

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

# **ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ СИНТЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ХИМИИ**

Учебно-методическое пособие для вузов

Издательско-полиграфический центр  
Воронежского государственного университета  
2012

Научное направление под названием «зеленая химия» возникло в 90-х годах XX века и довольно быстро нашло сторонников в химическом сообществе. Основным толчком к созданию этого направления послужило издание в США Акта о предотвращении загрязнений, хотя к ранним предпосылкам можно отнести движение, направленное на ресурсо- и энергосбережение, которое было популярным в СССР и других странах с момента развития промышленности. Таким образом, **зеленая химия** – это научное направление в химии, к которому можно отнести любое усовершенствование химических процессов, которое положительно влияет на окружающую среду. Новые схемы химических реакций и процессов, которые разрабатывают во многих лабораториях мира, призваны кардинально сократить влияние на окружающую среду крупнотоннажных химических производств. Химические риски, неизбежно возникающие при использовании агрессивных сред, традиционно пытаются уменьшить, ограничивая контакты работников с этими веществами. Зеленая химия предполагает другую стратегию – вдумчивый отбор исходных материалов и схем процессов, который вообще исключает использование вредных веществ. То есть зеленая химия является революционной философией, которая стремится объединить государственные, научные и промышленные сообщества, уделяя особое внимание контролю экологического воздействия на самых начальных стадиях научной разработки и изобретения.

**Основная цель** зеленой химии – поиск безопасных с точки зрения химии и экологии способов деятельности общества во всех аспектах – от процессов производства и способов использования энергоресурсов и до способов выполнения ежедневной домашней работы.

**Пути**, по которым уже сейчас движется зеленая химия, можно сгруппировать в три большие направления:

- 1) новые пути синтеза (часто это реакции с применением катализатора);
- 2) возобновляемые исходные реагенты (то есть полученные не из нефти);
- 3) замена традиционных органических растворителей.

В 1998 году П. Анастас и Дж. Уорнер в книге «Зеленая химия : Теория и практика» сформулировали 12 принципов зеленой химии. Эти принципы отражают деятельность научного сообщества, промышленности и государственных органов, направленную на снижение или устранение использования опасных материалов и химических процессов.

#### **12 принципов зеленой химии:**

1. Лучше предотвратить потери, чем перерабатывать и чистить отходы.
2. Методы синтеза надо выбирать таким образом, чтобы все материалы, использованные в процессе, были максимально переведены в конечный продукт.

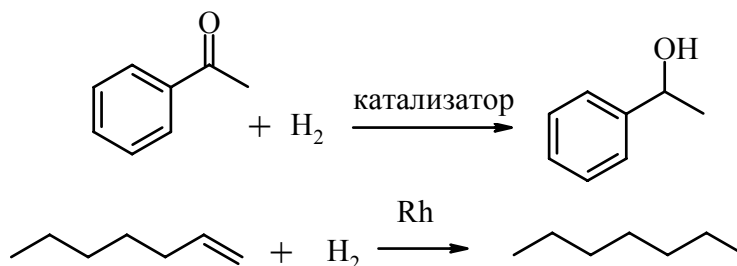
$$E\text{-фактор} = 46/103 = 0,45.$$

*Атомная эффективность* – другой количественный показатель, введенный Р.Шелдоном. Ее рассчитывают как отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс всех остальных продуктов в стехиометрическом уравнении химической реакции:

$$\text{атомная эффективность} = \frac{\text{мол. масса целевого продукта}}{\text{сумма мол. масс всех продуктов}} \times 100\%$$

Фактически, атомная эффективность рассматривает степень полезного использования химических элементов, входящих в состав исходных соединений. Чем ближе атомная эффективность к 100 %, тем более зеленой является данная реакция (схема 2).

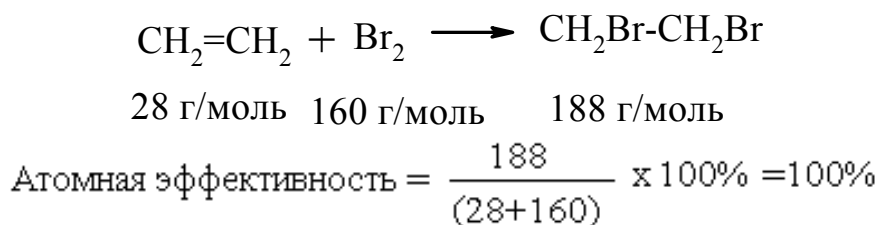
Схема 2

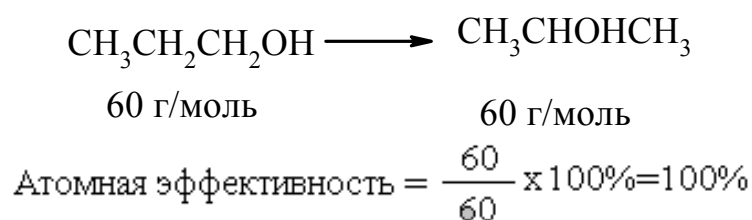


Для этих реакций все химические элементы, которые составляют исходные вещества, входят в состав целевого продукта, и величина атомной эффективности равна 100%.

Анализируя различные типы реакций, не сложно заметить, что некоторые из них проходят без потери атомов исходных компонентов. К таким реакциям относятся, например, реакции присоединения (схема 3) и перегруппировки (схема 4).

Схема 3





Для реакции, представленной на схеме 1 величина атомной эффективности равна:

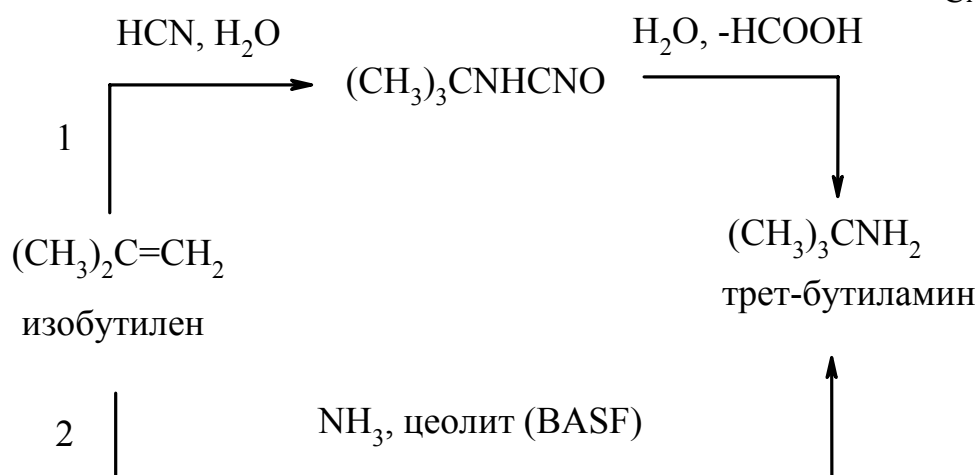
$$\text{Атомная эффективность} = \frac{103}{149} \times 100\% = 69,1\%$$

Таким образом, 30,9% от исходных веществ необходимо утилизировать.

Для большого набора химических реакций повысить величину атомной эффективности можно используя катализатор (схема 5).

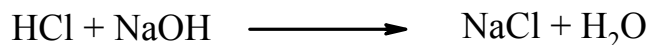
Осуществить превращение изобутилена в третбутиламин можно некаталитически в две стадии (путь 1). В этом случае атомная эффективность суммарного процесса составляет всего 15 %. В то же время проведение реакции каталитическим способом (путь 2) повышает атомную эффективность до 100 %. Кроме того, для этой реакции использование катализатора позволило отказаться от применения ядовитых реагентов, таких как синильная кислота.

Схема 5



Бывают, однако, химические реакции, в которых атомная эффективность никогда не может быть равной 100 %. К таким реакциям, например, относится реакция нейтрализации (схема 6), в которой образование воды является обязательным условием.

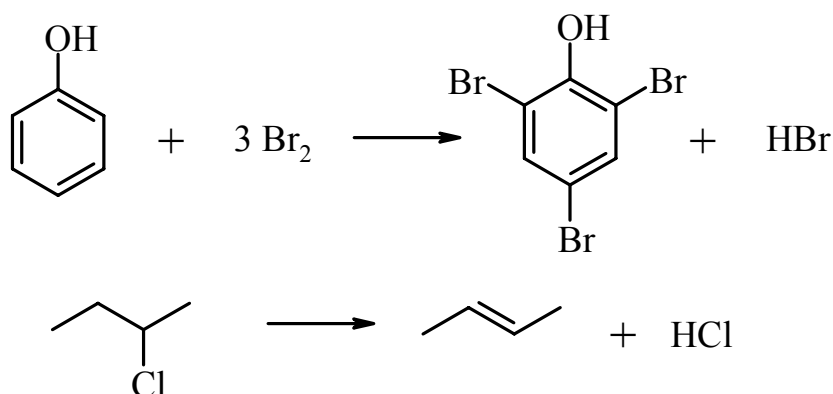
Схема 6



Также атомная эффективность не может быть равна 100 %, например, для реакций замещения и элиминирования (схема 7).

Таким образом, понятия Е-фактор и атомная эффективность гораздо лучше оценивают экологическое воздействие процессов, чем выход целевого продукта.

Схема 7



Согласно принципу 3, нетоксичными должны быть как исходные вещества, так и продукты реакций. Какие же вещества считать нетоксичными? В традиционной химии часто, когда вещество, которое довольно легко получить, находило промышленное применение, его токсичность определяли значительно позже. Примеры известны: лекарство от головной боли – талидомид, которое в начале 60-х годов прошлого века широко использовали в медицине, как выяснилось позже, вызывает серьезные пороки внутриутробного развития детей.

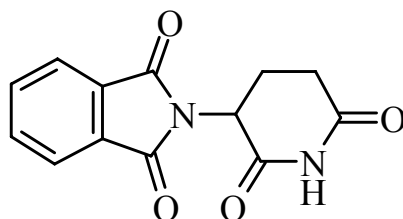


Рис. 1

Активно применявшийся для борьбы с комарами препарат ДДТ (рис. 2), который действительно помог ликвидировать огромные очаги малярии в мире, оказался, не только опасным для здоровья, но и крайне устойчивым к биоразложению и т. д.