

Л. М. Слепнёва

L. M. Sliapniova

[larysa.sliapniova@gmail.com](mailto:larysa.sliapniova@gmail.com)

В. А. Горбунова

V. A. Gorbunova

[vgveragorbunova@mail.ru](mailto:vgveragorbunova@mail.ru)

«Белорусский национальный технический университет», г. Минск

Belarusian National Technical University, Minsk

Л. Г. Петрушенко

L. G. Piatrushenko

[petrushenkolg@mail.ru](mailto:petrushenkolg@mail.ru)

«Белорусский государственный медицинский университет», г. Минск

Belarusian State Medical University, Minsk

## «ЗЕЛЕНАЯ» ХИМИЯ – ИНСТРУМЕНТ ДОСТИЖЕНИЯ ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ

### "GREEN" CHEMISTRY IS A TOOL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT

**Аннотация:** «Зеленая» химия – новое научное направление, цель которого минимизировать вредное воздействие химического производства на окружающую среду. Для достижения этой цели предполагается использование безвредных реагентов, сокращение образования промежуточных продуктов и максимальное сокращение отходов производства. С этой точки зрения рассмотрен процесс окислительного пиролиза метана с расчетом E-фактора и атомной эффективности.

**Abstract:** "Green" chemistry is a new scientific direction, the purpose of which is to minimize the harmful effects of chemical production on the environment. To achieve this goal, it is assumed to use harmless reagents, reduce the formation of intermediates and maximize the reduction of production waste. From this point of view, the process of oxidative pyrolysis of methane is considered with the calculation of the E-factor and atomic efficiency.

**Ключевые слова:** «зелёная» химия, эффективность реакций, окислительный пиролиз метана, E-фактор, атомная эффективность.

**Keywords:** green chemistry, reaction efficiency, oxidative pyrolysis of methane, E-factor, atom economy.

На материальном уровне человечество не может существовать вне своей среды обитания. Вступая во взаимодействие с окружающей его природой, человек приспособливает ее под свои нужды, нередко нанося ей непоправимый урон. Изучение взаимодействия человека с природой является предметом дисциплины под названием экология.

Экология – одна из дисциплин, требующая интегрирования знаний из области биологии и химии, использующая определенный математический аппарат, и введенная в учебные

программы практически всех технических вузов. Осознание проблемы дисгармонизации отношений человек-природа трансформируется в появление общественных движений в защиту окружающей среды и естественное возникновение новых научных течений, таких как, например, «зелёная» химия.

В прошлом химическая индустрия рассматривала в основном экономические вопросы эффективности производства, включая энергетические затраты и выход продукта, и, хотя для химических производств были приняты национальные нормативные акты, включающие методы избавления от отходов производства, альтернативные, более безопасные пути утилизации отходов не рассматривались. Были предприняты некоторые попытки обратить внимание научного сообщества на вредные технологии производств, однако только после того, как в 1998 году Р. Т. Anastas и J. С. Warner [1] сформулировали концепцию «зеленой» химии, включающую 12 основных принципов, это научное направление получило широкое развитие. Согласно философской концепции «зеленой» химии, разработка новых химических технологий и процессов должна проводиться с учетом снижения вредного воздействия на окружающую среду. Химическая промышленность часто рассматривается как значительный источник загрязнения, что требует усиления контроля за образованием безопасных продуктов химической индустрии.

Одной из приоритетных задач современного сообщества является экологическое просвещение. «Зеленая» химия, как дисциплина, уже вводится в учебные программы некоторых специальностей вузов, она также разработана для системы повышения квалификации работников образования. Программа для студентов старших курсов и слушателей системы повышения квалификации работников образования построена с учетом того, что обучающиеся уже имеют фундаментальные знания общей, неорганической и органической химии. «Зеленая» химия, конечной целью которой является гармонизация отношений человека с природой – одно из научных направлений, возникших в попытке найти наиболее безопасные способы промышленного синтеза химических веществ, и имеет целью разработать химические технологии, максимально щадящие природное окружение и не наносящие вред человеку. Разработка «зеленых» химических технологий призвана минимизировать вредные воздействия на окружающую среду в будущем. В настоящее время существует необходимость в разработке способов устранения уже существующих загрязнений окружающей среды. Так, например, на военных полигонах в результате работы техники скапливается значительное количество свинца. Предотвращение его попадания в систему водоснабжения имеет особенное значение. Одно из предлагаемых решений проблемы связано с ограниченной растворимостью многих соединений свинца. Фосфат свинца, например, мало растворим в воде. Добавление фосфатов щелочных металлов в

загрязненную почву может привести к превращению растворимых форм свинца в менее растворимые, и образованию фосфата свинца. Кроме практических сложностей удаления фосфата свинца из почвы, следует учесть, что и сами фосфаты часто рассматриваются как загрязнители. Этот пример иллюстрирует неразрывную связь химии с экологией и их взаимодействие.

Вопросы «зелёной» химии, базирующиеся на двенадцати основных принципах, включают ряд тем, традиционно рассматриваемых в курсе экологии, а также непосредственно химические темы. В группу экологических вопросов включаются: концепция устойчивого развития, законодательство в природоохранной деятельности, возобновляемые источники энергии и т.д. Химические вопросы – это кинетика и катализ, использование полярных и неполярных растворителей в синтезе, химические технологические процессы. Одним из критериев при рассмотрении технологических процессов является принцип эффективности химических реакций. С точки зрения эффективности химических реакций в рамках «зеленой» химии материал исходных веществ должен как можно более полно включаться в продукты реакции. Идеалом может быть только безотходное производство. В случае образования отходов они должны быть безвредны. Эффективность химического процесса оценивается по меньшей мере шестью количественными характеристиками, среди которых наиболее часто используются E-фактор (environmental factor) введенный R.A. Sheldon [2] и атомная эффективность (экономия атомов, atom economy) [3].

E-фактор рассчитывается как отношение суммарной массы всех отходов к массе целевого продукта. Чем меньше E-фактор, тем более безопасным для окружающей среды считается технологический процесс. Атомная эффективность рассчитывается как отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс исходных веществ в процентах. В русскоязычной литературе встречается также формула для расчета атомной эффективности, представленная как отношение молярной массы целевого продукта к сумме молярных масс всех продуктов. Чем больше атомная эффективность, тем более безопасным с точки зрения влияния на окружающую среду оказывается процесс. В качестве примера рассчитаем E-фактор и атомную эффективность реакции окислительного пиролиза метана. Пиролиз метана проводится с целью получения ацетилена:



Одновременно с ацетиленом образуются значительные количества водорода. Особенность окислительного пиролиза в том, что энергию, необходимую для осуществления эндотермической реакции образования ацетилена, поставляет экзотермическая реакция горения метана. Процесс проводится при недостатке кислорода, поэтому в процессе горения

метана, наряду с оксидом углерода (IV) образуется оксид углерода (II). В целом, процесс окислительного пиролиза метана, проходящий в реакционной камере, можно описать брутто-реакцией:



Смесь водорода и оксида углерода (II), так называемый синтез-газ в дальнейшем используется для синтеза метанола, водород – для синтеза аммиака. Таким образом, ацетилен, водород и оксид углерода (II) можно считать целевыми продуктами. Включая в отходы оксид углерода (IV) и воду, которая, тем не менее, является безвредным отходом, можно достаточно легко подсчитать E-фактор. Он равен 0,78, что свидетельствует о достаточно высокой степени переработки. Атомная эффективность – 56%.

Использование количественных характеристик позволяет более наглядно оценивать экологичность химического процесса.

### **Список литературы**

1. Anastas P., Warner J. Green chemistry: Theory and Practice. London : Oxford University Press, 1998. 144 p.
2. Sheldon R. A. Organic synthesis; past, present and future // Chemistry and Industry. 1992. P. 903–906.
3. Trost B. M. The atom economy – a search for synthetic efficiency // Science. 1991. Vol. 254, iss. 5037. P. 1471–1477. <https://doi.org/10.1126/science.1962206>.