

УДК 372.854

Е.Г. БИРЮКОВА, Г.А. САВИН
(Волгоград)

МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ К ЕГЭ ПО ХИМИИ: ЗАДАНИЕ № 32

Представлен анализ результатов Единого государственного экзамена последних лет по химии. Показаны пути достижения высоких результатов при выполнении задания № 32 ЕГЭ. Предложен обстоятельный методический разбор подобных экзаменационных заданий, демонстрирующий различные пути решений задания № 32. Этот материал может быть рекомендован учителям для практического применения в преподавании химии в школе.

Ключевые слова: Единый государственный экзамен по химии, органическая химия, цепочки превращений, генетическая связь органических веществ, типы органических реакций, структурные формулы веществ.

HELEN BIRYUKOVA, GENNADY SAVIN
(Volgograd)

TRAINING FOR THE UNIFIED STATE EXAM IN CHEMISTRY: TASK NUMBER 32

The analysis of the results of the Unified state exam of recent years in Chemistry is presented. The ways of achieving the high results in the performance of task No. 32 of the Unified State Exam are shown. A thorough methodological analysis of such examination tasks is proposed, demonstrating the various ways to solve task No. 32. This material can be recommended to teachers for the practical use in teaching Chemistry at school.

Keywords: Unified state exam in Chemistry, organic chemistry, chains of transformations, genetic connection of organic substances, types of organic reactions, structural formulas of substances.

Одна из важных задач школьного химического образования – качественная подготовка учащихся выпускных классов к сдаче ИГА по химии. Прежде всего, это относится к ЕГЭ для обучающихся 11-го класса. Залогом успешного решения этой задачи является высокий уровень знаний школьников по предмету [6]. Этого можно достичь лишь при умелой организации учителем учебной работы по химии. Следует отметить, что каким бы способом не планировалась итоговая государственная аттестация учащихся: в форме ЕГЭ, устного или письменного экзамена, – она предполагает наличие у выпускников системных, прочных, глубоких знаний, а, поэтому, рассчитана на серьезную, обстоятельную подготовку по предмету. В этом и заключается актуальность рассматриваемого в настоящей работе феномена – итоговой государственной аттестации по химии (в форме ЕГЭ) и подготовки к ней.

Анализ результатов ЕГЭ последних лет показывает, что одним из самых сложных заданий для выпускников является задание № 32 второй части – цепочка превращений органических веществ, символизирующая генетическую связь (и не только) между веществами различных классов органических соединений [3, 4]. Отличительной особенностью этого задания служит то, что оно охватывает практически весь курс органической химии, изучавшийся в 10-м классе. В этом безусловная сложность упомянутого задания: ведь для успешного его выполнения необходимо довольно хорошо разбираться в строении и свойствах органических веществ основных классов.

Как учитель может достичь необходимых результатов в приобретении учащимися прочных знаний, умений и навыков по органической химии? Ниже приводим некоторые методические рекомендации в помощь учителю [1, 2].

1. Необходимо научить учащихся правильно изображать в плоскости структурные формулы органических веществ и моделировать их молекулы. Для этого на каждом уроке надо уделять этому достаточно времени, чтобы они уясняли четырёхвалентность атомов углерода. А, значит, понимали, что каждый углеродный атом всегда образует с соседними атомами 4 связи, соединяясь при этом в не-

разветвленные или разветвленные цепи, циклы и даже каркасы. Это относится и к атомам других химических элементов в составе органических молекул.

2. Очень важно выработать у школьников умения анализировать структурные формулы органических веществ. Таким образом, видеть в этих формулах важнейшие их составляющие: отдельные атомы различных химических элементов, в первую очередь, это касается атомов углерода (первичные, вторичные, третичные, четвертичные); группы атомов – С-радикалы, функциональные группы, а также отдельные химические связи (простые, двойные, тройные) или целые π -комплексы (сопряженные линейные системы, ароматические циклы).

3. Сформировать у учащихся умения сравнивать структурные формулы органических соединений друг с другом, обращая внимание, как на сходства веществ, так и на их различия.

4. Наконец, на основе вышеизложенного научить учащихся целенаправленно выбирать правильные пути перехода от одних соединений к другим: подбирать конкретные химические реакции, а также реагенты и условия для их осуществления [1, 5].

Рассмотрим эти общие принципы на конкретных примерах трансформации молекул органических веществ применительно к цепочкам превращений.

Пример 1.

Карбид алюминия $\rightarrow X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow$ бензол $\rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow n$ -нитробензойная кислота.

В первую очередь в этой цепочке целесообразно заменить названия веществ их структурными формулами: они более информативны и позволяют сравнивать указанные вещества друг с другом, отмечая их сходства и различия в составе и строении, и на этой основе подбирать соответствующие реакции, т. е. планировать пути *трансформации* органических веществ.

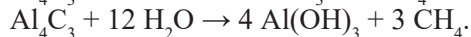
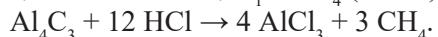
$Al_4C_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow C_6H_6 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow n-O_2N-C_6H_4-COOH$.

Проанализируем эту цепочку превращений.

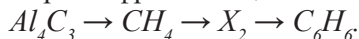
В ней условно можно выделить два фрагмента.

Первый фрагмент цепочки: $Al_4C_3 \rightarrow X_1 \rightarrow X_2 \rightarrow C_6H_6$.

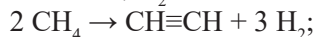
Исходный карбид алюминия – карбид метанового типа. Поэтому из него можно получить только метан, следовательно, X_1 – CH_4 (алкан):



Первый фрагмент цепочки приобретает вид:



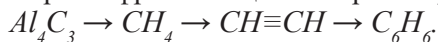
Вещество X_2 не может быть производным метана, т. к. из одноуглеродной молекулы невозможно получить шестиуглеродный бензол. Это можно сделать из двухуглеродной молекулы путем тримеризации. Значит, X_2 – это ацетилен C_2H_2 (алкин), который образуется из метана при крекинге.



И далее:

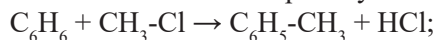


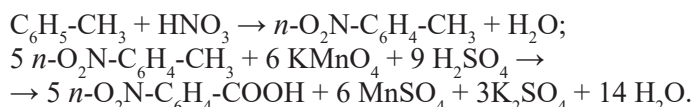
Первый фрагмент цепочки расшифрован:



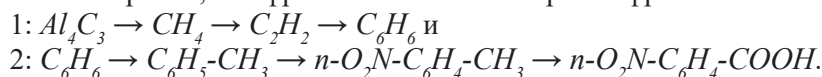
Второй фрагмент цепочки: $C_6H_6 \rightarrow X_3 \rightarrow X_4 \rightarrow n-O_2N-C_6H_4-COOH$.

Здесь удобнее всего провести ретросинтетический анализ по Кори [7, с. 37]. Предшественником n -нитробензойной кислоты $n-O_2N-C_6H_4-COOH$ могла быть бензойная кислота C_6H_5-COOH . Но карбоксильная группа – ориентант 2 рода, m -ориентант и прониловать ее в пара-положение не удастся. Не может быть предшественником и нитробензол $C_6H_5-NO_2$, т. к. нитрогруппа – сильная дезактивирующая группа, поэтому провести реакцию электрофильного замещения с ним невозможно. Примем во внимание, что карбоксильная группа может быть получена окислением алкильного радикала, например, метила. Следовательно, логично предположить, что предшественником n -нитробензойной кислоты может быть n -нитротолуол $n-O_2N-C_6H_4-CH_3$. Это и есть X_4 . Тогда X_3 – это толуол $C_6H_5-CH_3$:



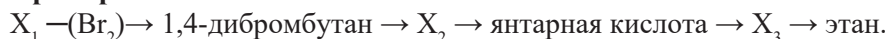


Таким образом, оба фрагмента полностью расшифрованы:

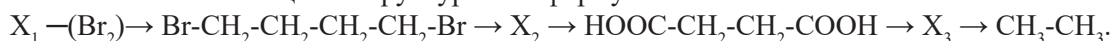


Они принципиально разные. В первом из них, как не трудно понять, все вещества – от карбида до бензола – совершенно различны: они отличаются и характером углеродных скелетов, и структурой, и природой функций в составе молекул. Таким образом, для получения бензола из карбида алюминия надо осуществить ряд превращений, кардинально изменяющих структуру исходного вещества. Другое дело второй фрагмент, где исходное вещество – бензол – и конечный продукт – *n*-нитробензойная кислота – имеют структурное сходство: основу их молекул составляет ароматический цикл, бензольное кольцо. И в этих превращениях не нужны глубокие структурные изменения, а достаточно достроить исходное вещество за счет функционализации, т. е. введения различных функций в бензольное кольцо.

Пример 2.



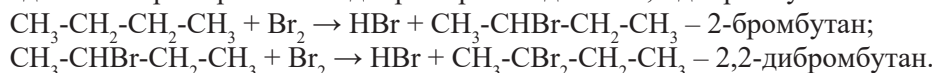
Заменим названия веществ структурными формулами:



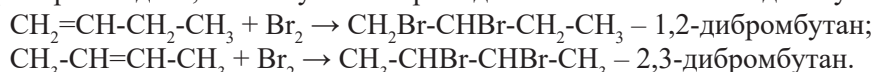
В таком виде цепочка стала более информативной, появилась возможность сравнивать структурные формулы веществ, находить сходства и различия в их составе и строении и делать конкретные выводы, направленные на расшифровку превращений веществ.

Важно научить учащихся анализировать материал с различных позиций, учитывая все возможные пути анализа. Покажем это на рассматриваемом примере.

Итак, первый известный продукт – 1,4-дибромбутан, он получен бромированием неизвестного вещества X_1 . Маловероятно, что это вещество – бутан, поскольку бромирование его идет иначе, а именно при монобромировании преимущественно образуется монобромпроизводное – 2-бромбутан, а при двойном бромировании – дибромпроизводное – 2,2-дибромбутан:



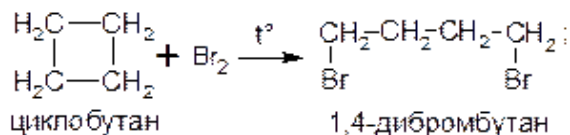
Не может быть X_1 и непредельным углеводородом – алкеном, т. к. в реакциях с бромом он образует дибромпроизводное, в молекулах которого два атома галогена находятся у соседних атомов углерода:



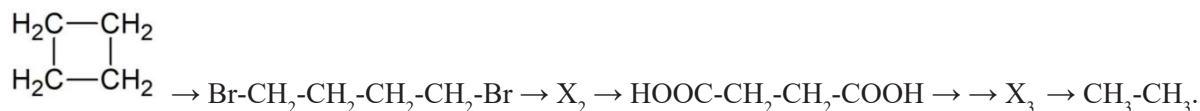
Не может удовлетворить условию задания и сопряженный бутадиен-1,3, способный к реакциям 1,4-присоединения – продукт этой реакции другой:



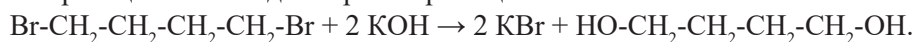
Тогда применим еще один прием: мысленно удалим атомы брома от концевых атомов углерода: $\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-}$ и соединим эти атомы друг с другом и получим искомым X_1 – циклобутан. Действительно, малые циклы неустойчивы и легко раскрываются, вступая в реакции присоединения: это их роднит с алкенами.



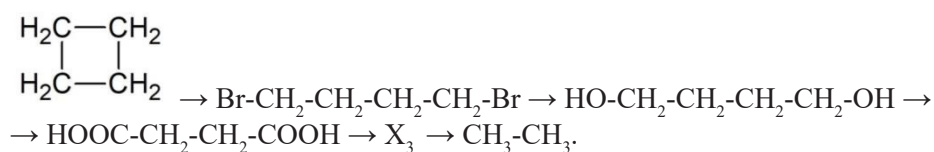
Цепочка превращений принимает вид:



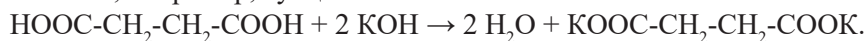
Для поиска X_2 сравниваем друг с другом его предшественник 1,4-дибромбутан $\text{Br}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{Br}$ и продукт его превращения янтарную кислоту $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$. Различие очевидное: в янтарной кислоте два концевых углерода – карбоксильные ($-\text{COOH}$), в дибромбутане – алкильные. Карбоксильные группы могут образоваться при окислении альдегидных карбонильных групп $\text{C}=\text{O}$, но соответствующий диальдегид $\text{H}(\text{O})\text{C}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{C}(\text{O})\text{H}$ нельзя получить из 1,4-дибромбутана в одну стадию. Карбоксильные группы также легко образуются при окислении первичных спиртов, в данном случае из $\text{HO}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{OH}$ – это и есть X_2 , бутандиол-1,4, который получается из 1,4-дибромбутана в реакции его с водным раствором щелочи:



Цепочка превращений стала такого вида:



Наконец находим X_3 , для чего сравниваем между собой янтарную кислоту $\text{HOOC}-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{COOH}$ и этан CH_3-CH_3 . Сразу можно заметить, что углеродный скелет этана $\text{C}-\text{C}$ – это остаток углеродного скелета янтарной кислоты после ее декарбоксилирования (удаления карбоксильных групп). А декарбоксилирование проводят с помощью реакции Дюма, значит, X_3 – это соль янтарной кислоты и щелочного металла, например, сукцинат калия:

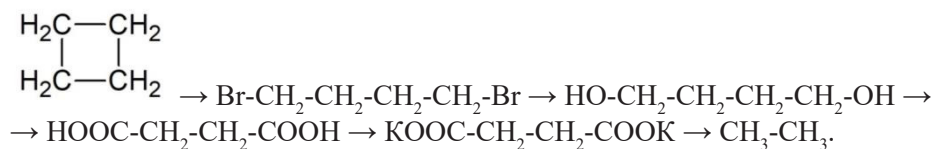


Реакция Дюма:

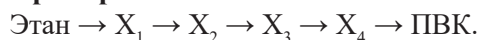


Необходимо заметить, что реакция янтарной кислоты с гидроксидом калия протекает между водными растворами этих веществ. А реакция между калиевой солью янтарной кислоты и гидроксидом калия происходит при сплавлении этих веществ.

Таким образом, цепочка превращений полностью решена:



Пример 3.

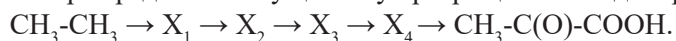


Исходное вещество в этой цепочке – этан, – простейший из алканов с двумя атомами углерода в молекуле, C_2H_6 . Структурная формула его: CH_3-CH_3 .

В этой схеме превращений указана аббревиатура конечного продукта – ПВК. Следует отметить, что можно использовать только общепринятые аббревиатуры химических веществ. Их много, они хорошо известны химикам, и с ними можно ознакомиться по химическим справочникам.

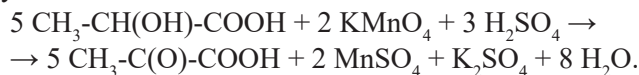
В данном примере аббревиатура ПВК означает пировиноградная кислота: впервые она получена пиролизом виноградной кислоты, – отсюда и ее историческое (тривиальное) название. ПВК – это 2-оксопропановая кислота (международное название, IUPAC), или α -кетопропионовая кислота (рациональное название). Ее структурная формула: $\text{CH}_3-\text{C}(\text{O})-\text{COOH}$.

Теперь представим эту цепочку превращений в виде структурных формул указанных в ней веществ:



Проанализируем эту цепочку превращений. Между исходным веществом этаном и конечным продуктом пировиноградной кислотой четыре неизвестных промежуточных соединения. В таких случаях лучше всего воспользоваться ретросинтетическим анализом по Кори: устанавливаем строение

неизвестных веществ, начиная с ПВК, последовательно подбирая структуры каждого из предшественников. Так, пировиноградная кислота $\text{CH}_3\text{-C(O)-COOH}$ – это кетокислота, поэтому ее явным предшественником может быть оксикислота $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$, из которой ПВК может быть легко получена путем ее окисления.



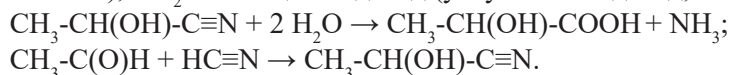
Значит, неизвестное вещество X_4 – это и есть молочная кислота (тривиальное, историческое название), или α -оксипропионовая кислота (рациональное название), или 2-гидроксипропановая кислота (международное название, IUPAC) $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-COOH}$.

Теперь цепочка превращений имеет вид:

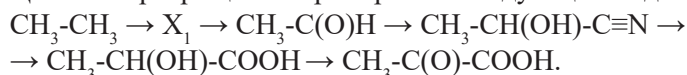


Далее рассуждаем, из чего могла бы быть получена молочная кислота. Попробуем построить маршрут реакции, с помощью которого можно создать гидроксильную функциональную группу. В таком случае одним из очевидных ее предшественников могло быть галогенопроизводное, например, 2-хлорпропановая (α -хлорпропионовая) кислота $\text{CH}_3\text{-CHCl-COOH}$. Если это вещество X_3 , то оно явно должно быть продуктом хлорирования пропановой кислоты $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-COOH}$, которая в цепочке превращений X_2 . Однако, будучи трехуглеродной молекулой, пропановая кислота не может быть получена из этана в две стадии. Значит, надо выбрать другой путь синтеза молочной кислоты из X_3 .

Теперь примем во внимание возможность создания карбоксильной группы в молочной кислоте. Предшественником карбоксила -COOH в ней могла быть цианогруппа $\text{-C}\equiv\text{N}$. Таким веществом является нитрил, формула которого $\text{CH}_3\text{-CH(OH)-C}\equiv\text{N}$. Нетрудно догадаться, что это циангидрин ацетальдегида, который легко образуется из двухуглеродной молекулы уксусного альдегида $\text{CH}_3\text{-C(O)H}$. А этот путь синтеза оказался вполне реальным: X_3 – это циангидрин ацетальдегида (или нитрил молочной кислоты), а X_2 – это ацетальдегид (уксусный альдегид, этаналь):

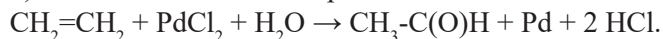


Цепочка превращений приобретает следующий вид:

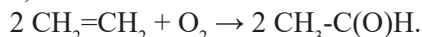


Осталось предсказать еще одно вещество – X_1 – предшественник этаналь. Это сделать несложно, т. к. и этаналь, и исходный этан имеют одинаковый углеродный скелет, состоящий из двух атомов углерода. Значит, X_1 – тоже двухуглеродная молекула. Это может быть этилен: этаналь легко может быть получен из этилена $\text{CH}_2=\text{CH}_2$, который является продуктом дегидрирования этана $\text{CH}_3\text{-CH}_3$. Следовательно, X_1 – это этилен. Этилен можно превратить в ацетальдегид с помощью окисления водным хлоридом палладия или кислородом воздуха в присутствии солей палладия и меди:

1) окисление этилена хлоридом палладия в водной среде – (Вакер-процесс):



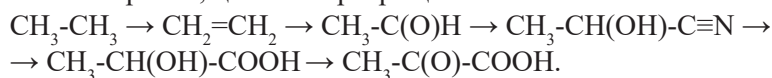
2) каталитическое окислением этилена кислородом воздуха:



Наконец этилен образуется при каталитическом дегидрировании этана:



Таким образом, цепочка превращений полностью выполнена:



В заключении отметим, что предложенный материал может быть полезен как для учителей химии при подготовке и проведении занятий, так и самим школьникам старших классов для самостоятельной подготовки к итоговой государственной аттестации по химии.

Литература

1. Бирюкова Е.Г., Савин Г.А. Принцип аналогии при обучении органической химии // Химия в школе. 2018. № 2. С. 36–38.
2. Бирюкова Е.Г., Савин Г.А. Что надо знать о химических формулах // Химия в школе. 2016. № 8. С. 42–44.
3. Добротин Д.Ю., Зеня Е.Н., Снастина М.Г. Методические рекомендации для учителей, подготовленные на основе анализа типичных ошибок участников ЕГЭ 2025 года по химии. М.: ФИПИ, 2025. [Электронный ресурс]. URL: https://doc.fipi.ru/ege/analiticheskie-i-metodicheskie-materialy/2025/hi_mr_2025.pdf (дата обращения: 04.10.2025).
4. Медведев Ю.Н., Добротин Д.Ю. О сложных вопросах курса химии в заданиях ЕГЭ // Химия в школе. 2024. № 2. С. 37–47.
5. Новошинский И.И., Новошинская Н.С. Об изучении особенностей реакций в органической химии // Химия в школе. 2024. № 6. С. 14–19.
6. Оржековский П.А. Методика обучения химии: традиции и современность. // Химия в школе. 2025. № 8. С. 9–18.
7. Смит В.А., Дильман А.Д. Основы современного органического синтеза: учебное пособие. М.: Бином. Лаб. знаний, 2024.