b>Курсовой проект (работа)</b>	
ПК-1.1	Темы 1-18	Не предусмотрены	Темы 1-18	Не предусмотрены	Лабораторные работы, коллоквиумы, контрольные работы, зачет с оценкой, экзамен
ПК-1.2	Темы 1-18	Не предусмотрены	Темы 1-18	Не предусмотрены	
ПК-1.3	Темы 1-18	Не предусмотрены	Темы 1-18	Не предусмотрены	

**Перечень оценочных средств по дисциплине (модулю)**

**для очной (5 семестр) и очно-заочной (6 семестр) форм обучения**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	4	10	15
Коллоквиум	1	20	40
Итого:		60	100

**для очной (6 семестр) и очно-заочной (7 семестр) форм обучения**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	4	6	10
Коллоквиум	1	12	20
Экзамен	1	24	40
Итого:		60	100

**для заочной (7 семестр) и заочной на базе ВО (5 семестр) форм обучения**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	2	15	25
Контрольная работа	1	30	50
Итого:		60	100

**для заочной (8 семестр) и заочной на базе ВО (6 семестр) форм обучения**

<b>Оценочные средства</b>	<b>Кол-во</b>	<b>Min, баллов</b>	<b>Max, баллов</b>
Лабораторная работа	4	6	10
Контрольная работа	1	12	20
Экзамен	1	24	40
Итого:		60	100

### *Шкала оценивания*

Цифровое выражение	Выражение в баллах:	Словесное выражение	Критерии оценки индикаторов достижения при форме контроля:	
			экзамен / зачет с оценкой	зачет
5	87 - 100	Отлично (зачтено)	Оценка «отлично» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов; исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно излагает материал; свободно справляется с задачами, вопросами и другими видами применения знаний; использует в ответе дополнительный материал все предусмотренные программой задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному; анализирует полученные результаты; проявляет самостоятельность при выполнении заданий	Оценка «зачтено» выставляется студенту, если ответы на вопросы по темам дисциплины последовательны, логически изложены, допускаются незначительные недочеты в ответе студента, такие как отсутствие самостоятельного вывода, речевые ошибки и пр
4	74 - 86	Хорошо (зачтено)	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено полностью, необходимые практические компетенции в основном сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения достаточно высокое. Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.	
3	60 - 73	Удовлетворительно (зачтено)	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, большинство предусмотренных программой заданий выполнено, но в них имеются ошибки, при ответе на поставленный вопрос студент допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, наблюдаются нарушения логической последовательности в изложении программного материала.	
2	Ниже 60	Неудовлетворительно (не зачтено)	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если он не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы, необходимые практические компетенции не сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнено, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к минимальному	Оценка «не зачтено» выставляется студенту, если студент не знает основных понятий темы дисциплины, не отвечает на дополнительные и наводящие вопросы преподавателя.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Факультет технологический  
Кафедра НХС

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 –Химическая технология  
(код и наименование)

Профиль/специализация: «Химическая технология органических веществ»,  
(наименование)

Семестр 6 (очная, заочная на базе ВО), 7 (очно-заочная), 8 (заочная)

**Вопросы для подготовки к экзамену**

по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке  
(наименование дисциплины)

1. Понятие о катализе и катализаторах;
  2. Гомогенные и гетерогенные системы;
  3. Интенсивность и активность катализатора;
  4. Селективность катализатора;
  5. Требования, предъявляемые к катализатору (состав катализатора, примесей; частота катализатора; механические свойства катализатора; механические характеристики; требования к термической стабильности; требования к размерам гранул и форме гранул катализатора; теплопроводность катализатора; срок службы катализатора);
  6. Текстульные характеристики катализатора (величина поверхности, объём пор, форма и размер пор, распределение пор по размерам);
  7. Методы приготовления гетерогенных катализаторов;
  8. Производство осаждённых катализаторов (достоинства метода, недостатки метода, общая схема получения);
  9. Получение силикагеля – носителя катализаторов;
  10. Производство активного оксида алюминия;
  11. Цеолиты, типы цеолитов, классификация цеолитов, промышленные способы их получения;
  12. Получение катализаторов нанесением активного компонента на носитель;
  13. Методы приготовления катализаторов основанные на механическом смешении компонентов, сухой и мокрый метод смешения;
  14. Методы приготовления плавящихся и скелетных каталитических систем;
- Понятие о катализе и катализаторах.
15. Каталитические яды. Отравление катализаторов.
  16. Производство катализаторов крекинга.
  17. Катализаторы гидроочистки нефтяных фракций.
  18. Катализаторы гидрирования и дегидрирования.
  19. Катализаторы для производства синтез-газа. Производство алюмоникелевого катализатора.
  20. Катализаторы окисления. Производство серебряного катализатора.
  21. Катализаторы риформинга углеводородов. Технология приготовления катализатора риформинга.
  22. Охрана труда и техника безопасности работы на катализаторных фабриках.
  23. Оборудование катализаторных производств. Реакторы для жидкофазных процессов.
  24. Оборудование катализаторных производств. Аппараты для сгущения и разделения суспензий.
  25. Оборудование катализаторных производств. Оборудование для сушки и термообработки.
  26. Оборудование катализаторных производств. Машины для проведения механических процессов.
  27. Катализ органометаллосилоксанами и их производство.
  28. Методы исследования катализаторов. Исследование структуры.

Набор утвержденных экзаменационных билетов хранится на кафедре. Каждый экзаменационный билет содержит два теоретических вопроса Максимальное количество баллов, которое студент может получить за экзамен – 40, из них за ответ на один теоретический вопрос – 20. Минимальное количество баллов за экзамен – 0 .

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Факультет технологический  
Кафедра НХС

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 –Химическая технология  
(код и наименование)

Профиль/специализация: «Химическая технология органических веществ»,  
(наименование)

Семестр 5,6 (очная, заочная на базе ВО), 6,7 (очно-заочная), 7,8 (заочная)

Учебным планом по направлению подготовки 18.03.01 –Химическая технология для обучающихся предусмотрено проведение лабораторных занятий по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке.

Лабораторные занятия по дисциплине проводятся в специально оборудованных лабораториях с применением необходимых средств обучения: лабораторного оборудования, образцов для исследований, методических пособий.

Цель проведения лабораторных работ - практическое освоение теоретических положений лекционного материала, а также выработка студентами определенных умений и навыков самостоятельного экспериментирования.

**Комплект лабораторных работ**

по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке  
(наименование дисциплины)

**Семестр: 5 (очная, заочная на базе ВО), 6 (очно-заочная), 7 (заочная)**

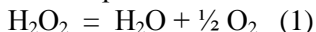
**Лабораторная работа № 1**

**КАТАЛИТИЧЕСКОЕ РАЗЛОЖЕНИЕ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА**

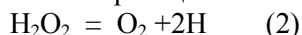
*Цель работы:* определить скорость разложения перекиси водорода заданной концентрации в присутствии гомогенного и гетерогенного катализатора.

*Краткая теория*

Применение перекиси водорода во многих технологических процессах, медицине и других областях основывается на её окислительных свойствах. Наиболее характерный для перекиси водорода экзотермический распад в кислой среде может быть представлен уравнением:



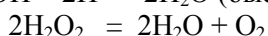
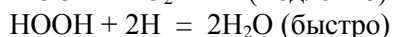
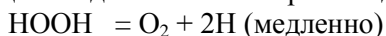
Реже только под действием некоторых сильных окислителей перекись водорода проявляет свойства восстановителя согласно уравнению реакции:



Окислительная функция более отчетливо выражена у перекиси водорода в кислой среде, восстановителя – в щелочной.

Распад по схеме (1) идёт со значительной скоростью в присутствии веществ, способных окисляться выделяющимся кислородом. Ускоряющее действие на разложение перекиси водорода оказывают также твердые катализаторы (стекло, многие металлы, в частности платина, соли и окислы металлов, уголь и т.п.). На течение каталитической реакции разложения перекиси водорода влияют состояние поверхности катализатора, pH среды и каталитические яды. Сильными ядами при разложении перекиси водорода на платине являются: Cs, C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH, I<sub>2</sub>, P, CO, PH<sub>3</sub>, AsH<sub>3</sub>, Na<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>.

Согласно схеме предложенной немецким ученым Виландом, разложение перекиси водорода протекает через следующие медленные и быстрые стадии:



Суммарная скорость реакции определяется первой стадией, и поэтому реакция идёт по

первому порядку. Предполагается, что стадия адсорбции – десорбции происходит весьма быстро и не лимитирует процесс. Скорость разложения перекиси водорода в значительной степени зависит от концентрации раствора. Это обусловлено каталитическим действием воды.

#### *Экспериментальная часть*

**Реактивы:** перекись водорода 30%; калий марганцовокислый (перманганат); уголь марки БАУ; окись меди (II); окись цинка; дистиллированная вода.

**Приборы:** бюретка газовая; колбы конические, вместимостью 100 см<sup>3</sup>; цилиндры мерные, вместимостью 50 см<sup>3</sup>; пипетки градуированные, вместимостью 1, 2, 5 и 10 см<sup>3</sup>; секундомер; термометр стеклянный лабораторный с диапазоном измерения от 0 °С до 100 °С, цена деления 1 °С.

#### *Проведение эксперимента.*

1-ая серия опытов. В работе измеряют скорость разложения перекиси водорода заданной концентрации в присутствии катализаторов. Для этой цели применяют газометрический способ, который позволяет определить с достаточной точностью среднюю скорость за короткие промежутки времени и, таким образом, строить кривые изменения скорости реакции во времени.

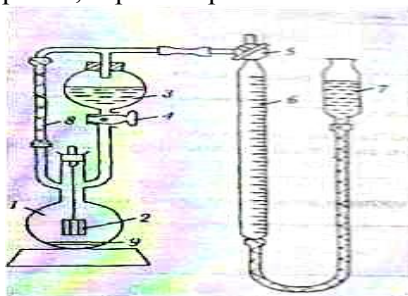


Рисунок 1 – Установка каталитического разложения перекиси водорода

1 – реакционный сосуд; 2 – образец катализатора; 3 – сосуд для раствора перекиси; 4 – проходной кран; 5 – трехходовой кран; 6 – газовая бюретка;

7 – уравнивательная склянка; 8 – соединительная трубка; 9 – магнитная мешалка

Количество разложившейся к данному моменту перекиси водорода определяют по объему выделившегося кислорода. Схема прибора для измерения скорости разложения перекиси водорода представлена на рисунке 1.

Перед началом опыта высушенный реакционный сосуд 1, с помещенной в него навеской катализатора, и воронку 3 соединяют в соответствии со схемой и проверяют герметичность системы. Для этого приводят давление внутри системы к атмосферному, уравнивая на произвольной высоте жидкость в бюретке 6 и уравнивательной склянке 7, несколько раз поворачивают кран 5, поднимают склянку 7, чтобы заполнить бюретку затворной жидкостью (водой) доверху, после чего сообщают бюретку с реактором и опускают склянку приблизительно на четверть высоты бюретки. Если обеспечена достаточная герметичность, установившийся уровень затворной жидкости в бюретке не должен смещаться в течение нескольких минут.

Для приготовления исследуемого раствора отмеряют пипеткой или микробюреткой заданный преподавателем объем исходного раствора  $H_2O_2$  и разбавляют дистиллированной водой, добавляют раствор  $KMnO_4$  в заданном преподавателем объеме и закрывают крышкой. После тщательно перемешивают и отбирают для анализа градуированной пипеткой 10 мл приготовленного раствора.

По мере понижения уровня жидкости в бюретке уравнивательную склянку опускают так, чтобы на протяжении всего опыта разность уровней в бюретке и уравнивательной склянке была минимальной.

В момент ввода  $KMnO_4$  включаем секундомер. Значение объема выделяющегося кислорода следует регистрировать постоянно вместе со временем, начиная с ввода  $KMnO_4$  в реактор. В ходе 1 опыта делают 15-20 замеров. Опыт следует заканчивать, когда объем выделившегося кислорода составит более 70-75% от общего объема, который может выделяться при полном разложении перекиси.

2-ая серия опытов. Вторая серия опытов проводится аналогично первой, вместо гомогенного катализатора перманганата калия в реакционную смесь помещается гетерогенный катализатор. В качестве гетерогенного катализатора предлагается провести проверку на активность в реакции разложения перекиси водорода трёх образцов: уголь марки БАУ (кристаллы), окись меди (II) (стружка), окись цинка (порошок).

3-я серия опытов. Третья серия опытов проводится аналогично первой, к гомогенному

катализатору перманганату калия добавляются промоторы, т.е. вещества которые способны повысить или понизить активность катализатора на несколько порядков. В качестве промоторов катализатора предлагается провести проверку с добавлением уксусной кислоты объемами (0,025; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25 мл) и с добавлением изопропилового спирта объемами (0,2; 0,5; 1; 1,5; 2 мл).

#### Обработка экспериментальных данных

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести расчёты и построить график изменения скорости разложения перекиси водорода во времени.

Для каждой серии опытов построить график зависимости выделившегося объема кислорода от времен (рисунок 2).

Для каждой кривой графически найти эффективную скорость реакции, проведя касательную к кинетической кривой (рисунок 3); эффективная скорость реакции в данный момент времени равна по абсолютной величине тангенсу угла наклона касательной (3):

$$V_{\text{ист}} = \pm \frac{dC}{dt} = \pm \operatorname{tg} \alpha \quad (3)$$

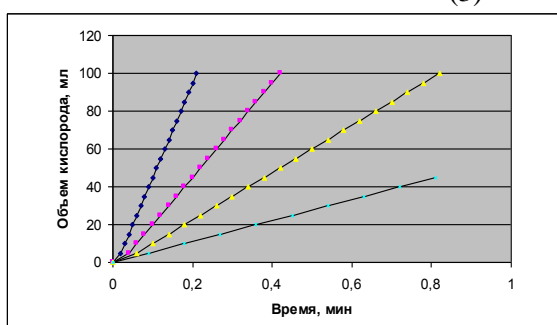


Рисунок 2 – График зависимости выделившегося объема кислорода (мл) от времени (мин)

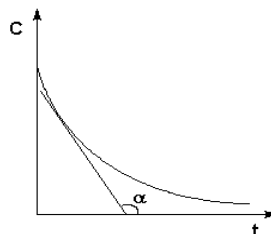


Рисунок 3 – График зависимости концентрации от времени для определения эффективной скорости реакции

Найти концентрацию перекиси водорода в приготовленном растворе по следующей формуле (4):

$$C_{H_2O_2} = \frac{V_{H_2O_2} \cdot \rho_{H_2O_2}}{M_{H_2O_2}} \quad (4)$$

Построить график зависимости скорости разложения перекиси водорода от концентрации для определения порядка реакции.

#### Статистическая обработка результатов эксперимента

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести статическую обработку результатов эксперимента.

Рассчитать среднеарифметическое значение результатов эксперимента:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n}, \quad \text{где } n - \text{число экспериментов}$$

Рассчитать отклонение от среднего значения ( $C_i - \bar{C}$ )

Рассчитать квадрат отклонения от среднего значения ( $C_i - \bar{C}$ )<sup>2</sup>

Рассчитать сумму квадратов отклонения от среднего значения:  $\sum (C_i - \bar{C})^2$

Рассчитать стандартное отклонение единичного результата от среднеарифметического значения:

$$S_C = \sqrt{\frac{\sum (C_i - \bar{C})^2}{n(n-1)}}$$

$$C = \bar{C} \pm S_C * t_{p,n}$$

Рассчитать доверительный интервал определяемой величины:

где  $t_{p,n}$  - коэффициент Стьюдента. Его значение находят из таблицы 2, задаваясь доверительной

вероятностью Р.

Таблица 2 – Значения коэффициента Стьюдента  $t_{p,n}$

	$t_{p,n}$								
$P$	$n=2$	$n=3$	$n=4$	$n=5$	$n=6$	$n=7$	$n=8$	$n=9$	$n=10$
0,90	6,31	2,92	2,35	2,13	2,01	1,87	1,89	1,83	1,81
0,95	12,7	4,30	3,18	2,78	2,57	2,45	2,31	2,26	2,23

**Выводы.** В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо перечислить основные итоги проделанной работы.

1-ой подгруппе студентов необходимо пояснить, каким образом гомогенный катализатор, в частности перманганат калия, влияет на скорость разложения перекиси водорода.

2-ой подгруппе студентов необходимо пояснить, какой из использованных ими образцов гетерогенного катализатора является наиболее активным в реакции разложения перекиси водорода и, каким образом структура и поверхность катализатора оказывают влияние на протекание реакции.

3-ей подгруппе студентов необходимо пояснить влияние промоторов (уксусной кислоты и изопропилового спирта) на действие гомогенного катализатора.

## Лабораторная работа № 2

### СРАВНЕНИЕ СИНТЕЗА ГОМОГЕННОГО И ГЕТЕРОГЕННОГО КАТАЛИЗАТОРА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСТВОРЕННОГО И ОБЩЕГО МОЛИБДЕНА

#### Цели работы:

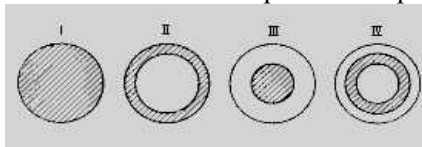
1. изучить методику получения комплексного молибденового катализатора;
2. проверить принципиальную возможность извлечения растворенного молибдена сорбцией его активированным углем из растворов, полученных растворением порошкообразного металлического молибдена в воде, содержащей перекись водорода;
3. проверить влияние на сорбцию начального содержания молибдена.

#### Краткая теория

Преимуществами методов приготовления катализаторов, основанных на нанесении активного компонента на носитель, являются эффективное использование активного компонента вследствие его высокой дисперсности, меньшее количество вредных отходов и др. В зависимости от механизма взаимодействия нанесенные катализаторы можно разделить на два больших класса, которые в дальнейшем будем называть "сорбционными" и "пропиточными". В случае сорбционных катализаторов в процессе приготовления имеет место взаимодействие между носителем и исходным веществом, адсорбирующимся на поверхности. В случае пропиточных катализаторов такое взаимодействие практически отсутствует, и исходное соединение активного компонента находится в растворенном состоянии в порах носителя.

При небольшом содержании активного компонента пористая структура нанесенного катализатора очень мало отличается от структуры носителя, поэтому для создания активных катализаторов очень важным является подбор носителя с оптимальной текстурой.

Характерным свойством нанесенных катализаторов является неравномерность распределения активного компонента по сечению гранулы. На рисунке 4 представлено распределение активного компонента по грануле катализатора. Принято деление нанесенных катализаторов на четыре основных типа: I - с равномерным распределением; II - "корочковый", у которых активный компонент сосредоточен у периферии гранул; III - активный компонент сосредоточен в центре гранулы (так называемый "яичный желток"); IV - активный компонент расположен в средней области, удаленной как от центра, так и от внешней поверхности зерна катализатора.



#### Рисунок 4 – Распределение активного компонента по грануле катализатора

Метод нанесения используется и для получения катализаторов более сложного состава, активный компонент которых включает два или более элементов.

Несмотря на разнообразие химического состава, для нанесенных металлооксидных катализаторов можно выделить основные особенности, обусловленные методом нанесения активного компонента: для сорбционного способа характерны высокая, близкая к атомарным, дисперсность частиц активного компонента, сохраняющаяся в широком диапазоне его содержания, и повышенная термостойкость, в случае биеlementных катализаторов.

Катализаторы, полученные способом пропитки, высокодисперсны только при малом содержании активного компонента. К достоинствам пропиточного метода следует отнести его простоту и доступность исходных веществ, в основном нитратов и карбонатов. Однако следует указать и ряд недостатков: ограничения по концентрации активного компонента, обусловленные растворимостью исходного вещества и объемом пор носителя; возможность неравномерного распределения активного компонента по сечению гранулы вследствие выноса в процессе сушки части раствора на периферию зерна и т.д.

От указанных недостатков свободны сорбционные методы благодаря образованию химической связи между адсорбируемым веществом и функциональными группами носителя. Ограничения метода связаны, прежде всего, с недостаточным ассортиментом соединений, обладающих необходимой растворимостью и способных осаждаться на поверхности носителей.

#### *Экспериментальная часть*

**Реактивы:** перекись водорода 30%; изопропиловый спирт; молибден; гидроксид натрия; соляная кислота; сульфат гидразина; серная кислота; N – фенилантраниловая кислота готовят растворением 0,20 гр препарата в 100 см<sup>3</sup> раствора углекислого натрия; аммоний метаванадат (ванадиевокислый мета); таблетки активированного угля; вода дистиллированная; калий двуххромовокислый (дихромат калия).

**Приборы:** колбы конические, вместимостью 100 см<sup>3</sup>; цилиндры мерные, вместимостью 50 см<sup>3</sup>; пипетки градуированные, вместимостью 1, 2, 5 и 10 см<sup>3</sup>; бюретка; весы лабораторные специального класса точности с наибольшим пределом взвешивания 200 г; секундомер; плитка электрическая; баня водяная; термометр стеклянный лабораторный с диапазоном измерения от 0 °C до 100 °C, цена деления 1 °C; капельница.

#### *Приготовление вспомогательных реактивов*

Приготовление раствора метаванадата аммония с молярной концентрацией  $C(\text{NH}_4\text{VO}_3)=0,01$  моль/дм<sup>3</sup>; 0,025 моль/дм<sup>3</sup> Готовят разбавлением раствора с молярной концентрацией  $C(\text{NH}_4\text{VO}_3)=0,01$  моль/дм<sup>3</sup>: в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> пипеткой вносят 10 см<sup>3</sup> или 25 см<sup>3</sup> крепкого раствора, соответственно, приливают при перемешивании 15 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,83$  г/см<sup>3</sup>), доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Приготовление раствора N-фенилантраниловой кислоты (0,10±0,01) г N-фенилантраниловой кислоты растворяют в 50 см<sup>3</sup> раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией  $C(\text{NaOH})=0,1$  моль/дм<sup>3</sup> при нагревании и перемешивании, затем полученный раствор разбавляют дистиллированной водой до 100 см<sup>3</sup>.

Приготовление раствора соляной кислоты  $C(\text{HCl})=2,0$  моль/дм<sup>3</sup> 86 см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,18$  г/см<sup>3</sup>), осторожно, при перемешивании вливают в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> с 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, после охлаждения доводят объем раствора дистиллированной водой до метки.

Приготовление раствора серной кислоты  $C(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)=16$  моль/дм<sup>3</sup> 229 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,83$  г/см<sup>3</sup>) осторожно, небольшими порциями, перемешивая, вливают в фарфоровую кружку с 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После охлаждения до комнатной температуры, раствор количественно переводят в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup>, доводят объем раствора дистиллированной водой до метки и перемешивают.

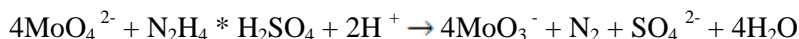
Приготовление раствора сульфата гидразина с массовой долей около 1,0% Растворяют (1,0±0,1) г сульфата гидразина в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Раствор применяют свежеприготовленным.

#### *Проведение эксперимента*

**1-ая серия опытов.** Для приготовления рабочего раствора в стакан на 50 мл отмерить 35,8 мл изопропилового спирта и 3,2 мл перекиси водорода. На аналитических весах отмерить навеску Мо в количестве 0,05 гр и добавить к раствору. Полученный раствор перемешивать в течении 15 минут до перехода от светло-черного оттенка до светло-зеленого. По истечению 15 минут

отобрать пробу по 0,5 мл в 3 маленькие колбы туда же поместить по 10 мл гидроксида натрия (1,0 моль/дм<sup>3</sup>). Приготовленные колбы поместить на плитку и нагревать в течение 10 минут, далее охладить их таким же образом в течение 10 минут. После проведения данных операций в каждую колбу отобрать по 25 мл соляной кислоты (2 моль/дм<sup>3</sup>) и по 5 мл сульфата гидрозина (1%). Далее полученную смесь в колбах таким же образом нагревать в течение 10 минут на водяной бане. После охлаждения в каждую колбу добавить по 20 мл раствора серной кислоты (16 моль/дм<sup>3</sup>).

Для проведения титриметрического метода анализа к полученным растворам добавить несколько капель индикатора (N-фенилантраниловая кислота). Титрование реакционной смеси проводить раствором метаванадата аммония до появления светло-розового оттенка. При этом протекают следующие реакции:



**2-ая серия опытов.** По истечению 45 минут из рабочего раствора отобрать пробу по 0,5 мл в две маленькие колбы туда же поместить по 10 мл гидроксида натрия (1,0 моль/дм<sup>3</sup>). Методику по определению растворенного и общего молибдена провести таким же образом, как и в первой серии опытов. Результаты титрования по двум сериям опытов свести в таблицу.

**3-я серия опытов.** Приготовленный комплексный молибденовый катализатор (КМК) необходимо нанести на носитель. В нашем случае в качестве носителя будет служить активированный уголь. Для этого в стакан объемом 50 мл помещается приготовленный КМК, вводится активированный уголь и отмечается время начала опыта. Через каждые 30 минут от начала опыта отбирается проба на анализ из верхней части раствора, которая является наиболее чистой. Далее проводится анализ на определение растворенного и общего молибдена таким же образом, как и в первых двух сериях опыта. Результаты титрования сводятся в таблицу.

#### *Обработка экспериментальных данных*

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести расчёты массовой доли растворенного и общего молибдена (X,%), построить график зависимости массовой доли растворенного и общего молибдена от времени.

1. Для каждой серии опытов рассчитать массовую долю растворенного и общего молибдена (X,%) по следующей формуле (5):

$$X = \frac{(V_p - V_x) \cdot C \cdot K \cdot 96 \cdot 100}{m \cdot 1000}$$

где  $V_p$ ,  $V_x$  – объемы раствора метаванадата аммония, пошедшие на титрование в рабочем и холостом опытах, соответственно, см<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация раствора метаванадата аммония, моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к концентрации раствора метаванадата аммония; ( $K=1$ )

96 – молярная масса эквивалента молибдена, г/моль;

$m$  – масса пробы, взятая на анализ, гр.

2. Для каждой серии опытов построить график зависимости времени от массовой доли растворенного и общего молибдена (X,%).

#### *Статистическая обработка результатов эксперимента*

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести статическую обработку результатов эксперимента.

1. Рассчитать среднеарифметическое значение результатов эксперимента:  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ , где  $n$  – число экспериментов.

2. Рассчитать отклонение от среднего значения:  $(x_i - \bar{x})$

3. Рассчитать квадрат отклонения от среднего значения:  $(x_i - \bar{x})^2$

4. Рассчитать сумму квадратов отклонения от среднего значения:  $\sum (x_i - \bar{x})^2$

5. Рассчитать стандартное отклонение единичного результата от среднеарифметического значения:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

6. Рассчитать доверительный интервал определяемой величины:  $x = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} * t_{p,n}$

где  $t_{p,n}$  - коэффициент Стьюдента. Его значение находят из таблицы 2, задаваясь доверительной вероятностью Р.

**Выводы.** В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо перечислить основные итоги проделанной работы. Показать, что происходит с приготовленным комплексным молибденовым катализатором при нанесении его на носитель (увеличивается или уменьшается массовая доля растворенного и общего молибдена с течением времени).

### Лабораторная работа № 3

#### ПРИГОТОВЛЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО МОЛИБДЕНОВОГО КАТАЛИЗАТОРА МЕТОДОМ ЭПОКСИДИРОВАНИЯ И ПРОВЕРКА ЕГО АКТИВНОСТИ

Цели работы:

1. изучить методику получения комплексного молибденового катализатора методом эпоксидирования;
2. приготовленный комплексный молибденовый катализатор проверить на активность в октене - 1.

#### Краткая теория

Катализаторы должны обладать высокой производительностью. Производительность катализатора обуславливает размеры промышленных реакторов, их объём или количество. Производительность катализатора включает в себя два основных параметра: интенсивность I и активность А катализатора. Наиболее существенной характеристикой любого катализатора является его активность в определенном каталитическом процессе. Выбор методики исследования активности связан с особенностями реакций, условиями эксперимента.

Мерой каталитической активности может служить скорость протекания реакции в исследуемом направлении в присутствии катализатора. Активность можно выражать так же снижением энергии активации при участии катализатора или отношением константы скорости данной реакции в присутствии катализатора к константе скорости этой же реакции без него, количеством полученного продукта с единицы катализатора в единицу времени.

При оценке активности контактных масс в производственных условиях обычно вычисляют скорость реакции по отношению к единице объема контакта по уравнениям

$$\frac{dG_n}{v \cdot d\tau} = k \Delta C \text{ или } - \frac{dG}{v \cdot d\tau} = k \Delta C \quad (1)$$

где  $G_n$  — количество полученного целевого продукта;  $G$  — количество основного вещества, превратившегося за время  $\tau$  в объеме катализатора  $v$ ;  $k$  — константа скорости каталитического процесса;  $\Delta C$  — движущая сила процесса, выражаемая произведением действующих концентраций исходных веществ и учитывающая тормозящее влияние продуктов реакции.

Оценку энергии активности катализатора можно производить из разности скоростей химической реакции в присутствии катализатора и без него, данную зависимость можно увидеть по формуле (2). При этом учитывают долю объема реакционного пространства занимаемого катализатором и доступного для реагентов.

$$A = v_{\text{кат}} - v_{\text{некат}} * (1 - V_{\text{кат}}) \quad (2)$$

где  $v_{\text{кат}}$  — скорость каталитической реакции;  $v_{\text{некат}}$  — скорость некаталитической реакции;  $V_{\text{кат}}$  — объём реакционного пространства, который занимает катализатор.

#### Экспериментальная часть

**Реактивы:** спирт этиловый ректификованный технический; гидроперекись этилбензола; молибден; гидроксид натрия; соляная кислота; сульфат гидразина; серная кислота; N – фенилантраниловая кислота готовят растворением 0,20 гр препарата в 100 см<sup>3</sup> раствора углекислого натрия; аммоний метаванадат (ванадиевокислый мета); вода дистиллированная; кислота уксусная ледяная; калия йодид; крахмал растворимый; натрий серноватисто – кислый (тиосульфат натрия) 5-водный; натрий хлористый (хлорид натрия); магний хлористый (хлорид магния); калия гидроксид; метиловый оранжевый; бромкрезоловый зеленый; метиловый красный; н-гексан.

**Приборы:** колбы конические, вместимостью 100 см<sup>3</sup>; цилиндры мерные, вместимостью 50 см<sup>3</sup>; пипетки градуированные, вместимостью 1, 2, 5 и 10 см<sup>3</sup>; бюретка; весы лабораторные специального класса точности с наибольшим пределом взвешивания 200 г, секундомер; делительная воронка; плитка электрическая; баня водяная; секундомер; делительная воронка; капельница; термометр стеклянный лабораторный с диапазоном измерения от 0 °С до 100 °С, цена

деления 1 °С.

#### *Приготовление вспомогательных реактивов*

Приготовление раствора метаванадата аммония с молярной концентрацией  $C(\text{NH}_4\text{VO}_3)=0,01$  моль/дм<sup>3</sup>; 0,025 моль/дм<sup>3</sup> Готовят разбавлением раствора с молярной концентрацией  $C(\text{NH}_4\text{VO}_3)=0,01$  моль/дм<sup>3</sup>: в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> пипеткой вносят 10 см<sup>3</sup> или 25 см<sup>3</sup> крепкого раствора, соответственно, приливают при перемешивании 15 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,83$  г/см<sup>3</sup>), доводят до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Приготовление раствора N-фенилантраниловой кислоты (0,10±0,01) г N-фенилантраниловой кислоты растворяют в 50 см<sup>3</sup> раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией  $C(\text{NaOH})=0,1$  моль/дм<sup>3</sup> при нагревании и перемешивании, затем полученный раствор разбавляют дистиллированной водой до 100 см<sup>3</sup>.

Приготовление раствора соляной кислоты  $C(\text{HCl})=2,0$  моль/дм<sup>3</sup> 86 см<sup>3</sup> концентрированной соляной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,18$  г/см<sup>3</sup>), осторожно, при перемешивании вливают в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup> с 300 см<sup>3</sup> дистиллированной воды, после охлаждения доводят объем раствора дистиллированной водой до метки.

Приготовление раствора серной кислоты  $C(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)=16$  моль/дм<sup>3</sup> 229 см<sup>3</sup> концентрированной серной кислоты ( $\rho_{20^\circ\text{C}}=1,83$  г/см<sup>3</sup>) осторожно, небольшими порциями, перемешивая, вливают в фарфоровую кружку с 200 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. После охлаждения до комнатной температуры, раствор количественно переводят в мерную колбу вместимостью 500 см<sup>3</sup>, доводят объем раствора дистиллированной водой до метки и перемешивают.

Приготовление раствора сульфата гидразина с массовой долей около 1,0% Растворяют (1,0±0,1) г сульфата гидразина в 100 см<sup>3</sup> дистиллированной воды. Раствор применяют свежеприготовленным.

Приготовление раствора йодида калия с массовой долей 50% (25,0±0,1) г йодида калия растворяют в 25 см<sup>3</sup> свежeproкипяченной дистиллированной воды и помещают в склянку из темного стекла. Раствор следует применять свежеприготовленным.

Приготовление растворов тиосульфата натрия с концентрацией  $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,05$  моль/дм<sup>3</sup> и 0,01 моль/дм<sup>3</sup> Для приготовления раствора тиосульфата натрия с концентрацией  $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,05$  моль/дм<sup>3</sup> методом разбавления в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносят пипеткой 50 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией  $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,1$  моль/дм<sup>3</sup>, доливают до метки дистиллированной водой и перемешивают. Для приготовления раствора тиосульфата натрия с концентрацией  $C(\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,01$  моль/дм<sup>3</sup> в мерную колбу вместимостью 100 см<sup>3</sup> вносят пипеткой 10 см<sup>3</sup> раствора тиосульфата натрия с молярной концентрацией 0,1 моль/дм<sup>3</sup>, доливают до метки дистиллированной водой и перемешивают.

Приготовление раствора гидроксида калия с молярной концентрацией  $C(\text{KOH})=0,5$  моль/дм<sup>3</sup> (28,0 ±0,1) г гидроксида калия растворяют в воде и доводят объем раствора дистиллированной водой до 1000 см<sup>3</sup>.

#### *Проведение эксперимента*

1-ая серия опытов. В качестве катализатора эпексидирования октена-1 используется приготовленный в лабораторных условиях растворенный молибден в этаноле и укрепленном оксидате.

Предварительно в термостат загрузить воду. В реактор приготовления комплексного молибденового катализатора загрузить 96%-ный раствор этанола в количестве равном 11,8 мл и укрепленный оксидат (гидроперекись этилбензола) в количестве равном 10,7 мл. Затем загрузить предварительно взвешенный на аналитических весах молибден в количестве 0,08 гр. Температура при приготовлении комплексного молибденового катализатора поддерживается равной 56 °С в течение 2 часов. В ходе опыта отбирается шесть проб для определения содержания остаточного молибдена с помощью методики «Определения растворенного и общего молибдена в продуктах производства стирола», а также содержание гидроперекиси с помощью методики «Определения концентрации пероксидных соединений». Установка синтеза комплексного молибденового катализатора представлена на рисунке 5.

2-ая серия опытов. Методика проверки укрепленных образцов гидроперекиси этилбензола и активности катализатора в реакции эпексидирования октена-1.

Полученный образец комплексного молибденового катализатора и раствора укрепленного оксидата необходимо проверить в реакции эпексидирования октена-1 гидроперексидом

этилбензола, содержащимся в укрепленном оксидате. Опыт проводится в термостатированном реакторе, объемом 30 мл, оборудованном обратным холодильником, термометром, магнитной мешалкой и пробоборборником. Температура в реакторе поддерживается равной  $96,5^{\circ}\text{C}$  с точностью  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  с помощью термостата.

В качестве эпоксилирующего агента использовали укрепленный оксидат этилбензола полученный при разгонке 10%-ного оксидата. В ходе опыта отбирается шесть проб для определения содержания остаточной гидроперекиси с помощью методики «Определения концентрации пероксидных соединений». По окончании опыта реакцию массу проанализировать на содержание эпоксигруппы с помощью методики «Определения массовой доли оксида нонена в эпоксидате».

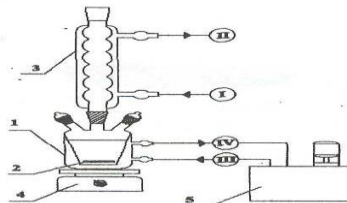


Рисунок Установка синтеза комплексного молибденового катализатора

где 1 – реактор; 2- магнитный размешиватель; 3 – обратный холодильник; 4 – магнитная мешалка; 5 – термостат; I – вода охлаждающая; II – вода обратная; III – вода горячая; IV – вода горячая обратная.

#### Методика «Выполнения измерений растворенного и общего молибдена в продуктах производства»

К навеске в колбе приливают цилиндром  $10\text{ см}^3$  раствора гидроксида натрия с молярной концентрацией  $C(\text{NaOH})=1\text{ моль/дм}^3$ , колбу закрывают воронкой, ставят на электроплитку, нагревают до кипения и кипятят в течение 10 мин. Содержимое колбы охлаждают при комнатной температуре в течение 10 мин.

К содержимому колбы приливают цилиндром  $25\text{ см}^3$  соляной кислоты с молярной концентрацией  $C(\text{HCl})=2\text{ моль/дм}^3$  и  $5\text{ см}^3$  раствора гидразин сульфата с массовой долей 1%. Колбу с раствором помещают в водяную баню с температурой воды ( $70-80^{\circ}\text{C}$ ) и нагревают в течение 10 мин. Допускается слабое кипение раствора в колбе, закрытой воронкой, на электроплитке. Затем раствор охлаждают при комнатной температуре в течение 10 мин, добавляют цилиндром  $20\text{ см}^3$  раствора серной кислоты с молярной концентрацией  $C(1/2\text{ H}_2\text{SO}_4)=16\text{ моль/дм}^3$ , снова охлаждают до комнатной температуры, добавляют три-пять капель раствора фенилантраниловой кислоты и титруют раствором метаванадата аммония с молярной концентрацией  $0,01\text{ моль/дм}^3$ , до появления розовой или сиреневой окраски, устойчивой в течение 1 мин.

В аналогичных условиях, без пробы, проводят холостой опыт на реактивы.

#### Методика «Выполнения измерений концентрации пероксидных соединений»

В подготовленную коническую колбу вместимостью  $250\text{ см}^3$ , вносят цилиндром  $10\text{ см}^3$  уксусной кислоты, закрывают колбу пробкой, взвешивают с записью результатов взвешивания в граммах до второго десятичного знака, приливают пипеткой анализируемую пробу, в зависимости от предполагаемой концентрации пероксидных соединений в пересчете на ГПЭБ, и снова взвешивают. По разности результатов двух взвешиваний находят массу навески пробы.

К содержимому колбы добавляют  $1,5\text{ см}^3$  раствора йодида калия с массовой долей 50%, колбу закрывают пробкой, смоченной раствором йодида калия, перемешивают и выдерживают в темноте в течение 30 мин. По истечении указанного времени приливают  $100\text{ см}^3$  дистиллированной воды, обмывая пробку колбы, добывают  $1,0\text{ см}^3$  крахмала и незамедлительно титруют выделившийся йод раствором тиосульфата натрия с молярной концентрацией  $0,1\text{ моль/дм}^3$ , в зависимости от концентрации пероксидных соединений в пересчете на ГПЭБ, до обесцвечивания раствора.

#### Методика «Выполнения измерений массовой доли оксида нонена в эпоксидате»

В коническую колбу с притертой пробкой вместимостью  $250\text{ см}^3$  вносят пипеткой  $10\text{ см}^3$  раствора соляной кислоты в насыщенном растворе хлорида натрия или магния, добавляют с помощью пипетки  $(5,0-2,5)\text{ см}^3$  анализируемой пробы, цилиндром  $50\text{ см}^3$  этанола, колбу закрывают притертой пробкой и перемешивают на встряхивателе в течение 30 мин. Затем содержимое колбы количественно переносят в чистую делительную воронку вместимостью  $250\text{ см}^3$ , дважды ополаскивая колбу  $10\text{ см}^3$  дистиллированной воды и сливая промывные воды в ту же воронку, приливают  $20\text{ см}^3$  гексана, и закрыв воронку пробкой, встряхивают содержимое в течение 2 мин. После расслоения смеси нижний водный слой сливают в ту же коническую колбу, в которой проводилась реакция. В воронку с гексаном приливают  $10\text{ см}^3$  дистиллированной воды,

взбалтывают 9-10 раз и сливают промывную воду в ту же колбу. К содержимому колбы прибавляют (5-6) капель смешанного индикатора или метилового оранжевого и титруют избыток соляной кислоты раствором гидроксида калия с молярной концентрацией  $C(\text{KOH})=0,5$  моль/дм<sup>3</sup> до перехода окраски раствора от фиолетово-красной в зеленую, при титровании по смешанному индикатору, или от красной в желтую, при титровании по метиловому оранжевому. Параллельно проводят контрольный опыт с теми же реактивами, но без анализируемой пробы, в полном соответствии с рабочим опытом.

#### Обработка экспериментальных данных

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести расчёты массовой доли растворенного и общего молибдена ( $X_M, \%$ ), массовой доли пероксидных соединений ( $X_G, \%$ ), массовой доли оксида нонена в пересчете на эпоксидную группу ( $X_O, \%$ ), построить график зависимости массовой доли растворенного и общего молибдена от времени, массовой доли пероксидных соединений от времени, массовой доли эпоксидной группы от времени.

1. Рассчитать массовую долю растворенного и общего молибдена ( $X, \%$ ) по следующей формуле:

$$X_M = \frac{(V_p - V_x) * C * K * 96 * 100}{m * 1000}$$

где  $V_p, V_x$  – объемы раствора метаванадата аммония, пошедшие на титрование в рабочем и холостом опытах, соответственно, см<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация раствора метаванадата аммония, моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к концентрации раствора метаванадата аммония; ( $K=1$ )

96 – молярная масса эквивалента молибдена, г/моль;

$m$  – масса пробы, взятая на анализ, гр.

2. Построить график зависимости времени от массовой доли растворенного и общего молибдена ( $X_M, \%$ ).

3. Рассчитать массовую долю пероксидных соединений ( $X_G, \%$ ) по следующей формуле:

$$X_G = \frac{(V_p - V_x) * C * K * \Xi * 100}{m * 1000}$$

где  $V_p, V_x$  – объемы раствора тиосульфата натрия, пошедшие на титрование в рабочем и контрольном опытах, соответственно, см<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация раствора тиосульфата натрия, моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к концентрации раствора тиосульфата натрия; ( $K=1$ )

$\Xi$  – эквивалентная масса пероксидного соединения, (69-для гидропероксида этилбензола, 8 – для активного кислорода), гр/моль.

$m$  – масса пробы, взятая на анализ, гр. При отборе пробы на анализ по объему, масса пробы равна  $V_{пр} * \rho$ , где  $V_{пр}$  – объем пробы, см<sup>3</sup> и  $\rho$  – плотность анализируемой пробы при 200С, гр/см<sup>3</sup>.

4. Построить график зависимости времени от массовой доли пероксидных соединений ( $X_G, \%$ ).

5. Рассчитать массовую долю оксида нонена в пересчете на эпоксидную группу ( $X_O, \%$ ) по следующей формуле:

$$X_O = \frac{(V_p - V_x) * C * K * \Xi * 100}{V * \rho * 1000}$$

где  $V_p, V_x$  – объемы раствора гидроксида калия, пошедшие на титрование в рабочем и контрольном опытах, соответственно, см<sup>3</sup>;

$C$  – молярная концентрация раствора гидроксида калия, моль/дм<sup>3</sup>;

$K$  – поправочный коэффициент к концентрации раствора гидроксида калия; ( $K=1$ )

$\Xi$  – молярная масса эквивалента эпоксидной группы, равная 43 гр/моль.

$V$  – объем пробы, взятый на анализ, см<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность пробы при 20 0С, гр/см<sup>3</sup>.

6. Построить график зависимости времени от массовой доли оксида нонена в пересчете на эпоксидную группу ( $X_O, \%$ ).

#### Статистическая обработка результатов эксперимента

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести статическую обработку результатов эксперимента.

1. Рассчитать среднеарифметическое значение результатов эксперимента:  $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ , где  $n$  – число экспериментов.

2. Рассчитать отклонение от среднего значения:  $(x_i - \bar{x})$

3. Рассчитать квадрат отклонения от среднего значения:  $(x_i - \bar{x})^2$

4. Рассчитать сумму квадратов отклонения от среднего значения:  $\sum (x_i - \bar{x})^2$

5. Рассчитать стандартное отклонение единичного результата от среднеарифметического значения:

$$S_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

6. Рассчитать доверительный интервал определяемой величины:  $x = \bar{x} \pm S_{\bar{x}} * t_{p,n}$   
где  $t_{p,n}$  - коэффициент Стьюдента. Его значение находят из таблицы, задаваясь доверительной вероятностью Р.

**Выводы.** В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо перечислить основные итоги проделанной работы. Показать и пояснить, что происходит с концентрацией гидроперекиси этилбензола и концентрацией окиси, тем самым показать, что происходит с активностью полученного в лабораторных условиях комплексного молибденового катализатора.

#### **Лабораторная работа № 4** **ИНГИБИРОВАНИЕ РАДИКАЛЬНОЙ И ИОННОЙ РЕАКЦИЙ** **НА ПРИМЕРЕ ПОЛИМЕРИЗАЦИИ СТИРОЛА**

*Цели работы:*

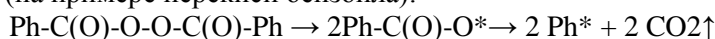
1. изучить кинетику радикальной и ионной полимеризации стирола;
2. изучить влияние различных аминных ингибиторов на процесс полимеризации стирола;
3. объяснить основные особенности радикальной и ионной реакций полимеризации стирола.

##### *Краткая теория*

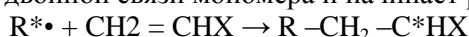
Стирол является одним из важнейших вспомогательных мономеров, применяемых в промышленности синтетического каучука. Он входит в состав бутадиен-стирольных каучуков и термоэластопластов, а также находит широкое применение в промышленности пластмасс и ряде других областей промышленности. Производство полистирола методом термической полимеризации организовано и на ОАО «Нижекамскнефтехим». Необходимо отметить, что в настоящий момент стирол и методы его полимеризации изучены наиболее полно и служат основой для моделирования ряда других процессов, выведения кинетических закономерностей и проектирования реакторов. Это связано с простотой проведения полимеризационных процессов с его участием, сравнительно низким удельным тепловым эффектом полимеризации и доступностью мономера.

Радикальная полимеризация всегда протекает по цепному механизму. Функции активных промежуточных продуктов при радикальной полимеризации выполняют свободные радикалы. К числу распространенных мономеров, вступающих в радикальную полимеризацию, относятся: этилен, винилхлорид, винилацетат, винилиденхлорид, тетрафторэтилен, акрилонитрил, метакрилонитрил, метилакрилат, метилметакрилат, стирол, бутадиен, хлоропрен и др. Радикальная полимеризация обычно включает несколько химических стадий: инициирование, рост цепи, обрыв цепи и передачу цепи. Непременными стадиями являются инициирование и рост цепи.

*Инициирование радикальной полимеризации* состоит в создании в реакционной системе свободных радикалов, способных начать реакционные цепи. Наиболее распространенный метод основан на осуществлении в среде мономера термического гомолитического распада нестойких веществ - инициаторов. В качестве инициаторов широко используют различные типы перекисей: алкилперекиси (перекись трет-бутила), гидроперекиси (гидроперекись кумола), перэфиры (трет-бутилпербензоат), ацилперекиси (перекись бензоила) и др. Перекиси при нагревании распадаются следующим образом (на примере перекиси бензоила):



Инициаторы радикальной полимеризации обычно не отличаются селективным действием по отношению к разным мономерам, поэтому выбор инициатора чаще всего обуславливается температурой, при которой в каждом конкретном случае может быть достигнута желаемая скорость генерирования свободных радикалов. Так, АИБН применяют при 50—70°C, перекись бензоила при 80—95°C, а перекись трет-бутила при 120—140°C. Энергия активации инициирования обычно близка к энергии связи, разрывающейся при распаде инициаторов, и колеблется в пределах 105—175 кДж/моль. Радикал, образующийся при распаде молекулы инициатора, присоединяется к двойной связи мономера и начинает реакционную цепь:



Полимеризацию при высоких температурах можно вызвать и без введения в систему специальных инициаторов. В этом случае образование радикалов происходит, как правило, вследствие разложения небольших количеств перекисных примесей, которые часто образуются при взаимодействии мономера с кислородом воздуха, или других случайных примесей. Возможность термического самоиницирования доказана только для ограниченного круга мономеров (стирола и некоторых его производных, метилметакрилата и ряда др.).

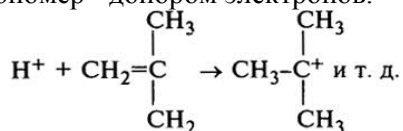
Ионной полимеризацией называется процесс синтеза полимеров, при котором активными центрами, возбуждающими цепную реакцию, являются ионы. Ионная полимеризация протекает в присутствии катализаторов. Катализаторы ионной полимеризации можно разделить на три класса:

1. соединения - доноры протонов: кислоты Бренстена (HF, HCl и др.) и особенно кислоты Льюиса ( $\text{AlCl}_3 + \text{HCl}$ ,  $\text{BF}_3 + \text{HF}$  и т.д.);
2. соединения - доноры электронов;
3. катализаторы Циглера - Натта.

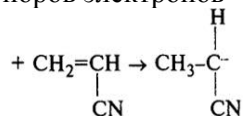
Катализаторы первой группы оказываются неэффективными для многих соединений с электроноакцепторными заместителями у двойной связи (стирол,  $\alpha$ -винилпирролидон), но они очень активны по отношению к таким веществам, как виниловые соединения с сопряженными связями  $-\text{C}=\text{O}$  и  $-\text{C}\equiv\text{N}$ . Катализаторы второй группы способствуют полимеризации виниловых соединений с повышенной электронной плотностью у двойной связи. Катализаторы Циглера - Натта образуют с молекулой мономера координационный комплекс. Поэтому синтез полимеров в присутствии этих катализаторов называется ионно-координационной полимеризацией.

В зависимости от заряда образующегося иона различают катионную и анионную полимеризацию.

Катионная, или карбониевая, полимеризация протекает с образованием иона карбония - полярного соединения с трехвалентным атомом углерода, несущим положительный заряд. Катализаторами служат вещества, активные в реакциях Фриделя - Крафта. Катализатор является акцептором, а полимеризующийся мономер - донором электронов:



Анионная, или карбанионная, полимеризация протекает с образованием карбаниона - соединения с трехвалентным атомом углерода, несущим отрицательный заряд. Анионная полимеризация протекает в присутствии доноров электронов - катализаторов второго класса:



Ионная полимеризация ускоряется в присутствии сокатализаторов. При катионной полимеризации сокатализаторами служат гидроксилсодержащие соединения (вода, спирты, кислоты); сокатализаторами полимеризации в присутствии алкилметаллов (катализаторов Циглера - Натта) являются хлориды металлов переменной валентности, например  $\text{TiCl}_3$ . Скорость ионной полимеризации очень велика.

#### Экспериментальная часть

**Реактивы:** этилбензол, стирол, ингибиторы (монооксипропилированный амин, диоксипропилированный амин, Новантокс, бррд, полиоксипропилированный амин).

**Приборы:** колбы конические, вместимостью 100, 50 см<sup>3</sup>; цилиндры мерные, вместимостью 50 см<sup>3</sup>; пипетки градуированные, вместимостью 1, 2, 5 и 10 см<sup>3</sup>; весы лабораторные специального класса точности с наибольшим пределом взвешивания 200 г, секундомер; термометр стеклянный лабораторный с диапазоном измерения от 0 °С до 250 °С, цена деления 1 °С, дилатометр, термостат, штатив.

#### Проведение эксперимента

По заданию преподавателя взвесить необходимую массу ингибитора на аналитических весах. Приготовить раствор: 27 мл стирола, 3 мл этилбензола, 0,0243 г диметилбензил пероксида ( $\text{C}_{18}\text{H}_{22}\text{O}_2$ ), полученный раствор хорошо перемешать, добавить навеску ингибитора. Нагреть термостат до 125-126 °С, заполнить дилатометр приготовленным раствором, дилатометр поместить в нагретый термостат.

Схема установки полимеризации стирола представлена на рисунке 8, которая состоит из термостата 1, термометра 2, штатива с лапкой 3,4 и закрепленного дилатометра 5.

Полимеризация виниловых мономеров по С=С связи сопровождается уменьшением объема (порядка 20% от объема мономера при 100% конверсии) реакционной смеси, что обусловлено разностью в плотностях мономера и полимера. Поэтому, следя за усадкой полимеризующейся системы в реакционном сосуде (дилатометре) в ходе реакции, можно определить скорость реакции.

#### Обработка экспериментальных данных.

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным построить график зависимости  $h=h(t)$  и по углу наклона соответствующей прямой находят значение  $dh/dt$ , которое позволяет рассчитать скорость реакции по уравнению:

$$V_{\text{пм}} = \frac{10^3 \cdot \pi \cdot r^2}{V \cdot \sigma_M \cdot M} \cdot \frac{dh}{dt} \text{ (моль/л*с)}$$

где  $M$  – молекулярная масса мономера,  $V$  — начальный объем реакционной массы в мл при температуре  $T$ ,  $r$  – радиус дилатометра в см,  $\delta M$  – параметр, связанный с концентрацией мономера при полимеризации и равный разности обратных величин плотностей мономера и полимера, т.е.  $\delta M = 1/\rho_M - 1/\rho_P$ .  
При 700 С для Ст  $\rho_M = 0.860$  г/см<sup>3</sup>, для ПС  $\rho_P = 1.046$  г/см<sup>3</sup>.

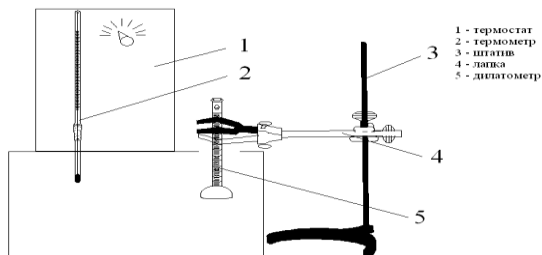


Рисунок Схема установки полимеризации стирола

#### Статистическая обработка результатов эксперимента

В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо по полученным экспериментальным данным произвести статическую обработку результатов эксперимента.

1. Рассчитать среднеарифметическое значение результатов эксперимента:  $\bar{v} = \frac{\sum_{i=1}^n v_i}{n}$ , где  $n$  – число

экспериментов.

2. Рассчитать отклонение от среднего значения:  $(v_i - \bar{v})$

3. Рассчитать квадрат отклонения от среднего значения:  $(v_i - \bar{v})^2$

4. Рассчитать сумму квадратов отклонения от среднего значения:  $\sum (v_i - \bar{v})^2$

5. Рассчитать стандартное отклонение единичного результата от среднеарифметического значения:

$$S_{\bar{v}} = \sqrt{\frac{\sum (v_i - \bar{v})^2}{n(n-1)}}$$

6. Рассчитать доверительный интервал определяемой величины:  $v = \bar{v} \pm S_{\bar{v}} \cdot t_{p,n}$

где  $t_{p,n}$  - коэффициент Стьюдента. Его значение находят из таблицы 2, задаваясь доверительной вероятностью  $P$ .

**Выводы.** В данном разделе лабораторной работы студенту необходимо перечислить основные итоги проделанной работы.

#### Критерии оценки лабораторных работ в семестре

Критерий оценки (за выполнение одной лабораторной работы)	Балл оч/оч- заоч/заоч
Лабораторная работа отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. При ответе на вопросы студент демонстрирует хорошую степень владения представленным материалом. Ответы формулируются аргументированно. Отсутствие ошибочных ответов.	15/15/25

Лабораторная работа отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. При ответе на вопросы студент дает достаточно полный ответ, с нарушением последовательности изложения. Есть небольшой процент ошибочных ответов.	12,5/12,5/20
Лабораторная работа выполнена с грубыми ошибками, полученные результаты значительно отличаются от истинных. У студента отсутствует четкий ответ на поставленные вопросы.	10/10/15
Лабораторная работа не выполнена.	0

### Комплект лабораторных работ

по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке

(наименование дисциплины)

**Семестр: 6 (очная, заочная на базе ВО), 7 (очно-заочная), 8 (заочная)**

### Лабораторная работа № 5

#### ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ КАТАЛИЗАТОРОВ

#### С ПОМОЩЬЮ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО СКАНИРУЮЩЕЙ КАЛОРИМЕТРИИ

*Цели работы:*

1. Используя ДСК Linseis получить зависимость теплового потока от температуры.
2. По калориметрической кривой определить температуру превращения кварц и температуру превращения кварца.
3. Определить энтальпию протекающих процессов.

#### *Теоретическая часть*

Согласно современным научным представлениям, в любом теле не может быть запасена и измерена независимо друг от друга тепловая, электрическая и кинетическая энергия. Эти виды энергий взаимосвязаны и могут переходить друг от друга.

Форма энергии, известная как теплота, связаны только с обменом энергии между двумя или несколькими системами. Теплота ассоциируется с тепловым потоком, что подчеркивает ее количественную природу. Таким образом, **теплота** – это количество энергии, которое обменивается в течение данного временного интервала в форме теплового потока. Для измерения теплоты, выделяемой или поглощаемой в различных процессах, используются приборы, называемые калориметрами, а «калориметрии» означает измерение теплоты.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК) входит в групп физических и физико-химических методов термического анализа (ТА) и является одним из трех методов ТА, с помощью которых определяются энергетические (энтальпийные) изменения в исследуемом веществе. Эти методы основаны на измерении температуры, самопроизвольных или компенсирующих тепловых потоков. ДСК основан на нагревании (охлаждении) образца и эталона с заданной скоростью при сохранении их температур и измерении компенсирующего теплового потока, поддерживающего температуру образца в пределах заданной программы. Экспериментальные кривые ДСК представляют собой зависимости теплового потока (в мДж/с) или удельной теплоемкости  $C_p$  (Дж/г·К) от температуры или времени. Все ДСК имеют две измерительные ячейки: одна предназначена для исследуемого образца, в другую – ячейку сравнения, помещают либо пустой тигель, либо тигель с образцом сравнения – эталоном (инертным в заданном диапазоне условий веществом, по теплофизическим свойствам близким к образцу). Ячейки конструируют максимально симметрично (одинаковые тигли, одинаковые сенсоры, одинаковое расстояние от нагревателя до сенсора и т.д.). Образец и эталон нагревают индивидуальными источниками тепла, а температуру измеряют введенные в них чувствительные датчики.

Измеряемой является разница  $T = T_{об} - T_{эт}$  между температурами образца ( $T_{об}$ ) и эталона ( $T_{эт}$ ) в функции времени нагревания или температуры. Величина  $T$  пропорциональна изменению энтальпии  $H$ , теплоемкости  $C$  и общему термическому сопротивлению теплового потока  $R = R_0 + R_{об}$ .

Ход кривых ДСК, измеренных при отсутствии каких-либо процессов, связанных с поглощением и выделением тепла (так называемые базовые линии) в общем случае отличается от прямой линии, параллельной оси абсцисс. Причина аномального отклонения кривой ДСК в начале измерения заключается в невозможности в начале измерения сразу обеспечить постоянную скорость нагрева измерительной ячейки. Наклон кривой ДСК возникает из-за неравенства масс и теплоемкостей образца и эталона, вследствие чего разность тепловых потоков, измеряемых дифференциальной термопарой не равна нулю даже в отсутствие фазовых превращений и линейно изменяется с температурой.

Очевидно, что описанные выше артефакты не позволяют проводить измерения с высокой точностью, однако у современного оборудования есть возможность корректировать эти эффекты и вычистить их из экспериментальной кривой. Для этого перед основным измерением снимаются так называемые кривые коррекции (калибровки) - ДСК кривые, при измерении которых в держателе образца находится либо пустой

тигель, либо подложка без образца. Для того, чтобы учесть коррекцию при основном измерении, с помощью программного обеспечения анализатора при обсчете базовых кривых производится коррекция с помощью калибровочных данных.

При наличии в исследуемом образце каких-либо процессов, или переходов первого рода, связанных с поглощением или выделением тепла (плавление, структурный фазовый переход, испарение и др.), на кривых ДСК проявляются характерные пики и аномалии, исследование которых дает информацию о процессах протекающих в образце. Различают экзотермические (выделение тепла) и эндотермические (поглощение тепла) аномалии ДСК. *Аномалией* называется любое отклонение от монотонного изменения зависимости сигнала от времени. Любая аномалия (пик) ДСК полностью может быть описана следующими параметрами:

1. Температурами начала пика, которая характеризует начало процесса, и окончания пика ( $T_1$  и  $T_2$ , определяются как точки пересечения касательных основной (базовой) линии ДСК и плеч пика).
2. Температурой максимума (минимума) пика ( $T_3$ ), которая характеризует окончание процесса.
3. Площадью пика, которая определяет энтальпию (удельную теплоту) процесса ( $J = Q/M$ , где  $Q$  - количество поглощенного/выделенного тепла,  $M$  - масса исследуемого вещества). Площадь пика – площадь, ограниченная экспериментальной кривой и базовой линией.
4. Воспроизводимостью пика при охлаждении и последующем нагреве. Наличие воспроизводимости свидетельствует об обратимости фазового перехода. Если термическая аномалия не воспроизводится при повторном нагреве образца, это признак необратимого фазового перехода.

#### *Практическая часть*

К исследованиям допускаются твердые и жидкие вещества, неядовитые (из-за трудности отвода продуктов испарения) и не агрессивные к материалу тигля или подложки. Масса исследуемого материала выбирается в соответствии с задачей. Чем больше масса образца, тем интенсивнее сигнал, фиксируемый прибором, тем выше отношение сигнал/шум и меньше погрешность, вносимая внешними факторами, однако следует учитывать, что чем больше количество исследуемого вещества, тем выше в его объеме градиент температур, тем более размыты наблюдаемые термические аномалии, и тем меньше точность измерения потери веса, температуры и теплоты.

При измерении необходимы два тигля, в один из тиглей будет помещен исследуемый образец, другой тигель (пустой) будет использоваться как эталон. Материал тигля определяется максимальной температурой нагрева образца и исследуемым веществом, которое не должно реагировать с тиглем. Наиболее часто используемыми материалами тиглей являются алюминий (до 600°C), золото (до 900°C), платина (до 1000°C) и корунд (до 1600 °C и выше).

Тигли для измерений используются либо открытые, либо закрытые крышкой, при этом в крышке проделывают небольшое отверстие для вывода продуктов испарения. Такое отверстие также помогает избежать деформации и разрыва тигля в результате повышения внутреннего давления насыщенных паров в процессе нагрева.

Перед измерением образец необходимо взвесить. Чтобы обеспечить высокую достоверность измерений точность начального определения веса должна быть не менее 100 мкг. Часто образец должен быть подготовлен к измерениям, основные критерии - следует обеспечить максимально возможную область контакта между исследуемым образцом и дном тигля (чем больше область контакта, тем сильнее и точнее сигнал, фиксируемый анализатором) и обеспечить как можно более равномерное распределение исследуемого материала по тиглю или подложке.

Измерение ранее не исследовавшихся неизвестных материалов; жидкостей; материалов с бурным испарением или разложением проводится исключительно в закрытых крышкой и запрессованных тиглях, во избежание необратимого загрязнения измерительной ячейки. Во избежание загрязнения тиглей и образцов, что зачастую приводит к дополнительной паразитной потере веса, не следует брать их руками без защитных перчаток, либо следует пользоваться пинцетом. Не следует ставить тигли на грязные поверхности. Ниже перечислены общие требования к образцам, используемым для измерений методом ДСК.

1. Образец не должен взаимодействовать с материалом измерительной ячейки и защитным газом, если данное взаимодействие не является предметом изучения.
2. Необходимо предотвратить переход образца в газовую фазу, если его сублимация или испарение не являются предметом изучения. С этой целью эксперименты, как правило, проводят в герметично завальцованных ячейках. В тех случаях, когда образец нагревают до температур, превышающих 100 – 150С, в крышке делают небольшое отверстие чтобы избежать деформации ячейки в результате повышения внутреннего давления.
3. Необходимо обеспечить хороший тепловой контакт между образцом и сенсором. Для этого нужно подобрать ячейку с плоским недеформированным дном и плотно разместить пробу на дне ячейки. Твердые поликристаллические препараты желательно спрессовать или перетереть (предварительно необходимо убедиться, что механическое воздействие не приводит к протеканию в образце физических или химических процессов). Из сплошных материалов типа пленок и резин обычно вырезают тонкий образец нужного диаметра.

4. Масса образца подбирается в соответствии с поставленной задачей. Следует учитывать, что чем толще слой пробы в ячейке, тем выше нежелательный градиент температур в ее объеме. Взвешивать образец необходимо с точностью не менее 0,1 мг ( $\pm 0,0001$  г).

5. Необходимо обеспечить репрезентативность пробы. Жидкие образцы перед помещением в измерительную ячейку следует тщательно перемешивать. Небольшие количества пробы твердых поликристаллических препаратов берут из разных частей, после чего также тщательно перемешивают.

**Калибровка:** ДСК измеряет значение разности температур между образцом-эталоном и исследуемым образцом. Единицы измерения отклика в общем случае [мкВ/г]. При наличии *калибровки по чувствительности* можно перевести [мкВ/г] в единицы измерения теплоты и получить отклик ДСК в [Дж/г], что крайне важно при измерении энтальпии. В ходе измерений необходимо помнить, что дифференциальная термопара не находится в непосредственном контакте с образцом, вследствие этого температуры образца и термопары несколько отличаются. Для устранения этой погрешности используется метод *калибровки по температуре*.

Для проведения калибровки прибора используется набор образцов (стандартов) с точно известными температурами и теплотами фазовых превращений. Для этих образцов измеряются кривые ДСК, и полученные в процессе измерений температуры и теплоты аномалий записываются в так называемые файлы калибровки, где они приводятся в соответствие со стандартными значениями и строится калибровочная кривая. Калибровку проводят в тех же условиях и с тем же материалом тиглей, что при измерении образца.

Для калибровки необходимо использовать не менее трех образцов - стандартов. Существуют общие требования к стандартам, используемым для калибровки:

1. Высокая степень чистоты (не менее 99.999%).
2. Достоверно известные характеристики фазовых переходов (теплота, температура).
3. Инертность по отношению к материалу тигля.
4. Химическая стойкость, устойчивость по отношению к внешним воздействиям.
5. Низкое давление насыщенного пара при температуре измерения.

Перед выполнением лабораторной работы должна быть проведена пробоподготовка и сняты калибровочные измерения для используемых тиглей. Следуя пошаговой инструкции произвести эксперимент с образцом кварца. Полученные результаты целесообразно представить в виде в таблицы

Таблица

№ п/п	Температура начала $T_{\text{onset}}$ , °C	Температура конца $T_{\text{offset}}$ , °C	Температура экстремума $T_{\text{max/min}}$ , °C	Энтальпия, кДж/г	Описание процесса

## Лабораторная работа № 6

### ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ГИДРООЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ ФРАКЦИЙ

Процесс каталитического крекинга предназначен для получения высокооктановых компонентов бензина. Крекинг осуществляется при 450-500°C в присутствии алюмосиликатных катализаторов и является процессом качественного изменения сырья. Наряду с бензином при крекинге образуются другие продукты - газообразные, жидкие и твердые (кокс). В качестве сырья обычно применяются тяжелые дистилляты атмосферной и вакуумной перегонки нефти, а также нефть, мазут и др.

Основные продукты каталитического крекинга - жирный газ, нестабильный бензин, легкий и тяжелый каталитические газойли.

**Жирный газ** - газ, получаемый на установках каталитического крекинга. Он состоит в основном из углеводородов C3-C4 и содержит значительное количество изобутана. Это повышает ценность газа как сырья для дальнейшей переработки.

**Нестабильный бензин.** При каталитическом крекинге можно вырабатывать высокооктановый автомобильный бензин или сырье для получения базового авиационного бензина путем каталитической очистки. На подавляющем большинстве установок образуются компоненты автомобильного бензина. Бензин, полученный при каталитическом крекинге тяжелого сырья, по сравнению с бензином, полученным из легкого сырья, характеризуется повышенным содержанием непредельных углеводородов и пониженным содержанием ароматических.

**Легкий газойль** - дистиллят с н.к.175-200°C и к.к.320-350°C Легкие каталитические газойли обычно используются в качестве компонентов дизельного топлива. Их цетановое число 25-40.

**Тяжелый газойль** - остаточный продукт каталитического крекинга. Тяжелый газойль используют либо при приготовлении топочных мазутов, либо как сырье для термического крекинга и коксования или для производства сажи.

Каталитический крекинг начал развиваться с применением алюмосиликатных аморфных

катализаторов. Сейчас в промышленной практике широкое распространение получили синтетические цеолиты - соли алюмосиликатных кислот. В большинстве случаев цеолиты, используемые как катализаторы, модифицируют металлами, оксидами металлов (в том числе редкоземельных), а также другими веществами. Это значительно усиливает их каталитические свойства.

Обычно цеолитсодержащие катализаторы крекинга готовят диспергированием цеолита в алюмосиликатной аморфной матрице в количестве 3-18%.

Цеолиты термостойки и устойчивы против действия сернистых, азотистых и других соединений, являющихся ядами для других катализаторов. Кроме того, на цеолитах при равных условиях образуется кокса меньше, чем на аморфных алюмосиликатных катализаторах..

Сырье процесса. Основным сырьем промышленных установок каталитического крекинга являются атмосферные и вакуумные дистилляты первичной перегонки нефти. Чаще всего это фракции, выкипающие при температурах от 350 до 550 °С и выше, а также сырьё вторичного - происхождения, получаемое на установках термического крекинга и коксования.

#### *Основные факторы процесса*

Температура. Под температурой процесса крекинга понимают среднюю температуру в рабочей зоне реактора. В заводской практике ; каталитический крекинг проводят в интервале температур 450-495 °С. С увеличением температуры до 500 °С при постоянных значениях других параметров крекинг сопровождается большим газообразованием и коксообразованием. При более низкой температуре в одинаковых условиях резко снижается глубина разложения сырья и выход целевых [продуктов. Оптимальной температурой процесса проводимого с целью максимального отбора бензиновых фракций, является 450-405 °С Давление На современных установках с циркуляцией катализатора сырьё перерабатывают при умеренных давлениях: 0,15-0,25 МПа. В реакторах с циркуляцией пылевидного или микросферического катализатора процессы ведут под давлением 0,18-0,25 МПа. С ростом давления испарение сырья затрудняется, что вызывает необходимость (особенно при переработке тяжелых дистиллятов) вводить вместе с сырьем в раствор повышенное количество перегретого пара.

Объемная скорость. Отношение числа объемных единиц жидкого сырья, подаваемого за час в реактор при 15-20 °С к объему катализатора в зоне реакции крекинга называется «объемной скоростью»:

$$V_0 = \frac{V_c}{V_k \tau}$$

где  $V_0$  - объемная скорость, м<sup>3</sup>/(м<sup>3</sup> ч);  $V_c$  - объем жидкого сырья, м<sup>3</sup>/ч;  $V_k$  - объем катализатора, м<sup>3</sup>.

Время пребывания углеводородной загрузки в рабочей зоне реактора уменьшается с повышением объемной скорости. Наоборот, с понижением объемной скорости время контакта углеводородных паров с катализатором увеличивается, что приводит к более глубокому превращению. Легкие виды сырья перерабатывают обычно при низких объемных скоростях, а тяжелые - при более высоких.

При использовании катализаторов на основе цеолитов сырьё перерабатывается при повышенных значениях объемной скорости. На установках с гранулированным катализатором объемная скорость составляет 2,5-4,0 ч<sup>-1</sup>, с кипящим слоем пылевидного или микросферического катализатора - до 30 ч<sup>-1</sup>, а в лифт-реакторах 80-100 ч<sup>-1</sup>

Повышение объемной скорости подачи сырья позволило повысить температуру крекинга до 540-558 °С при том же коксообразовании.

Кратность циркуляции катализатора. Глубину крекинга сырья, а также содержание кокса на отводимом из реактора катализаторе можно регулировать не только изменением температуры процесса, но и изменением кратности циркуляции катализатора.

При постоянных количестве и качестве вводимого в реактор сырья и нормальных рабочих условиях процесса с ростом кратности циркуляции катализатора глубина превращения сырья увеличивается, а концентрация кокса на уходящем из реактора катализаторе уменьшается, хотя при этом общий выход кокса возрастает как по абсолютному весу, так и в процентах на сырьё. От кратности циркуляции зависит средняя активность катализатора в рабочей зоне реактора.

Значения кратности циркуляции катализатора на установках с гранулированным катализатором 2-5:1, с пылевидным аморфным 10:1, с пылевидным цеолитсодержащим катализатором 10:1.

Активность катализатора. Каталитическая активность катализатора оценивается выходом бензина в расчете на сырьё при проведении процесса в стандартных условиях.

У природных катализаторов она составляет 20-21% мас., у аморфных синтетических - 34-

36% мас., у цеолитсодержащих может достигать 55% мас. Активность катализаторов зависит от их физико-химических свойств (строения, химического состава и т.д.), а для синтетических - и от способа производства и качества сырья.

В начале работы реактора каталитического крекинга наблюдается заметное уменьшение активности катализатора, но в результате регулярной добавки в поток движущегося катализатора порций свежего катализатора активность его устанавливается на постоянном уровне (равновесная активность).

#### *Принципы осуществления промышленного процесса*

Промышленный процесс осуществляется в системах с циркулирующим катализатором нескольких типов:

- Установки, где крекинг сырья и регенерация осуществляются в сплошном, медленно опускающемся слое шарикового катализатора.
- Установки, где крекинг сырья и регенерация катализатора ПРОИСХОДЯТ в псевдооживленном (кипящем) слое пылевидного или микросферического катализатора.
- Установки с пылевидным и микросферическим катализатором и лифт-реактором.

При использовании цеолитсодержащих катализаторов процесс в значительной степени проходит в транспортной линии реактора, что потребовало уменьшения объема реакционной зоны реактора вплоть до отказа кипящего слоя и создания лифт-реакторов.

В промышленную практику внедрен каталитический крекинг в две ступени. Технико-экономические показатели такого процесса свидетельствуют о его значительном преимуществе перед однореакторной схемой: выход бензина возрастает более чем на 10%, причем более 70% бензина образуется на первой ступени, т.е. в транспортной линии.

Сырье задается преподавателем. Условия проведения опыта (температуру, объемную скорость подачи сырья) студенты выбирают самостоятельно на основе анализа сырья и согласуют выбранные значения с преподавателем.

#### *Проведение опыта*

До начала опыта необходимо:

1. Проанализировать взятое сырье - определить его плотность и коксуемость.
2. Взвесить приемник и абсорбер с абсорбентом.
3. Подобрать объемную скорость.
4. Проверить не забита ли реакционная трубка и засыпать в нее высушенный (из эксикатора) шариковый катализатор.

Включить нагревательную печь, отсоединить реактор от блока питания и доведя температуру в реакторе до 300-350°C, подсушить катализатор при этой температуре в течение 15-20 мин. пока не прекратится выделение пара из открытого конца реакционной трубки.

После просушки катализатора в емкость заливают сырье и начинают повышать температуру в реакторе. Когда температура в реакторе будет на 5-10°C выше заданной, начинают подачу сырья с заданной скоростью. Отбор пробы газа для хроматографического анализа производится в специальный пробоотборник в середине опыта, когда из системы вытеснится весь воздух. Примерно в то же время отбирается газ в газовый пикнометр для определения плотности (газ отбирается на выходе из газовых часов).

Полученный жидкий продукт загружают в колбу Борца и перегоняют. Во взвешенные приемники отбирают бензиновую фракцию, выкипающую в пределах 200°C. Легкий газойль - фракцию 200-330 C -отбирают при пониженном давлении, остаток в колбе - тяжелый каталитический газойль. Определяют массу каждого продукта и выход в расчете на взятое для крекинга сырье. При подсчете выхода бензина к массе бензиновой фракции надо прибавить массу углеводородов, поглощенных в абсорбере.

Полученные продукты подвергают анализу.

Состав газа определяют хроматографическим методом.

Для бензина устанавливают плотность, фракционный состав, йодное число и содержание непредельных углеводородов, содержание ароматических углеводородов, содержание фактических смол, октановое число по формуле:  $О.Ч. = 60.8 + 0.37x$ , где  $x$  - % мас. сульфорируемых ароматических углеводородов.

Для легкого газойля определяют плотность (ГОСТ 3900-47), йодное число и содержание непредельных углеводородов (ГОСТ 2070-55), температуру застывания (ГОСТ 20287-74), содержание серы (ГОСТ 1437-75), анилиновую точку (ГОСТ 12329-77) и рассчитывают цетановое число:  $Ц.Ч. = A. т. - 20$ , или по дизельному индексу:

$$DI = (1,8t + 32) \left( \frac{1,415}{\rho_{15}^{15}} - 1,315 \right),$$

где  $t$  – анилиновая точка, °C.  $\rho_{15}^{15}$  – относительная плотность продукта. По дизельному индексу можно приблизительно определить цетановое число, используя график.

Для тяжелого газойля определяют плотность, содержание серы. Затем составляют отчет по проделанной работе и делают соответствующие выводы.

*Варианты задания:*

1. Выявить влияние объемной скорости подачи сырья на выход, качество продуктов и глубину превращения сырья. Провести опыты, например, при температуре 470°C и объемных скоростях подачи сырья 0,5; 1,0 и 2,0 ч<sup>-1</sup> на любом из имеющихся катализаторов.
2. Выявить влияние используемого катализатора на результаты крекинга. При одинаковых условиях (например, температура 470 °C, объемная скорость подачи сырья 1,9 ч<sup>-1</sup>) использовать аморфный цеолитсодержащий катализатор или их смеси.
3. Выявить влияние температуры на результаты крекинга. При одинаковом сырье и скорости его подачи в реакционную зону провести процесс при температурах 450, 480 и 510°C.

### Лабораторная работа № 7

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ КАТАЛИТИЧЕСКОГО РИФОРМИНГА УГЛЕВОДОРОДОВ

В схеме современного нефтеперерабатывающего завода одним из ведущих процессов является каталитический риформинг. Этот процесс обеспечивает получение высокооктанового бензина (базового компонента), индивидуальных ароматических углеводородов – сырья для органического синтеза технического водорода, используемого при гидроочистке топлив и синтезе химических продуктов.

Сырье процесса. В качестве сырья для каталитического риформинга использует бензиновые фракции первичной перегонки нефтей, выкипающие от 60 до 210 °C. Для получения высокооктанового компонента бензина оптимальным сырьем является фракции, имеющие пределы кипения 85-180°C или 105-180 °C. В этом случае наличие в сырье легких фракций, выкипавших ниже 80°C, мало способствует повышению октанового числа катализата и приводит к увеличению газообразования и непроизводительной загрузке установки. Повышение температуры конца кипения выше 180°C нежелательно, так как оно сопровождается увеличением отложений кокса, что сокращает срок службы катализатора, снижает выход жидкого продукта. Для получения ароматических углеводородов в основном используется фракции, выкипающие в пределах 65-105 или 60-140°C. Риформинг бензиновых фракций вторичного происхождения (крекинга, коксования), содержащих значительные количества ненасыщенных углеводородов, рекомендуется проводить только в смеси с прягонными фракциями после предварительного гидрирования сырья.

Основные факторы процесса

Температура. При данном времени контакта повышение температуры процесса вызывает увеличение концентрации ароматических углеводородов в катализате, но одновременно уменьшается выход последнего за счет увеличения роли реакции гидрокрекинга, приводящего к сильному газообразованию. Минимальные температуры, обеспечивающие достаточно интенсивное протекание целевых реакций, рекомендуется следующие: на нафтеновом сырье 450-460°C; на алкановом – 480-490°C. Максимальный нагрев в конце цикла реакции обычно ограничивается температурой 520 или 530°C. Дальнейшее повышение температуры процесса нежелательно, так как увеличивается газообразование и закоксовывание катализатора.

Давление. Основные реакции каталитического риформинга сопровождаются значительным увеличением объема. С точки зрения равновесных, концентраций реагирующих молекул повышение давления будет препятствовать ароматизации. Однако, необходимо применять в системе высокое давление водорода для насыщения непредельных продуктов побочных реакций крекинга и предотвращения закоксовывания катализатора. Обычно давление в реакторах составляет 1,5-2,5 МПа.

Объемная скорость подачи сырья. При неизменных температуре и давлении низкие объемные скорости подачи сырья усиливают реакции гидрокрекинга, так как эти реакции протекают сравнительно медленно. Меньшее влияние на интенсивность реакции ароматизации нафтенов оказывает снижение объемной скорости, так как на платиновых катализаторах реакции протекает с большей скоростью. При высоких значениях объемной скорости одновременно с подавлением реакции гидрокрекинга снижается также роль реакции дегидроциклизации и изомеризации алканов. Увеличение жесткости процесса вызывает увеличение выхода ароматических

углеводородов и соответствующий рост октанового числа бензина. Жесткость может увеличиться при повышении температуры в зоне реакции, снижении давления в реакторах и кратности циркуляции водородсодержащего газа или же при уменьшении объемной скорости подачи жидкого сырья.

**Катализаторы риформинга.** Большинство применяемых в настоящее время промышленных катализаторов риформинга содержит платину, осажденную на оксидноалюминиевом носителе содержащем галоид (обычно хлор, реже фтор). Назначение галоида заключается в придания оксиду алюминия достаточной кислотности для достижения высокой изомеризирующей активности. Одновременно с повышением кислотности происходит интенсификация реакций гидрокрекинга. Широко применяются биметаллические и полиметаллические катализаторы, содержащие наряду с платиной другие металлы (например, рений, германий, кадмий, свинец и др.). Они отличаются стабильностью при работе в жестких условиях, особенно при пониженном давлении. Использование таких катализаторов обеспечивает повышение выхода катализата на 1-8% (при сохранении его октанового числа) к водорода на 20-25%, а также позволяет увеличить срок службы катализатора и продолжительность работы оборудования.

#### Технологическое оформление процесса

Наибольшее распространение имеют установки со стационарным слоем катализатора, где процесс осуществляется в нескольких последовательных реакторах с промежуточным подогревом реакционной массы в печи, так как процесс имеет значительный отрицательный тепловой эффект. Однако в связи с внедрением би- и полиметаллических катализаторов появилась возможность снизить давление, что привело к большей закоксованности катализатора и к созданию установок с движущимся катализатором.

#### Проведение опыта

До начала опыта необходимо:

1. Получить из имевшегося сырья при помощи разгонки необходимую для работы фракцию, выкипающую, в заданных пределах (определить ее выход на исходный бензин).
2. Проанализировать полученное сырье, определив его плотность, фракционный состав, групповой химический состав.
3. Взвесить приемник и абсорбер с абсорбентом.
4. Проверить, не забита ли реакционная трубка, засыпать в трубку 200 см высушенного катализатора (из эксикатора).
5. Собрать установку тщательно проверив герметичность узлов и соединений.

#### Анализ продуктов риформинга

Состав газа определяют хроматографическим методом.

Для катализата рассчитывают плотность, фракционный состав. Йодное число и содержание непредельных углеводородов; определяют общее содержание ароматических углеводородов сульфированием 98%-ной серной кислотой, показатель преломления, октановое число.

Составляют отчет о проделанной работе и делают соответствующие выводы, сопоставляя показатели сырья и катализата.

#### Варианты задания

1. Провести каталитический риформинг фракции бензина в одинаковых температурных условиях при объемных скоростях подачи сырья 0,5; 1,0 и 1,3 ч<sup>-1</sup>.
  2. С целью выявления влияния температуры на процесс осуществить каталитический риформинг, при одной объемной скорости подачи сырья (например 1,0 ч) провести процесс при температурах 470, 500 и 530°C.
  3. Выявить влияние средней температуры кипения (или средней молекулярной массы) на глубину риформинга (степень ароматизации).
- Провести в одинаковых условиях (температура и объемная скорость) опыты с использованием различного сырья - фракции 62-85°C, 62-105°C и 120-140°C.

### Лабораторная работа № 8

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАТАЛИЗАТОРОВ ДЕГИДРИРОВАНИЯ ВЫСШИХ ПАРАФИНОВ

Процесс каталитического дегидрирования парафиновых углеводородов предназначен для получения мономеров для синтетических каучуков: изобутилена, и бутадиена. Дегидрирование является эндотермическим процессом, требующим подвода большого количества тепла в зону

реакции. Процесс обычно протекает при температурах 550-600 °C. Катализаторами являются оксиды металлов – хрома, железа и др.

*Цель и задачи:* Изучение процесса дегидрирования парафиновых углеводородов фракции C<sub>4</sub>. Определение выхода продуктов реакции, степени конверсии сырья, селективности по целевому продукту, составление материального баланса опыта.

Установка дегидрирования парафиновых углеводородов.

Изобутан с чистотой 99,9% из баллона малого давления 1 поступает в линию через редуктор с манометром 3 и проходит через фильтр 4. Расход изобутана регулируется с помощью ротаметра с регулировочным вентилем 5, затем газ поступает в смеситель 8. Азот из баллона 2, используемый в качестве разбавителя, поступает в линию через редуктор с двумя манометрами 3. Расход азота регулируется с помощью регулятора расхода газа 6, снабженного блоком индикации и управления РРГ 7, затем газ поступает в смеситель. Газовая смесь из смесителя 8 поступает в реактор 10. Реактор представляет собой трубу из нержавеющей, химически стойкой стали. Внутри расположены втулки из той же стали, образующие полку для катализатора. На втулки через проницаемый термический стойкий материал загружен слой кварца (около 2 см<sup>3</sup>). Катализатор (Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> на Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 10 см<sup>3</sup> располагается на слое кварца. На катализатор загружен еще один слой кварца 6 см<sup>3</sup> для лучшего распределения сырья по объему реактора. Температура в реакторе регистрируется хромель-алюминиевой термопарой и выводится на контроллер «Овен» 11. Реактор 10 закреплен в печи 9 специальными зеркальными кольцами, зазоры изолированы каолиновой ватой. Печь 9 представляет собой трубчатый нагреватель в кожухе. Температура в печи регистрируется хромель-алюминиевой термопарой. Контроллер «Autonics» 12 получает сигнал с термопары и оказывает регулирующее воздействие на твердотельное реле, которое в свою очередь подает напряжение на нагреватель. Такая конструкция обеспечивает колебания температуры, не превышающие +1°C. После прохождения печи, газовая смесь охлаждается в холодильнике до температуры 15° и через мембранный счетчик отправляется на хроматографический анализ.

*Порядок проведения работы*

1. Включаем вентиляцию и электросеть установки.
2. Подключаем азот из баллона.
3. Подаем воду в холодильник
4. Устанавливаем необходимый расход азота на блоке индикации и управления РРГ.
5. Устанавливаем необходимую температуру на контроллере печи.
6. Включаем нагрев печи.
7. До выхода печи на режим продуваем пробоотборники для газа азотом, подсоединив их к узлу отбора на анализ.
8. После выхода печи и температуры реактора на режим, подключаем баллон с изобутаном.
9. Устанавливаем расход изобутана с помощью ротаметра с регулировочным вентилем. Контролируем расход в течение всего опыта.
10. Записываем показания счетчика и засекаем время.
11. Регистрируем изменения температуры в реакторе каждую минуту до 10 минут включительно.
12. Отбираем первую пробу газа.
13. Засаекаем 10 минут.
14. Отбираем вторую пробу газа.
15. Прекращаем подачу изобутана в линию. Перекрываем баллон.
16. Продуваем линию азотом в течение 10 минут.
17. Устанавливаем необходимую температуру в печи для регенерации.
18. Прекращаем подачу азота в линию.
19. Отсоединяем линию подачи сырья от реакторного блока.
20. Подсоединяем воздушный компрессор.
21. Проводим регенерацию катализатора, выжиг кокса в течение 40 минут.
22. Подсоединяем линию подачи сырья обратно.
23. Выключаем нагрев печи.
24. Закрываем баллон с азотом, сбрасываем давление в редукторе.
25. Отключаем электросеть установки и вентиляцию.

На основании опытных данных и результатов анализов составляют материальный баланс процесса дегидрирования, определяют выходы продуктов реакции, а также степень конверсии изобутана и селективность по изобутилену. Результаты работы представляют в виде таблицы.

*Критерии оценки лабораторных работ в семестре*

<b><i>Критерий оценки (за выполнение одной лабораторной работы)</i></b>	<b><i>Балл оч/оч- заоч/заоч</i></b>
Лабораторная работа отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. При ответе на вопросы студент демонстрирует хорошую степень владения представленным материалом. Ответы формулируются аргументированно. Отсутствие ошибочных ответов.	10/10/10
Лабораторная работа отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. При ответе на вопросы студент дает достаточно полный ответ, с нарушением последовательности изложения. Есть небольшой процент ошибочных ответов.	8/8/8
Лабораторная работа выполнена с грубыми ошибками, полученные результаты значительно отличаются от истинных. У студента отсутствует четкий ответ на поставленные вопросы.	6/6/6
Лабораторная работа не выполнена.	0

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Факультет технологический  
Кафедра НХС

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 –Химическая технология  
(код и наименование)

Профиль/специализация: «Химическая технология органических веществ»,  
(наименование)

Семестр 5,6 (очная), 6,7 (очно-заочная)

**Комплект заданий к коллоквиумам**

по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке  
(наименование дисциплины)

**Коллоквиум № 1 Темы № 1-7.**

1. Понятие о катализе и катализаторах;
2. Гомогенные и гетерогенные системы;
3. Интенсивность и активность катализатора;
4. Селективность катализатора;
5. Требования, предъявляемые к катализатору (состав катализатора, примесей; частота катализатора; механические свойства катализатора; механические характеристики; требования к термической стабильности; требования к размерам гранул и форме гранул катализатора; теплопроводность катализатора; срок службы катализатора);
6. Текстуальные характеристики катализатора (величина поверхности, объем пор, форма и размер пор, распределение пор по размерам);
7. Каталитические яды. Отравление катализаторов.
8. Основные способы производства твердых катализаторов.

Максимальное количество баллов за выполнение коллоквиума в 5 семестре (для очной формы обучения) и в 6 семестре (для очно-заочной формы обучения) студент получает 40 баллов, минимальное количество баллов – 20 .

<i><b>Критерий оценки</b></i>	<i><b>Балл</b></i>
Отчет отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. Отсутствия ошибочных ответов.	40
Отчет отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. Есть небольшой процент ошибочных ответов.	30
Отчет выполнен с грубыми ошибками, полученные результаты значительно отличаются от истинных.	20

**Коллоквиум № 2 Темы № 8-18.**

1. Производство осажденных катализаторов (достоинства метода, недостатки метода, общая схема получения);
2. Получение катализаторов нанесением активного компонента на носитель;
3. Методы приготовления катализаторов основанные на механическом смешении компонентов, сухой и мокрый метод смешения;
4. Методы приготовления плавных и скелетных каталитических систем;
5. Производство катализаторов крекинга.
6. Катализаторы гидроочистки нефтяных фракций.
7. Катализаторы гидрирования и дегидрирования.
8. Катализаторы риформинга углеводородов. Технология приготовления катализатора риформинга.

Максимальное количество баллов за выполнение коллоквиума в 6 семестре (для очной формы обучения) и в 7 семестре (для очно-заочной формы обучения) студент получает 40 баллов, минимальное количество баллов – 20 .

<i><b>Критерий оценки</b></i>	<i><b>Балл</b></i>
Отчет отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. Отсутствие ошибочных ответов.	20
Отчет отличается последовательностью, правильностью полученных результатов, выводов. Есть небольшой процент ошибочных ответов.	16
Отчет выполнен с грубыми ошибками, полученные результаты значительно отличаются от истинных.	12

Студент должен выполнить все коллоквиумы.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Нижекамский химико-технологический институт (филиал)  
федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

Факультет технологический  
Кафедра НХС

Направление подготовки/специальность: 18.03.01 –Химическая технология  
(код и наименование)

Профиль/специализация: «Химическая технология органических веществ»,  
(наименование)

Семестр 5,6 (заочная на базе ВО), 7,8 (заочная)

**Комплект заданий для контрольных работ**  
по дисциплине Б1.В.ДВ.03.01 Катализ и катализаторы в нефтехимии и нефтепереработке  
(наименование дисциплины)

**Контрольная работа №1 по темам № 1-7**

**Вариант 1**

1. Химические реакции. Классификация химических реакций. Скорость реакции. Движущая сила процесса.
2. Требования, предъявляемые к катализаторам. Основные потребительские характеристики катализаторов.
3. Катализ в газонефтепереработке.

**Вариант 2**

1. Простые и сложные реакции. Равновесие в системе. Обратимые и не обратимые реакции в химической кинетике.
2. Типы катализаторов. Специальные требования, предъявляемые к промышленным катализаторам.
3. Способы приготовления твердых катализаторов и адсорбентов. Золь-гель метод.

**Вариант 3**

1. Понятие о механизме химической реакции и лимитирующей стадии процессов.
2. Понятие об интенсивности работы катализатора. Факторы, влияющие на интенсивность работы катализатора.
3. Производство цеолиталюмосиликатных катализаторов крекинга. Типы промышленных катализаторов крекинга.

**Вариант 4**

1. Скорость химической реакции. Константа скорости. Порядок реакции. Молекулярность. Методы определения порядка реакции.
2. Гетерогенные каталитические системы. Влияние концентрации исходных компонентов. Влияние концентрации продуктов реакции и примесей.
3. Производство цеолиталюмосиликатных катализаторов крекинга. Технология синтеза шарикового цеолиталюмосиликатного катализатора.

**Вариант 5**

1. Влияние температуры на скорость реакции. Энергия активации. Способы определения параметров уравнения Аррениуса: графический и аналитический.
2. Факторы, влияющие на селективность работы катализатора. Текстуальные характеристики катализатора.
3. Производство цеолиталюмосиликатных катализаторов крекинга. Технология синтеза микросферического цеолиталюмосиликатного катализатора.

**Вариант 6**

1. Катализ и катализаторы. Типы каталитических реакций.
2. Влияние дозировки катализатора на селективность образования целевого продукта при гомогенном катализе. Методы установления структуры катализатора. Методы извлечения гомогенных катализаторов.
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Особенности синтеза катализаторов гидроочистки.

**Вариант 7**

1. Влияние на реакции температуры, концентрации реагентов, катализатора и давления. Механизм каталитического ускорения процесса.

2. Технология производства гомогенных каталитических систем. Катализатор серноокислотного алкилирования изопарафинов олефинами. Характеристика, состав, стабильность при хранении. Технологическая схема установки полимеризации с вертикальными и горизонтальными реакторами.
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Синтез алюмокобальтового катализатора.

#### **Вариант 8**

1. Гомогенный и гетерогенный катализ.
2. Фосфорно-кислотный катализатор олигомеризации бутиленов. Состав фосфорных кислот. Пирофосфорная кислота. Технологическая схема установки олигомеризации бутан-бутиленовой фракции в присутствии фосфорной кислоты на кизельгуре.
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Производство алюмомолибденового катализатора.

#### **Вариант 9**

1. Автокатализ. Пример автокаталитической реакции. Характерный вид кинетической кривой автокаталитической реакции.
2. Технологическая схема получения каталитического комплекса для производства изопренового каучука СКИ-3. Оптимальный состав катализатора, примеси. Гомогенные катализаторы, используемые в технологиях ОАО "Нижнекамскнефтехим".
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Производство алюмокобальт – молибденового катализатора.

#### **Вариант 10**

1. Кислотно-основной катализ. Типы кислотно-основного катализа. Кинетика реакций кислотно-основного катализа.
2. Основные методы приготовления катализаторов. Получение основного компонента катализатора осаждением гидроксидов. Достоинства и недостатки метода.
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Производство алюмоникель – молибденового катализатора.

#### **Вариант 11**

1. Катализаторы реакций специфического кислотного, общего кислотного и электрофильного катализа.
2. Общая технологическая схема получения осажденных катализаторов при сухом и влажном способах формирования.
3. Технология катализаторов гидроочистки нефтяных фракций. Производство катализатора для очистки керосиновых фракций и дизельного топлива.

#### **Вариант 12**

1. Катализаторы реакций специфического основного, общего основного и нуклеофильного катализа.
2. Создание определенной пористой структуры катализаторов.
3. Производство катализаторов гидрирования и дегидрирования. Производство палладиевого катализатора на носителе.

#### **Вариант 13**

1. Солевые эффекты в катализе. Первичный и вторичный солевой эффекты.
2. Производство осажденных катализаторов. Получение силикагеля - пористого кремнезема-носителя катализатора. Параметры пористой структуры силикагеля.
3. Производство катализаторов гидрирования и дегидрирования. Производство бор – алюмопалладиевого катализатора.

#### **Вариант 14**

1. Ферментативный катализ. Определение и общее понятие. Типы взаимодействия ферментов. Понятие о коферменте.
2. Методы получения силикагеля. Получение кускового и гранулированного силикагеля.
3. Катализатор гидрирования олефинов.

#### **Вариант 15**

1. Кинетика ферментативной реакции с одним субстратом. Зависимость скорости ферментативной реакции от концентрации субстрата.
2. Получение катализаторов нанесением активного компонента на носитель. Основные этапы приготовления. Типы катализаторов. Сорбционные нанесенные катализаторы.
3. Катализатор гидрирования альдегидов и сложных эфиров.

#### *Требования к оформлению контрольной работы*

1. Контрольная работа оформляется в отдельной тетради.
2. При оформлении работы сначала идет запись задания, затем его решение.
3. Контрольная работа состоит из трех заданий. Задания требуют ответа на теоретические

вопросы, в которых необходимо дать полный, развернутый ответ на поставленный вопрос.

4. В конце работы необходимо указать список использованной литературы.

5. Студент подписывает контрольную работу и предоставляет ее в деканат факультета на рецензирование.

6. Если контрольная работа не зачтена рецензентом, то ошибочно выполненные задания решаются повторно в той же тетради.

7. Студент должен выполнять контрольную работу своего варианта, в противном случае работа рецензентом не засчитывается.

Критерий оценки	Балл
Демонстрирует полное понимание поставленной задачи. Дает логически обоснованный, полный и правильный ответ на поставленный вопрос. Отсутствие ошибочных ответов.	50
Дает достаточно полный ответ, с нарушением последовательности изложения.	40
Дает неполный ответ на вопрос.	30
Нет ответа.	0

Максимальное количество баллов за выполнение контрольной работы студент получает 50, минимальное количество баллов – 30 .

### **Контрольная работа №2 по темам № 8-18**

#### **Вариант 1**

1. Способы определения кинетических параметров ферментативных реакций. Ингибирование ферментативных реакций. Типы обратимого ингибирования ферментативной реакции.
2. «Пропитные» нанесенные катализаторы. Активные компоненты. Способы нанесения активного компонента из раствора. Обработка носителя избытком раствора. Распределение активного компонента по грануле катализатора. Получение катализаторов на носителях методом пропитки.
3. Производство катализатора дегидрирования н-бутана. Основы процесса дегидрирования.

#### **Вариант 2**

1. Определение константы ингибирования при конкурентном типе ингибирования. Характерный вид зависимости при графической обработке результатов эксперимента.
2. Цеолиты и промышленные способы их получения. Классификация цеолитов. Типы цеолитов. Применение цеолитов. Гидротермальный синтез цеолитов низкого модуля.
3. Катализатор дегидрирования этилбензола. Катализатор дегидрирования олефинов.

#### **Вариант 3**

1. Определение константы ингибирования при неконкурентном ингибировании. Характерный вид зависимости при графической обработке результатов эксперимента.
2. Производство активного оксида алюминия. Основные способы получения. Фазовые превращения гидроксидов алюминия. Процесс Байера. Кислотное переосаждение. Щелочное осаждение.
3. Производство катализаторов для синтез-газа. Производство алюмоникелевого катализатора.

#### **Вариант 4**

1. Определение константы ингибирования при бесконкурентном ингибировании. Характерный вид зависимости при графической обработке результатов эксперимента.
2. Метод приготовления катализаторов, основанные на механическом смешении компонентов. Достоинства методов. Общая технологическая цепочка получения катализаторов. Способы получения.
3. Производство катализаторов для синтез-газа. Производство цинк-хромового катализатора для синтеза метанола.

#### **Вариант 5**

1. Гетерогенный катализ. Общие положения.
2. Сухой и мокрый способы смешения в процессе приготовления катализаторов. Производство смесового катализатора дегидрирования парафинов марки ИМ-2201. Принципиальная технологическая схема.
3. Катализаторы окисления. Производство серебряного катализатора.

#### **Вариант 6**

1. Катализаторы в промышленных процессах. Гетерогенные и гомогенные каталитические процессы. Важнейшие каталитические реакции ТООНС.
2. Производство смесового катализатора дегидрирования олефинов и алкилароматических углеводородов. Метод производства.
3. Катализатор окисления метанола в формальдегид.

#### **Вариант 7**

1. Основные отрасли промышленности, в которых реализованы гетерогенно-каталитические процессы.
2. Плавные каталитические системы. Типы плавных каталитических систем. Технология приготовления плавных катализаторов. Производство оксидного плавного ванадиевого катализатора. Производство железного катализатора синтеза аммиака.

3. Катализаторы риформинга углеводородов. Технология приготовления катализатора риформинга.

#### **Вариант 8**

1. Требования, предъявляемые к катализаторам. Основные потребительские характеристики катализаторов. Понятие активности катализаторов.
2. Плавные массивные металлические катализаторы. Платиновый сетчатый катализатор. Составы наиболее распространенных катализаторных сеток.
3. Безводородный риформинг бензинов.

#### **Вариант 9**

1. Процессы, протекающие на твердых катализаторах. Области протекания гетерогенных каталитических процессов.
2. Скелетные катализаторы. Состав катализаторов. Производство катализатора Ni-Ренея.
3. Охрана труда и техника безопасности работы на катализаторных фабриках.

#### **Вариант 10**

1. Стадии взаимодействия газообразных реагентов на поверхности твердых катализаторов. Технологическая характеристика твердых катализаторов. Понятие об активаторе и носителе.
2. Отравление катализаторов. Дезактивация в результате блокировки и спекания. Регенерация контактных масс.
3. Оборудование для катализаторных производств. Аппараты для сгущения и разделения суспензий.

#### **Вариант 11**

1. Факторы, определяющие активность промышленных катализаторов.
2. Катализаторы на основе природных глин, цеолитов, ионообменных смол.
3. Оборудование для катализаторных производств. Оборудование для сушки и термообработки.

#### **Вариант 12**

1. Влияние концентрации примесей. Способы установления ингибирующего влияния примесей.
2. Природные катализаторы и их активация.
3. Оборудование для катализаторных производств. Машины для проведения механических процессов.

#### **Вариант 13**

1. Селективность катализатора. Факторы, влияющие на активность и избирательность катализатора.
2. Оборудование для катализаторных производств. Реакторы для жидкофазных процессов.
3. Методы исследования катализаторов. Исследование структуры.

#### **Вариант 14**

1. Каталитические процессы, реализованные в Татарстане и, в том числе, на ОАО "НКНХ".
2. Методы исследования катализаторов. Определение активности. Определение механической прочности.
3. Катализ органометаллосилоксанами и их производство.

#### **Вариант 15**

1. Крупнейшие катализаторные производства в России.
2. Исследование структуры гетерогенных катализаторов.
3. Органохлорсиланы и их применение в катализе.

#### *Требования к оформлению контрольной работы*

1. Контрольная работа оформляется в отдельной тетради.
2. При оформлении работы сначала идет запись задания, затем его решение.
3. Контрольная работа состоит из трех заданий. Задания требуют ответа на теоретические вопросы, в которых необходимо дать полный, развернутый ответ на поставленный вопрос.
4. В конце работы необходимо указать список использованной литературы.
5. Студент подписывает контрольную работу и предоставляет ее в деканат факультета на рецензирование.
6. Если контрольная работа не зачтена рецензентом, то ошибочно выполненные задания решаются повторно в той же тетради.
7. Студент должен выполнять контрольную работу своего варианта, в противном случае работа рецензентом не засчитывается.

<b>Критерий оценки</b>	<b>Балл</b>
Демонстрирует полное понимание поставленной задачи. Дает логически обоснованный, полный и правильный ответ на поставленный вопрос. Отсутствие ошибочных ответов.	20
Дает достаточно полный ответ, с нарушением последовательности изложения.	16
Дает неполный ответ на вопрос.	12
Нет ответа.	0

Максимальное количество баллов за выполнение контрольной работы студент получает 20, минимальное количество баллов – 12 .

