

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Кузбасский государственный технический университет
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии

Составители
А. Л. Перкель
С. Г. Воронина

КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ И ИХ ПРОИЗВОДНЫЕ В ОРГАНИЧЕСКОМ СИНТЕЗЕ

Методические указания к лабораторным работам

Рекомендовано учебно-методической комиссией
направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
в качестве электронного издания
для использования в образовательном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Боркина Г. Г. – доцент, доцент кафедры технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии

Котельникова Т. С. – доцент, доцент кафедры технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии

Перкель Александр Львович

Воронина Светлана Геннадьевна

Карбоновые кислоты и их производные в органическом синтезе: методические к лабораторным работам по дисциплинам «**Органическая химия**», «**Избранные главы органической химии**» для обучающихся направления подготовки 18.03.01 «Химическая технология», всех форм обучения / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, Кафедра технологии пластмасс, органических веществ и нефтехимии; составители А. Л. Перкель, С. Г. Воронина. – Кемерово: КузГТУ, 2025. – 1 файл (533 Кб). – Текст: электронный.

Приведено содержание лабораторных работ и теоретический материал, необходимый для успешного изучения дисциплины.

Назначение издания – приобретение экспериментальных навыков по проведению синтезов, связанных с получением и превращениями карбоновых кислот и их производных, а также закрепление теоретических положений, касающихся этих реакций.

© Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2025

© Перкель А. Л., Воронина С. Г.,
составление, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ.....	3
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	3
2.1. Строение, реакционная способность, катализ реакций карбоновых кислот и их производных	3
2.2. Некоторые реакции карбоновых кислот и их производных	6
2.2.1. Реакции этерификации	6
2.2.2. Гидролиз и переэтерификация сложных эфиров	7
2.2.3. Сложноэфирная конденсация Кляйзена	8
2.2.4. Гидролиз нитрилов и амидов	9
3. МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТЕЗОВ	10
3.1. Получение бутилацетата	10
3.2. Получение изобутилацетата	13
3.3. Получение изоамилацетата	14
3.4. Получение пропилацетата	15
3.5. Получение циклогексилацетата	16
3.6. Получение этилацетата	17
3.7. Получение изопропилацетата	19
3.8. Получение этилбензоата	20
3.9. Получение фенилбензоата	22
3.10. Получение высших жирных кислот гидролизом жира	23
3.11. Получение адипиновой кислоты гидролизом диэтиладипината	25
3.12. Получение бензойной кислоты гидролизом этилбензоата	26
4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ	27
5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ	27
6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	28

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

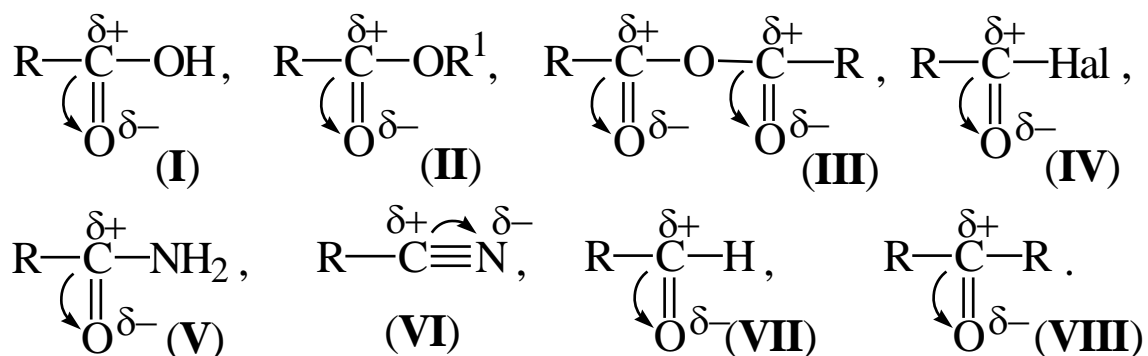
Приобретение экспериментальных навыков по проведению синтезов, связанных с получением и превращениями карбоновых кислот и их производных, а также закрепление теоретических положений, касающихся этих реакций.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

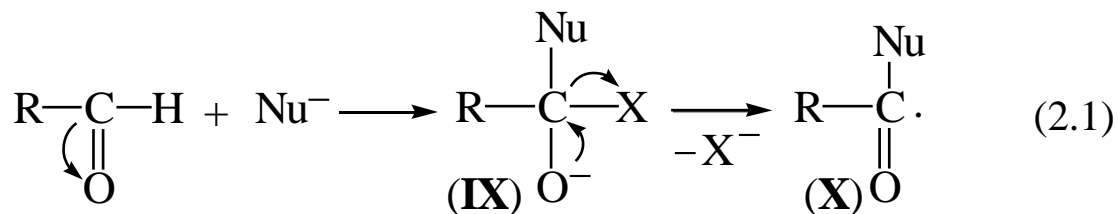
Реакции карбоновых кислот и их производных (сложных эфиров, амидов, ангидридов, галогенангидридов, нитрилов) широко используются в органическом синтезе с целью получения растворителей, пластификаторов, компонентов смазочных масел, присадок к консистентным смазкам, лежат в основе производства полиамидных и полиэфирных материалов, модификации биополимеров. Эти соединения являются также промежуточными продуктами или реагентами при проведении значительного числа многостадийных синтезов.

2.1. Строение, реакционная способность, катализ реакций карбоновых кислот и их производных

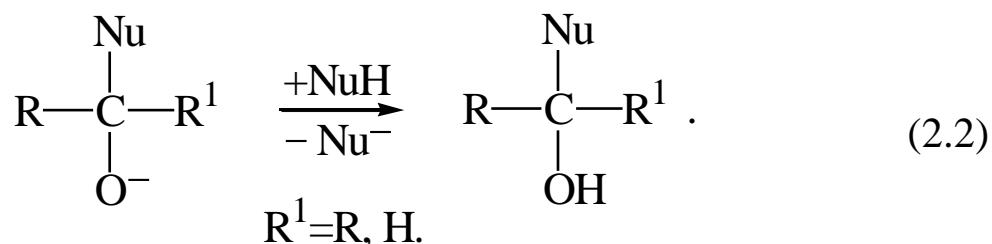
Карбоновые кислоты (**I**), сложные эфиры (**II**), ангидриды (**III**), галогенангидриды (**IV**), амиды (**V**), нитрилы (**VI**) так же, как альдегиды (**VII**) и кетоны (**VIII**), содержат в своем составе ненасыщенную электроноакцепторную карбонильную группу ($C=O$) или ее аналог (группу $C\equiv N$).



Поэтому взаимодействие (I)–(V) с нуклеофилами приводит к образованию так называемого *тетраздрического интермедиата* (IX):



Однако в отличие от интермедиатов, образующихся из альдегидов и кетонов, дальнейшее превращение (**IX**) связано не с его стабилизацией путем присоединения протона (реакция (2.2)), а с отщеплением X^- и образованием продукта замещения (**X**). Это связано с тем обстоятельством, что X (в виде X^-) в производных карбоновых кислот является хорошей потенциальной уходящей группой, в то время как H и R (в виде H^- или R^-) в альдегидах и кетонах относятся к числу наиболее плохих уходящих групп.



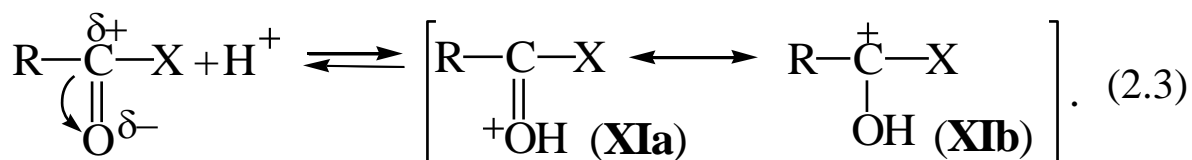
Относительная реакционная способность производных карбоновых кислот по отношению к данному нуклеофилу зависит от относительной электронодонорной или электроноакцепторной способности группы X по отношению к карбонильному атому углерода и от ее способности выступать в качестве уходящей группы. Обычно реакционная способность производных карбоновых кислот уменьшается в ряду:



Тетраэдрический механизм (2.1) характерен для большинства тех реакций производных карбоновых кислот, которые протекают с участием карбонильной группы. В случае стерически-затрудненных карбоновых кислот, а также сложных

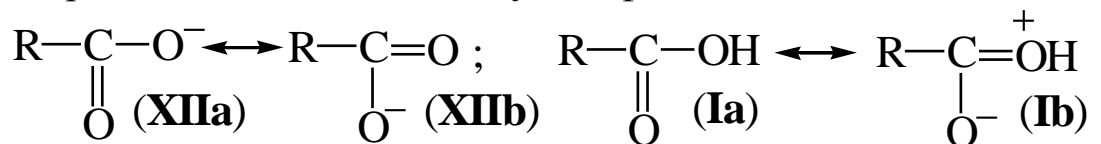
эфиров третичных спиртов реакции могут происходить и по иным механизмам, в частности по механизму S_N1 .

При взаимодействии соединений (I)–(V) с нуклеофилами по реакциям типа (2.1) наиболее универсальное значение имеет кислотный катализ, осуществляемый посредством присоединения протона по карбонильной группе:

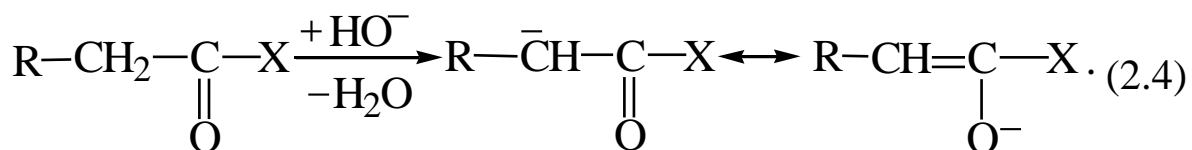


Образующийся при этом катион (XI) легче взаимодействует с нуклеофилами, чем исходное соединение.

Катализ основаниями менее универсален и не применим для карбоновых кислот. В присутствии основания, например, гидроксид-иона, карбоновая кислота превращается в карбоксилат-ион (XII), который лучше, чем исходная кислота (I), стабилизирован посредством эффекта сопряжения и поэтому менее реакционноспособен к нуклеофильной атаке.



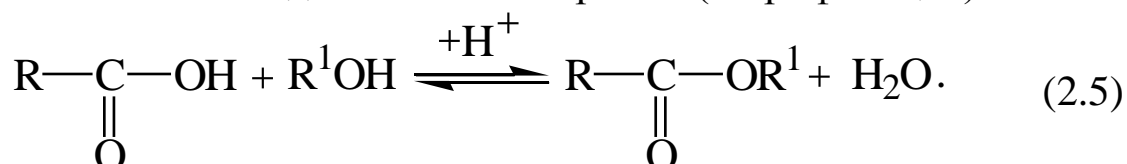
Помимо взаимодействий, обусловленных атакой нуклеофилов по группам $\text{C}=\text{O}$ и $\text{C}\equiv\text{N}$, для производных карбоновых кислот характерны и реакции, связанные с кислотным характером CH -связей в α -положении к функциональной группе. Это обусловлено возможностью стабилизации соответствующих карбанионов электроноакцепторными группами $\text{C}=\text{O}$ и (или) $\text{C}\equiv\text{N}$, например:



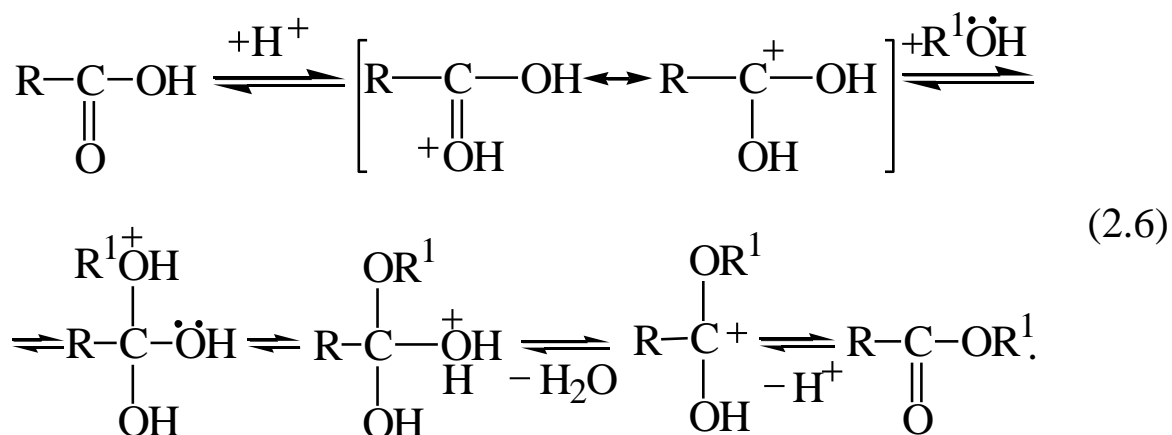
2.2. Некоторые реакции карбоновых кислот и их производных

2.2.1. Реакция этерификации

Одной из наиболее известных реакций карбоновых кислот является их взаимодействие со спиртами (этерификация):



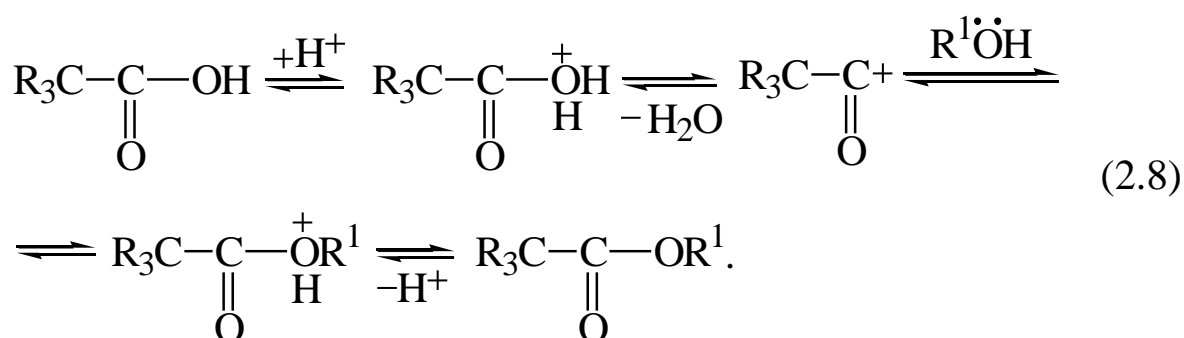
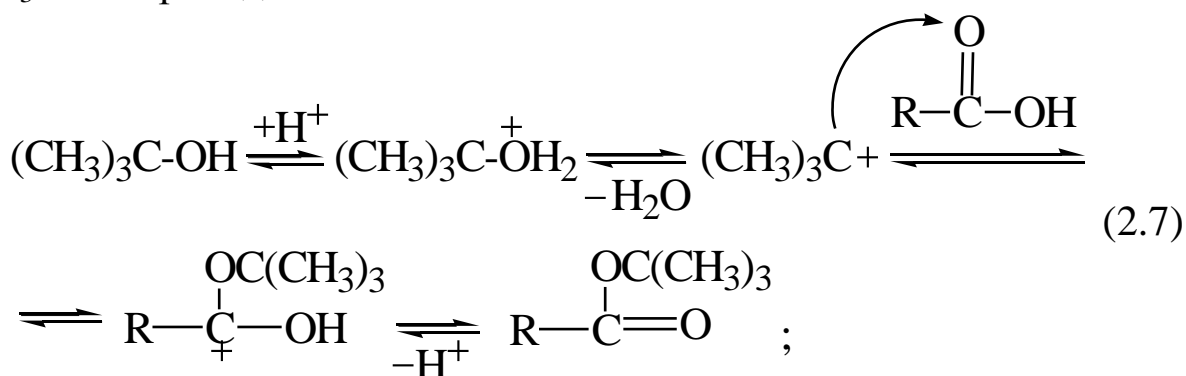
В большинстве случаев такое превращение требует кислотного катализа и протекает как нуклеофильное замещение по тетраэдрическому механизму, обозначаемому обычно $A_{AC}2$ (катализируемое кислотой расщепление связи ацил-кислород, бимолекулярное):



В случае участия в реакции этерификации третичных спиртов и пространственно-затрудненных кислот реализуются механизмы (2.7) и (2.8), которые принято обозначать $A_{AL}1$ (катализируемое кислотой расщепление связи алкил-кислород, мономолекулярное) и $A_{AC}1$ (катализируемое кислотой расщепление связи ацил-кислород, мономолекулярное).

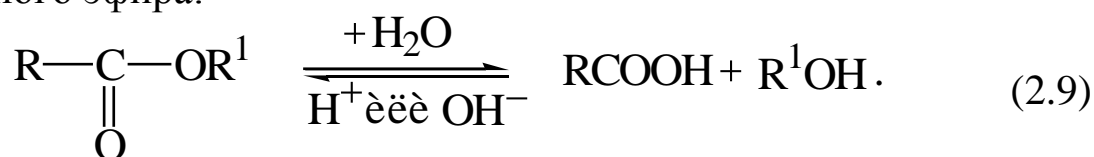
Возможность осуществления механизма (2.7) связана с повышенной устойчивостью третичного карбокатиона. Реакции типа (2.8) протекают только в сильноионизирующих растворителях, например, концентрированной серной кислоте. Тетраэдрический механизм (2.6) при этом ингибируется

вследствие пространственных затруднений, создаваемых группой R_3C- в переходном состоянии.

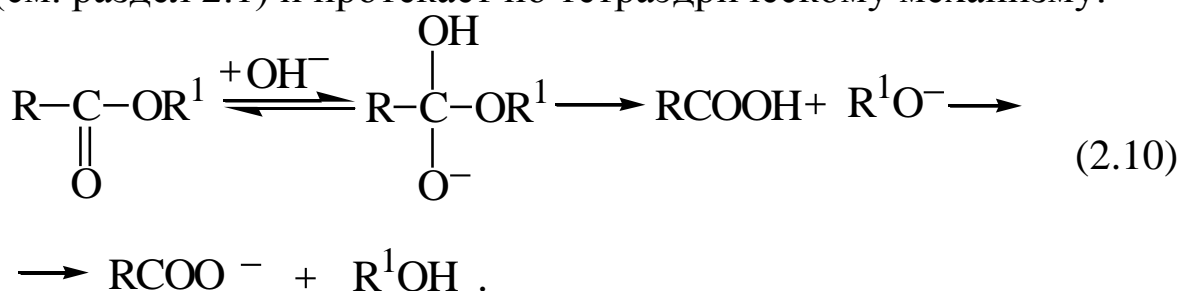


2.2.2. Гидролиз и переэтерификация сложных эфиров

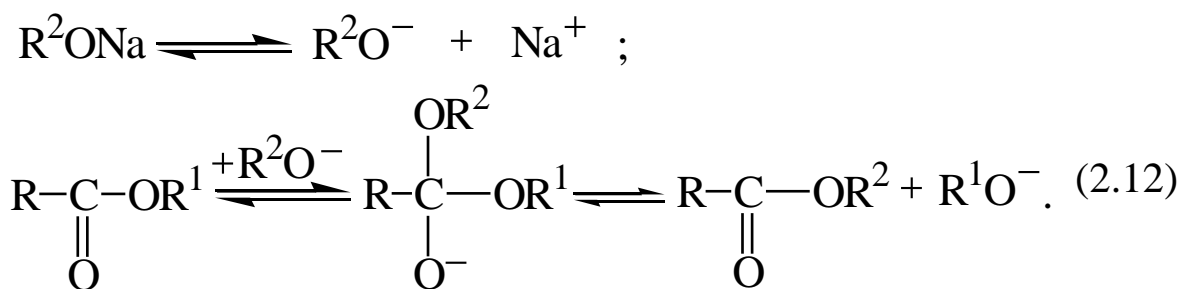
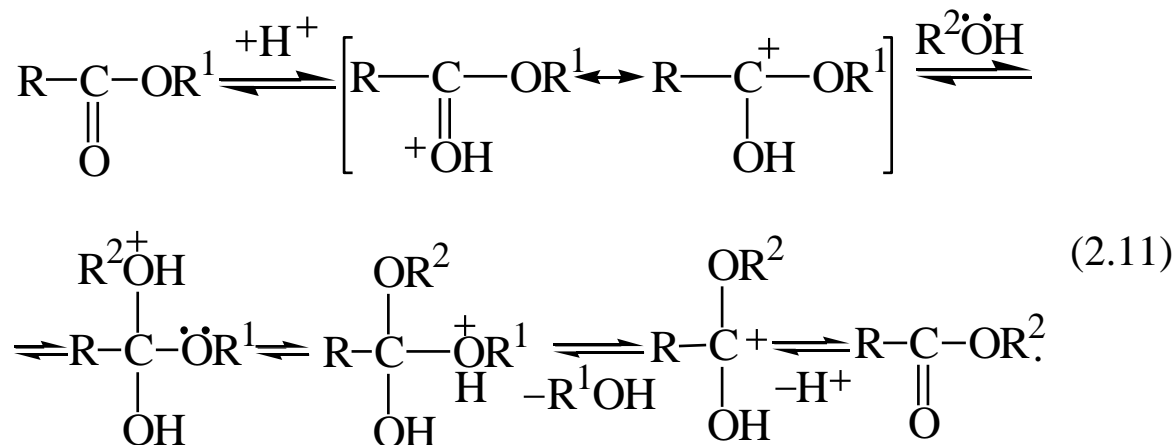
Взаимодействие сложных эфиров с водой с образованием карбоновой кислоты и спирта известно как реакция гидролиза сложного эфира:



При катализе кислотами в зависимости от строения реагентов реакция (2.9) протекает по механизмам обратным (2.6)–(2.8). В щелочной среде процесс практически необратим (см. раздел 2.1) и протекает по тетраэдрическому механизму:



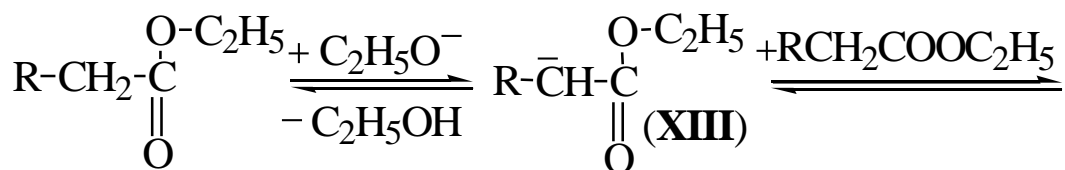
Широкое распространение в органическом синтезе имеют и реакции переэтерификации сложных эфиров спиртами. Эти превращения катализируются кислотами или основаниями (например, алкоголями щелочных металлов):

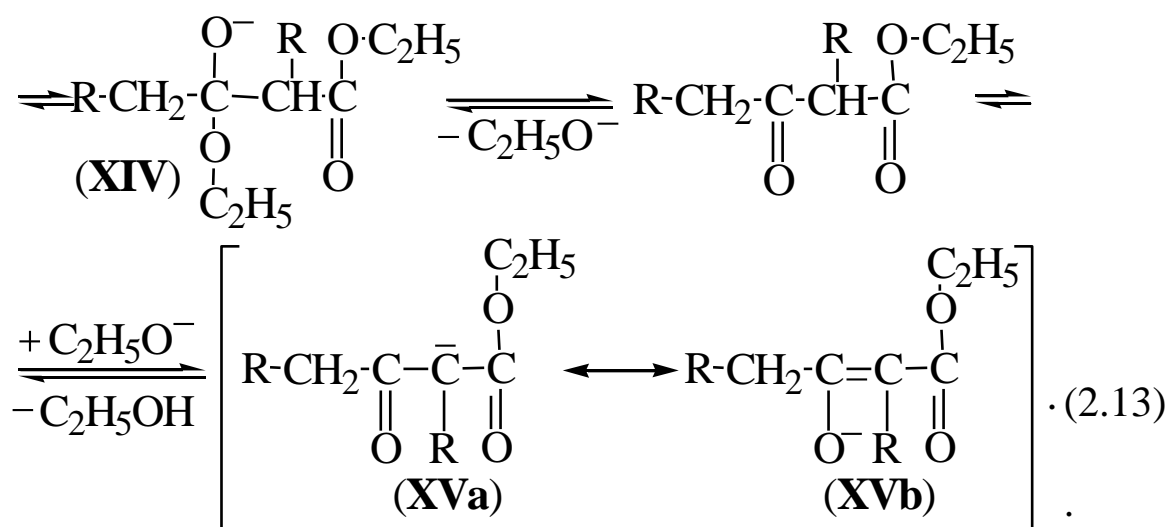


Реакции типа (2.12) можно использовать для синтеза тех сложных эфиров, спиртовая компонента которых неустойчива в кислой среде.

2.2.3. Сложноэфирная конденсация Кляйзена

Среди реакций сложных эфиров с участием α -СН-связей наибольшую известность имеет сложноэфирная конденсация Кляйзена:



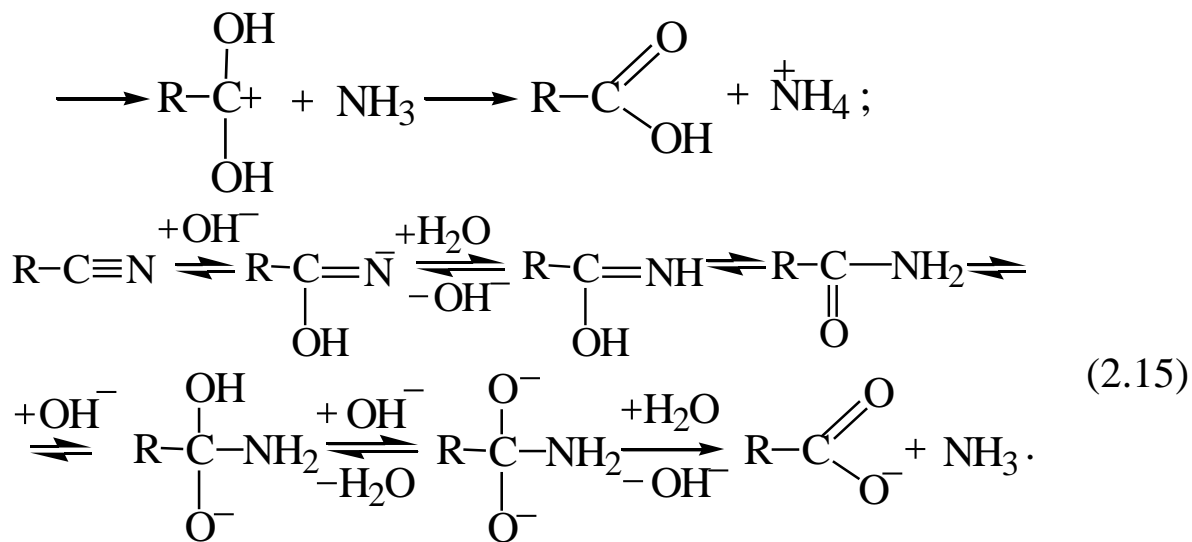
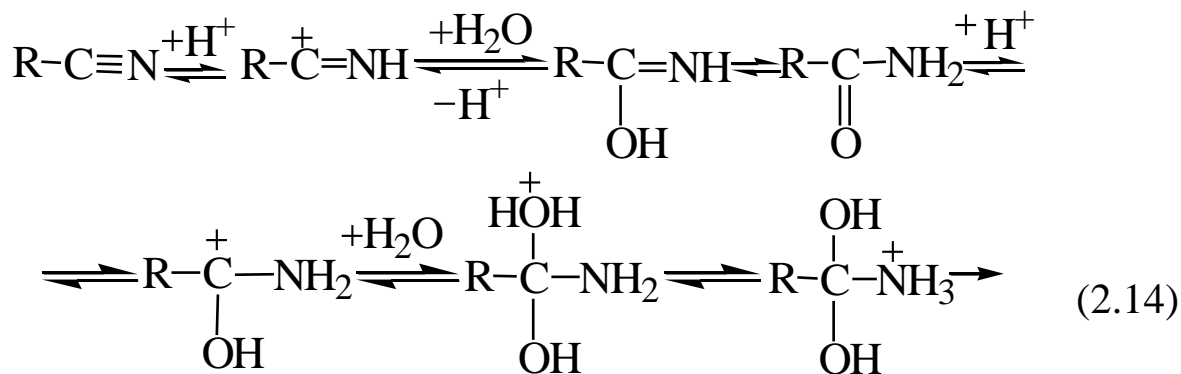


Механизм реакции (2.13) включает образование карбаниона (XIII) и его нуклеофильное присоединение по карбонильной группе другой молекулы сложного эфира. Образующийся анион (XIV) не присоединяет протон (как это имеет место при альдольной конденсации альдегидов и кетонов), а отщепляет алкоголь-ион с образованием β-кетоефира. Равновесный выход β-кетоефира невелик, но он может быть увеличен введением дополнительного количества алкоголя, который способствует превращению β-кетоефира в устойчивый анион (XV), стабилизированный сопряжением.

2.2.4. Гидролиз нитрилов и амидов

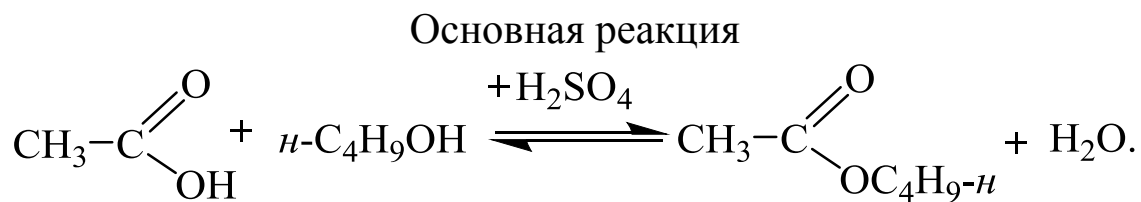
Группа C≡N более сходна с группой C=O альдегидов и кетонов, чем с функциональными группами карбоновых кислот и их производных. Поэтому для нитрилов карбоновых кислот характерны реакции нуклеофильного присоединения по месту разрыва полярной тройной связи; тетраэдрический интермедиат при этом не образуется.

В органическом синтезе широко применяются реакции гидролиза нитрилов в кислой или щелочной среде с образованием карбоновых кислот или соответствующих карбоксилат-ионов. Промежуточными продуктами в этих превращениях являются амиды, гидролиз которых осуществляется по типичным тетраэдрическим механизмам:

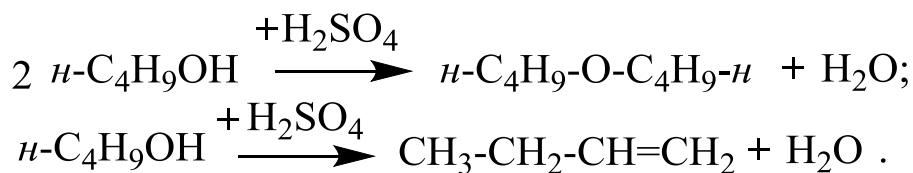


3. МЕТОДИКИ ВЫПОЛНЕНИЯ СИНТЕЗОВ

3.1. Получение бутилацетата



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 10,5 г (10 мл)
<i>n</i> -Бутиловый спирт ($\rho=0,8095$)	– 13 г (16 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 2 г (1 мл)
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	

Реактивы для выполнения гидроксамовой пробы

Гидроксиламин солянокислый
(насыщенный спиртовый раствор)

Калия гидроксид
(насыщенный спиртовый раствор)

Соляная кислота, 1 М раствор

Железа (III) хлорид, 3 %-й водный
раствор

Посуда: круглодонная колба на 100 мл, насадка Дина-Старка, холодильник Либиха, обратный холодильник, насадка Вюрца, аллонж, приемник, термометр, делительная воронка.

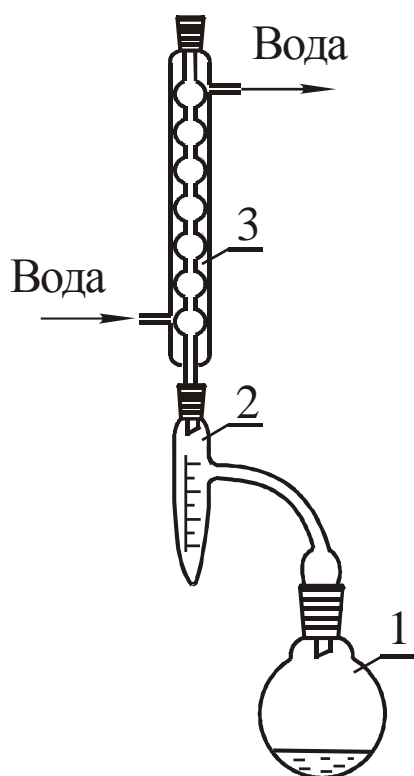


Рис. 3.1. Установка для получения сложных эфиров:

1 – круглодонная колба; 2 – насадка Дина-Старка; 3 – обратный холодильник

Выполнение синтеза

В круглодонную колбу на 100 мл, снабженную насадкой Дина-Старка и обратным водяным холодильником (рис. 3.1), наливают 10 мл ледяной уксусной кислоты, 16 мл н-бутилового спирта и 1 мл концентрированной серной кислоты. После внесения «кипелок» реакционную смесь нагревают на воздушной бане до кипения и наблюдают за количеством выделившейся воды. Чтобы избежать увеличения выхода побочных продуктов, не следует перегревать реакционную смесь. Нагревание прекращают, когда выделится количество воды, примерно равное рассчитанному по уравнению.

После охлаждения содержимое колбы и насадки Дина-Старка переливают в делительную воронку, промывают водой, затем 10 %-ным раствором карбоната натрия и снова водой. Бутилацетат сушат безводным хлоридом кальция и перегоняют на установке для простой перегонки (рис. 3.2), собирая фракцию, кипящую при 123–128 °С. Выход бутилацетата 13 г.

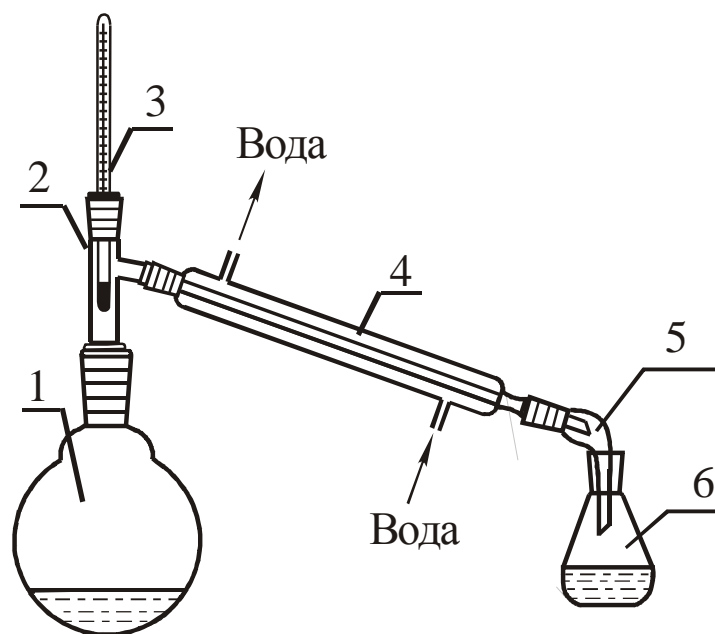


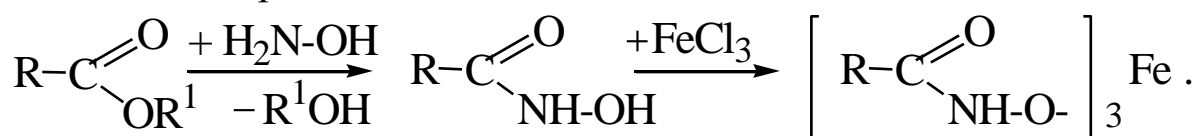
Рис. 3.2. Установка для простой перегонки:

- 1 – круглодонная колба; 2 – насадка Вюрца; 3 – термометр;
4 – прямой холодильник; 5 – аллонж; 6 – приемная колба

Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой.

Гидроксамовая проба

Сложные эфиры образуют с гидроксиламином гидроксамовые кислоты, которые с хлоридом железа (III) дают интенсивно окрашенные соединения.

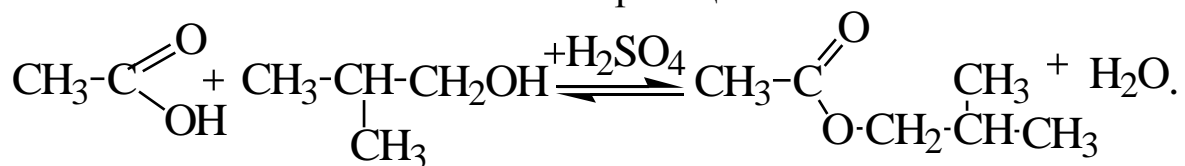


Выполнение пробы

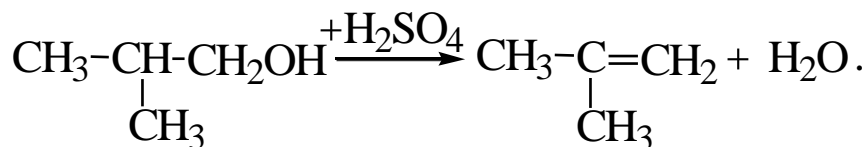
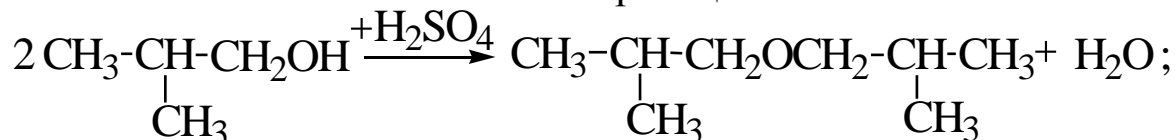
В пробирку помещают две-три капли сложного эфира и две капли насыщенного спиртового раствора солянокислого гидроксиламина. Смесь нагревают на спиртовке и оставляют на 1 мин. Затем добавляют одну каплю насыщенного спиртового раствора гидроксида калия и осторожно нагревают до начала кипения. После охлаждения смесь подкисляют тремя-пятью каплями 1 М раствора соляной кислоты и добавляют одну каплю 3 %-го водного раствора хлорида железа (III). Наблюдают появление розового, красного или фиолетового окрашивания.

3.2. Получение изобутилацетата

Основная реакция



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 10,5 г (10 мл)
Изобутиловый спирт ($\rho=0,803$)	– 13 г (16 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 2 г (1 мл)
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	

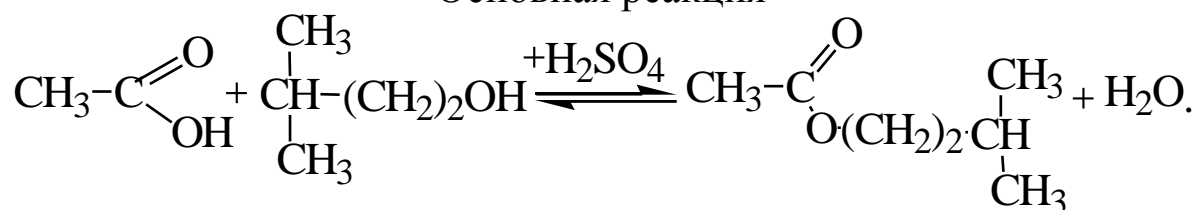
Выполнение синтеза

Синтез проводят по методике, приведенной в работе 3.1.

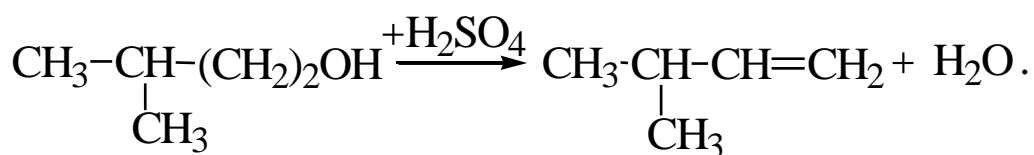
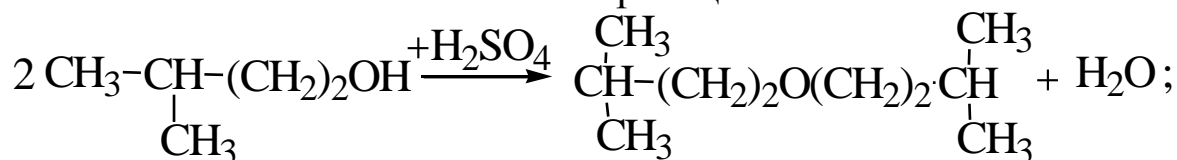
Выход изобутилацетата 14–16 г. Температура кипения 118 °С. Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.3. Получение изоамилацетата

Основная реакция



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 15 г (14 мл)
Изоамиловый спирт ($\rho=0,812$)	– 22,5 г (28 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 2 г (1 мл)
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	

Выполнение синтеза

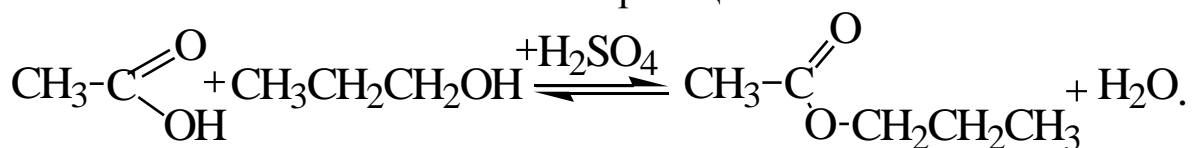
Синтез проводят по методике, приведенной в работе 3.1.

Выход изоамилацетата 20–23 г. Температура кипения 138–142 °С.

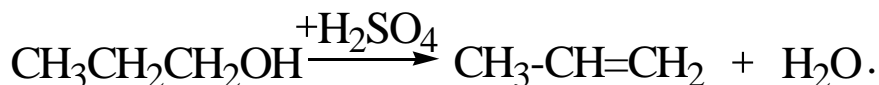
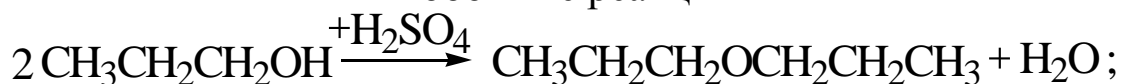
Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.4. Получение пропилацетата

Основная реакция



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 21 г (20 мл)
Пропиловый спирт ($\rho=0,8035$)	– 21 г (27 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 5,5 г (3 мл)
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	

Выполнение синтеза

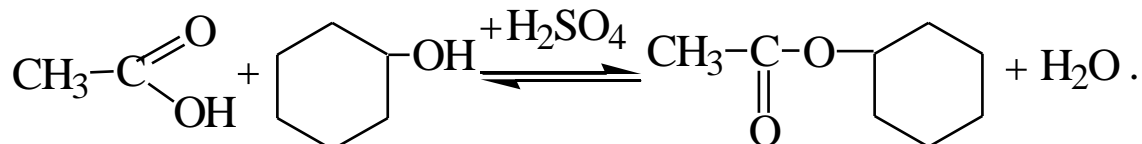
Синтез проводят по методике, приведенной в работе 3.1.

Выход пропилацетата 25 г. Температура кипения 101 °С.

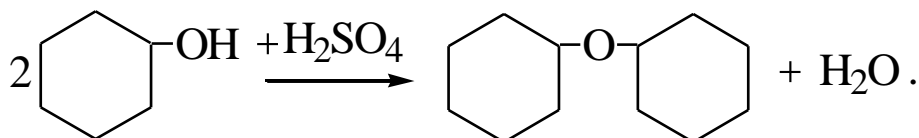
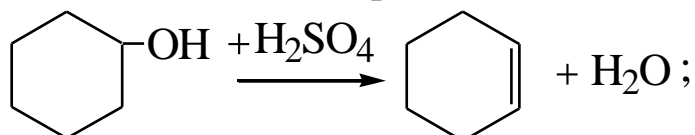
Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.5. Получение циклогексилацетата

Основная реакция



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 12 г (11мл)
Циклогексанол ($\rho=0,968$)	– 24 г (25 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 3–5 капель
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	
Натрия хлорид	

Посуда: круглодонная колба на 100 мл, насадка Дина-Старка, холодильник Либиха, шариковый холодильник, насадка Вюрца, аллонж, приемник, термометр, делительная воронка.

Выполнение синтеза

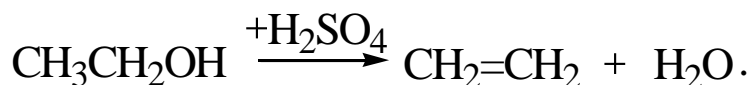
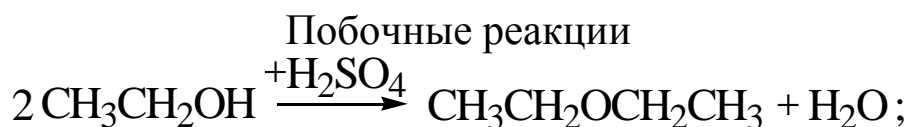
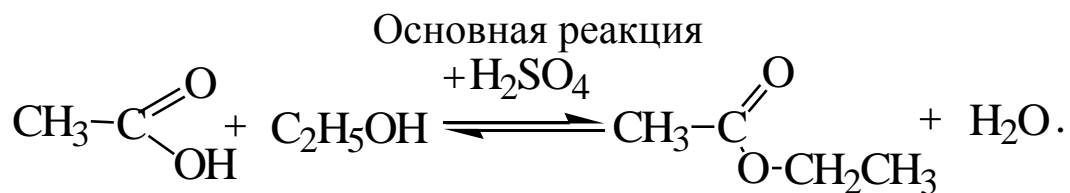
В круглодонную колбу на 100 мл, снабженную насадкой Дина-Старка и обратным водяным холодильником (рис. 3.1), наливают 11 мл ледяной уксусной кислоты, 25 мл циклогексанола и 3–5 капель концентрированной серной кислоты. После внесения «кипелок» реакционную смесь нагревают на воздушной бане до кипения и наблюдают за количеством выделившейся воды в насадке Дина-Старка. Чтобы избежать увеличения выхода

побочных продуктов, не следует перегревать реакционную смесь. Нагревание прекращают, когда выделится количество воды, примерно равное рассчитанному по уравнению.

После охлаждения реакционную смесь переливают из колбы в делительную воронку, промывают небольшим количеством воды, затем 10 %-ным раствором карбоната натрия и снова водой. Если органический и водный слой плохо расслаиваются, то к смеси добавляют небольшими порциями сухой NaCl. Циклогексилацетат сушат безводным хлоридом кальция и перегоняют на установке для простой перегонки (рис. 3.2), собирая фракцию, кипящую при 165–173 °С. Выход циклогексилацетата 20 г. Температура кипения 173 °С.

Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.6. Получение этилацетата



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$)	– 21 г (20 мл)
Этиловый спирт, 95 %-й	– 19 г (24 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 5,5 г (3 мл)
Натрия карбонат	– 5 г
Кальция хлорид безводный	

Посуда: колба Вюрца на 100 мл, холодильник Либиха, аллонж, приемник, термометр, делительная воронка, капельная воронка.

Выполнение синтеза

Получение этилацетата осуществляют на установке, представленной на рис. 3.3.

В круглодонную колбу (1) емкостью 100 мл помещают 4 мл этилового спирта и осторожно при перемешивании добавляют 3 мл концентрированной серной кислоты. После этого колбу через насадку Вюрца (3) соединяют с нисходящим водяным холодильником (5) и капельной воронкой (4), и нагревают на песчаной бане до 140 °С. Температуру бани контролируют термометром (2). К содержимому колбы постепенно приливают из капельной воронки смесь 20 мл этилового спирта и 20 мл ледяной уксусной кислоты с такой скоростью, с какой отгоняется образующийся этилацетат.

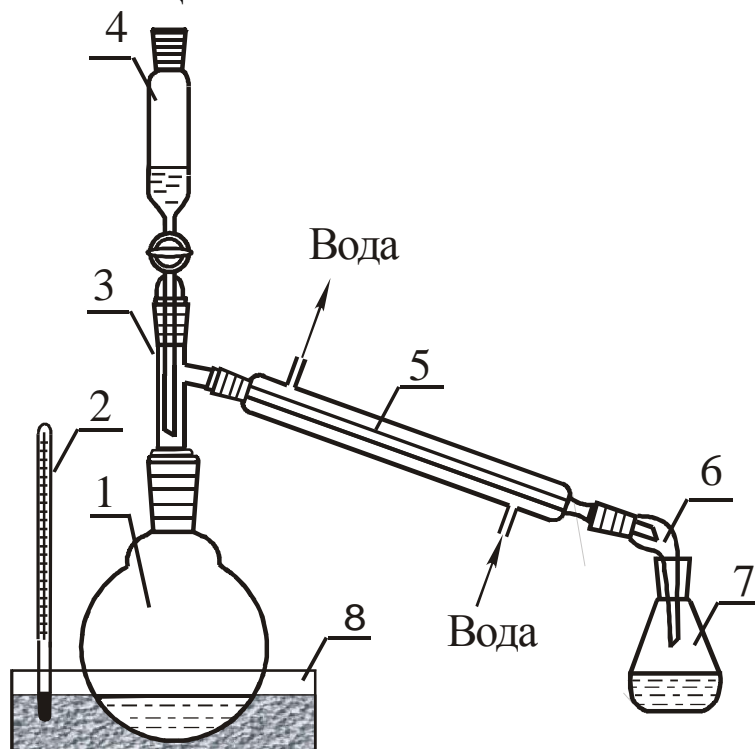


Рис. 3.3. Установка для получения этилацетата:

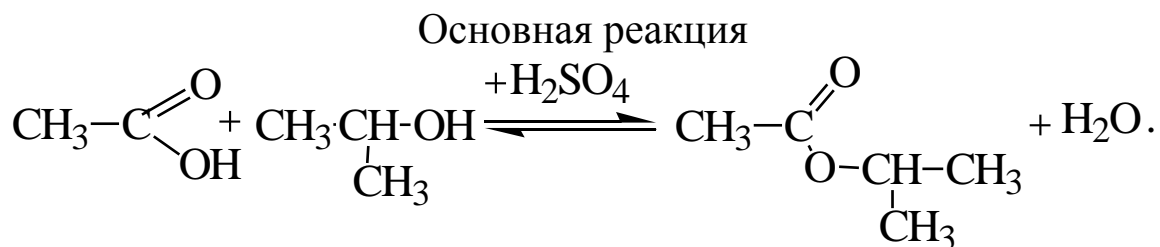
- 1 – круглодонная колба; 2 – термометр; 3 – насадка Вюрца;
 5 – холодильник; 6 – аллонж; 7 – приемная колба;
 8 – песчаная баня

В процессе отгонки, которая длится около 2 часов, поддерживают (включением и выключением плитки) температуру бани – 140 °С (при более высокой температуре усиливается образование побочного продукта – диэтилового эфира). По окончании реакции полученный дистиллат, содержащий примесь уксусной кислоты, нейтрализуют концентрированным раствором карбоната натрия. Его добавляют постепенно при перемешивании стеклянной палочкой (происходит вспенивание вследствие выделения углекислого газа). Раствор карбоната натрия добавляют до тех пор, пока индикаторная бумажка, опущенная в верхний эфирный слой, не перестанет показывать кислую реакцию. Этилацетат отделяют при помощи делительной воронки от нижнего водного слоя и встряхивают с насыщенным раствором хлорида кальция (8 г хлорида кальция в 8 г воды) для удаления этилового спирта, который образует с хлоридом кальция соединение состава $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, нерастворимое в этилацетате, но растворимое в воде.

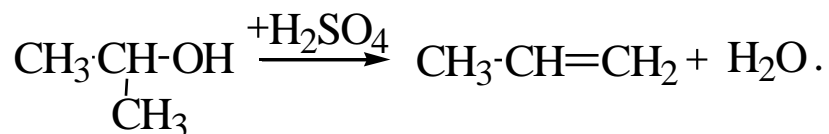
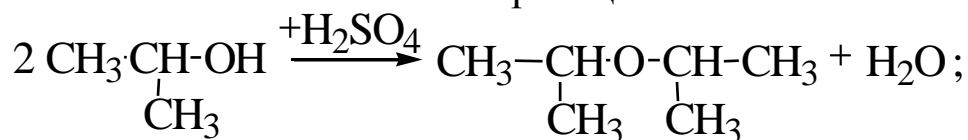
Эфир сушат безводным хлоридом кальция и перегоняют на водяной бане. При 71–75 °С отгоняется азеотропная смесь этилацетата, этанола и воды, при 75–78 °С перегоняется практически чистый этилацетат. Выход 20 г.

Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.7. Получение изопропилацетата



Побочные реакции



Реактивы

Уксусная кислота ледяная ($\rho=1,049$) – 21 г (20 мл)Изопропиловый спирт ($\rho=0,7851$) – 21 г (27 мл)Серная кислота ($\rho=1,84$) – 5,5 г (3 мл)

Натрия карбонат – 5 г

Кальция хлорид безводный

Выполнение синтеза

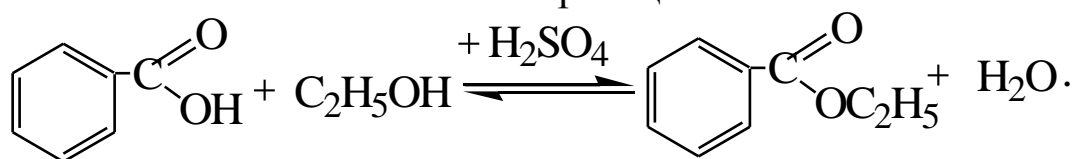
Синтез проводят по методике, приведенной в работе 3.6.

Выход изопропилацетата 25 г. Температура кипения 88 °С.

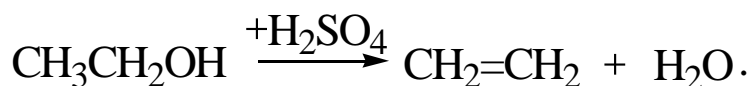
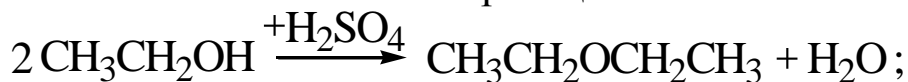
Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.8. Получение этилбензоата

Основная реакция



Побочные реакции



Реактивы

Бензойная кислота	– 10 г
Этиловый спирт, 95 %-й	– 26 г (32 мл)
Серная кислота ($\rho=1,84$)	– 2 г (1 мл)
Натрия карбонат	– 10 г
Кальция хлорид безводный	

Посуда: круглодонная колба на 100 мл, холодильник Либиха, обратный холодильник, хлоркальциевая трубка, насадка Вюрца, аллонж, приемник, термометр, делительная воронка.

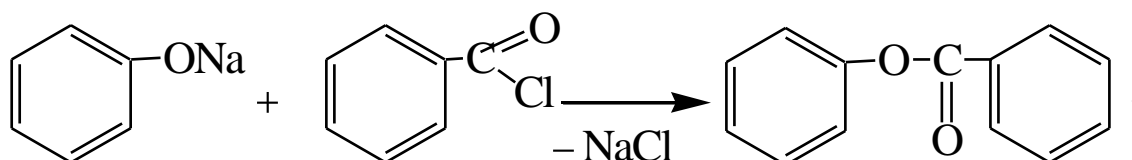
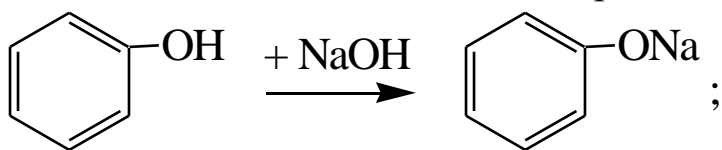
Выполнение синтеза

В круглодонную колбу емкостью 100 мл помещают 10 г бензойной кислоты, 32 мл этилового спирта и 1 мл концентрированной серной кислоты. Колбу соединяют с обратным водяным холодильником, снабженным хлоркальциевой трубкой, и нагревают на кипящей водяной бане в течение 4 часов. Затем заменяют обратный холодильник нисходящим и отгоняют как можно полно не вступивший в реакцию этиловый спирт. Остаток охлаждают, выливают в 80 мл холодной воды и нейтрализуют твердым карбонатом натрия, который добавляют небольшими порциями до тех пор, пока реакция среды не станет слабощелочной по универсальному индикатору. Этилбензоат отделяют от водного слоя с помощью делительной воронки, сушат безводным хлоридом кальция и перегоняют на установке типа (3.2), но без подачи воды в холодильник. Собирают фракцию, кипящую при 210–214 °С. Выход 11 г.

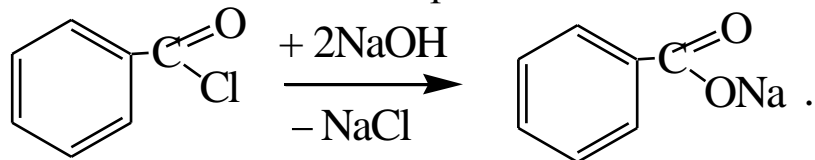
Наличие сложноэфирной группы в синтезированном препарате подтверждают гидроксамовой пробой (см. работу 3.1).

3.9. Получение фенилбензоата

Основные реакции



Побочная реакция



Реактивы

Фенол	– 2,4 г
Бензоил хлористый	– 4,3 мл
Натрия гидроксид	– 4 г
Спирт этиловый	– 10 мл

Посуда: колба плоскодонная на 100 мл.

Выполнение синтеза

В плоскодонной колбе растворяют 4 г гидроксида натрия в 36 мл воды, добавляют 2,4 г фенола и перемешивают до растворения последнего. Затем в колбу вносят 4,3 мл хлористого бензоила и энергично встряхивают содержимое до исчезновения запаха хлористого бензоила и выпадения осадка. Осадок отфильтровывают и промывают водой. После перекристаллизации из этилового спирта получают 4 г эфира. Температура плавления 70 °С.

3.10. Получение высших жирных кислот гидролизом жира

Топленые животные жиры представляют собой сложные эфиры глицерина и высших насыщенных и ненасыщенных карбоновых кислот. Относительное содержание основных кислот в говяжьем, свином и бараньем жире приведено в таблице 3.1.

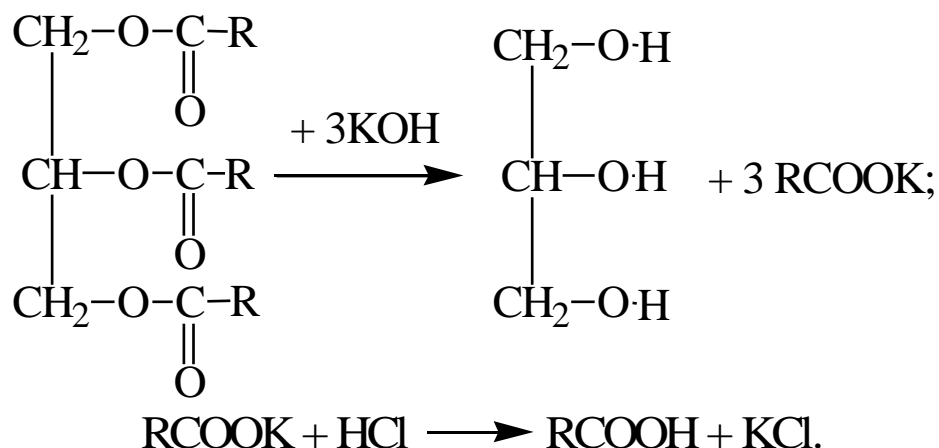
На основе карбоновых кислот, полученных гидролизом животных и растительных жиров, производят туалетное мыло, компоненты шампуней и др. Второй компонент реакции – глицерин – также находит широкое применение. Гидролиз (омыление) жира в промышленности осуществляют водяным паром при повышенных температурах в автоклавах, а также водным раствором гидроксида или карбоната натрия. В первом случае получают свободные кислоты, а во втором – натриевые соли карбоновых кислот (мыла).

Таблица 3.1

Содержание основных карбоновых кислот
в топленых животных жирах

Наименование кислоты	Формула	Относительное содержание кислот, %		
		Говяжий жир	Свиной жир	Бараний жир
Миристиновая	$C_{13}H_{27}COOH$	3,3	0,8–0,9	3,0
Пальмитиновая	$C_{15}H_{31}COOH$	24,9	29,2	23,6
Стеариновая	$C_{17}H_{35}COOH$	24,9	16,3	31,7
Олеиновая	$C_{17}H_{33}COOH$	41,8	40,5	35,4

Основные реакции



Реактивы

Жир говяжий топлёный	– 2 г
Калия гидроксид	– 3 г
Этиловый спирт	– 30 мл
Соляная кислота	
концентрированная ($\rho=1,19$)	

Посуда: круглодонная колба на 100 мл, обратный холодильник, стакан на 200 мл.

Выполнение синтеза

В круглодонную колбу емкостью 100 мл помещают 2 г топленого говяжьего жира, 3 г гидроксида калия, 15 мл этилового спирта и 2 мл воды. Затем устанавливают обратный холодильник и реакционную смесь нагревают при слабом кипении на воздушной бане в течение 3 часов.

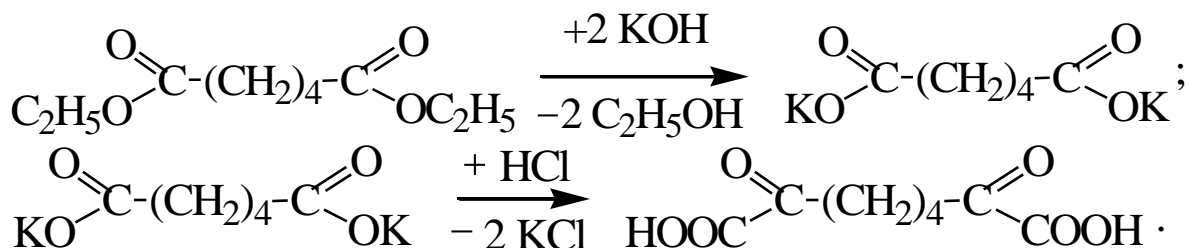
После окончания реакции содержимое колбы переливают в стакан, растворяют в 50 мл воды и подкисляют смесью воды с концентрированной соляной кислотой (1:1) до кислой реакции по универсальному индикатору.

Выпавшие в осадок кислоты отсасывают на воронке Бюхнера и сушат. Выход 1,7 г. Твердые насыщенные кислоты могут быть частично выделены перекристаллизацией смеси из этилового спирта. Выход около 0,6 г. Температура плавления 53–56 °С. При разбавлении маточного раствора водой выделяется

мазеообразный продукт, состоящий из олеиновой кислоты и небольших количеств насыщенных кислот.

3.11. Получение адипиновой кислоты гидролизом диэтиладипината

Основные реакции



Реактивы

Диэтиловый эфир адипиновой кислоты	– 5 г
Калия гидроксид	– 12 г
Соляная кислота	
концентрированная (ρ=1,19)	

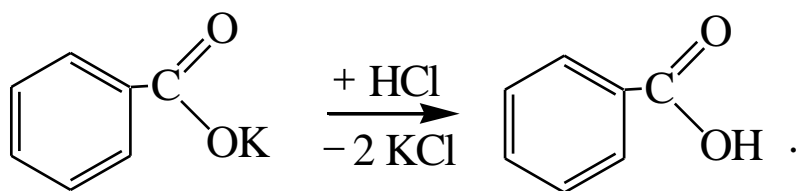
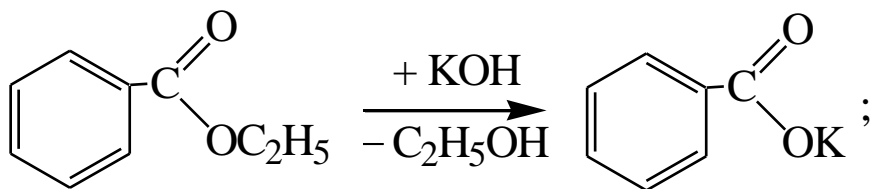
Посуда: круглодонная колба на 50 мл, обратный холодильник, стакан на 200 мл.

Выполнение синтеза

В круглодонную колбу емкостью 50 мл помещают 5 г диэтилового эфира адипиновой кислоты, 12 г гидроксида калия, 20 мл воды и кипятят с обратным холодильником 90 мин. О завершении реакции судят по исчезновению маслянистого слоя. После этого реакционную смесь охлаждают, добавляют концентрированную соляную кислоту до кислой реакции по универсальному индикатору. Выпавшую кислоту отфильтровывают на воронке Бюхнера, промывают небольшим количеством ледяной воды и сушат. Выход 3,0 г. Температура плавления 153 °С.

3.12. Получение бензойной кислоты гидролизом этилбензоата

Основные реакции



Реактивы

Этилбензоат	– 2 г
Калия гидроксид	– 5 г
Соляная кислота концентрированная ($\rho=1,19$)	

Посуда: круглодонная колба на 50 мл, обратный холодильник, стакан на 200 мл.

Выполнение синтеза

В круглодонную колбу емкостью 50 мл помещают 2 г этилбензоата, 5 г гидроксида калия, 15 мл воды и кипятят с обратным холодильником 90 мин. О завершении реакции судят по исчезновению маслянистого слоя. После этого реакционную смесь охлаждают, добавляют концентрированную соляную кислоту до кислой реакции по универсальному индикатору. Выпавшую бензойную кислоту отфильтровывают на воронке Бюхнера, промывают небольшим количеством ледяной воды и сушат. Выход 1,2 г. Температура плавления 122,5 °С (с разложением).

4. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ

При выполнении синтезов необходимо соблюдать общие правила работы в химической лаборатории (инструкция ИБ 07-33-02 от 07.09.24).

5. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Практическое применение реакций карбоновых кислот и их производных.

2. Тетраэдрический механизм и особенности его реализации в случае реакций карбоновых кислот и их производных.

3. Механизм реакции этерификации карбоновых кислот спиртами в кислой среде.

4. Особенности механизмов реакций этерификации в случаях участия в ней пространственно-затрудненных карбоновых кислот и третичных спиртов.

5. Реакции гидролиза сложных эфиров в кислой среде и их механизмы.

6. Гидролиз сложных эфиров в щелочной среде и его механизм.

7. Катализируемые кислотами и основаниями реакции переэтерификации сложных эфиров спиртами и их механизмы.

8. Сложноэфирная конденсация Кляйзена и ее механизм.

9. Реакции гидролиза нитрилов и амидов и их механизмы.

6. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петров, А. А. Органическая химия : учебник для вузов / А. А. Петров, Х. В. Бальян, А. Т. Трощенко. – Москва : Альянс, 2012. – 624 с. – ISBN 978-5-903034-99-4.

2. Шабаров, Ю. С. Органическая химия : учебник / Ю. С. Шабаров. – 5-е изд., стер. – Санкт-Петербург : Лань, 2022. – 848 с. – ISBN 978-5-8114-1069-9. – Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/210716> (дата обращения: 15.09.2025).

3. Сайкс, П. Механизмы реакций в органической химии / П. Сайкс ; перевод с англ. Н. Г. Луценко ; под ред. В. Ф. Травеня. – 4-е изд. – Москва : Химия, 1991. – 448 с. – ISBN 5-7245-0191-0.