

**ТЕРМОДИНАМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОЦЕНКИ  
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ  
АММИАЧНОЙ СЕЛИТРЫ**

**Свинцова Е.А., магистрант**

**Научный руководитель Галимова А.Р.**

**Казанский национальный исследовательский технический университет  
им. А.Н. Туполева – КАИ, г. Казань, Россия**

*Статья представляет метод термодинамического анализа для оценки экологического ущерба при производстве аммиачной селитры. Рассмотрены механизмы загрязнения, предложены критерии эффективности очистных сооружений и рекомендации по снижению негативного воздействия на окружающую среду.*

*Ключевые слова: экологический ущерб, аммиачная селитра, термодинамический анализ, свободная энергия Гиббса, загрязнение окружающей среды, оценка воздействия.*

Объекты, принадлежащие к химической промышленности, относятся к пунктам высокой опасности загрязнения среды токсическими веществами. В процессе производства аммиачной селитры в окружающую среду могут поступать опасные вещества, способные нанести существенный вред природе. Негативное воздействие на окружающую среду при производстве минеральных удобрений могут оказывать следующие факторы: выбросы в атмосферу, сточные воды, крупнотоннажные побочные продукты.

Использование удобрений оказывает позитивное влияние на плодородность почвы: повышается урожайность, усиливается яркость и интенсивность цветения, активизируется рост сельскохозяйственных культур. Удобрения используются во всех сельскохозяйственных центрах, так как от них напрямую зависит качество и количество полученного урожая. Поэтому в настоящее время происходит развитие предприятий по производству удобрений. Такие предприятия специализируются на производстве следующих материалов – аммиак, аммиачная селитра, карбамид, азотная кислота, сульфат аммония, капролактамы, карбидно-аммиачная смесь. Данные производства могут оказывать значительное негативное влияние на окружающую среду. В соответствии с Постановлением Правительства РФ от 31.12.2020 № 2398 (ред. от 07.10.2021) "Об утверждении критериев отнесения объектов, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду, к объектам I, II, III и IV категорий" предприятие по производству минеральных удобрений относится к объекту I категории.

Экологически эффективная инновационная технология для производства аммиачной селитры особенно актуальна в современных условиях растущего спроса на продукцию сельскохозяйственного назначения и возрастающего внимания к защите окружающей среды. Традиционные методы производства зачастую ассоциируются с негативным влиянием на природу, вызывая загрязнение воздуха и водоемов. Поэтому создание инновационных решений, направленных на улучшение экологической безопасности и ресурсосбережение, играет ключевую роль в обеспечении устойчивости отрасли и сохранении благоприятных условий проживания.

Для оценки антропогенного воздействия на окружающую среду и эффективности ее защиты целесообразно использовать некий универсальный критерий, который позволял бы трактовать загрязнение окружающей среды с энергетических позиций. Это упростило бы сравнение используемых методов и способов ее защиты, основанных иногда на совершенно различных принципах. Таким требованием соответствует термодинамический критерий. Обычно в качестве термодинамической характеристики организмов, экосистем и биосферы в целом выбирают энтропию.

В открытых неравновесных системах любой процесс, приводящий к загрязнению окружающей среды, вызывает увеличение энтропии, т. е.  $> 0$ . Целесообразно оценить работу, затрачиваемую на снижение концентрации загрязняющего вещества в окружающей среде до нормативного уровня (до ПДК). Если при сбросе в окружающую среду загрязнителей ее температура и давление остаются постоянными (или изменение этих параметров пренебрежимо мало), то для процессов со стационарным потоком полная и полезная работа может быть оценена величиной изменения свободной энергии  $\Delta G$ . Отрицательный знак при  $\Delta G$  означает, что система сама производит работу над внешней средой, а положительный указывает на то, что над системой работа производится извне.

При схеме загрязнения окружающей среды при непосредственном поступлении в нее загрязняющих веществ (без использования очистных устройств и с наличием данных устройств) применимо уравнение:

$$\Delta G = RT \frac{C_k}{C_n} = 2,3RT \log_{10} \frac{C_k}{C_n} \quad (1)$$

где  $C_n$  – начальная концентрация загрязняющего вещества,  $C_k$  – конечная концентрация загрязняющего вещества.

Произведем расчет и физическую интерпретацию для случая сброса аммония ( $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$ ) без очистки. Начальная концентрация аммония в сбросе ( $C_n$ ) 300 мг/л или 0,02143 моль/л. Конечная концентрация в водной среде ( $C_k$ ) – это концентрация после полного смешивания сброса с водой водоема. Допустим, для оценки, что фоновая концентрация в реке (ПДК для рыбохозяйственных водоемов) составляет 0,5 мг/л (ПДК) или 0.0000357 моль/л.

Расчет изменения свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) производится по формуле (2):

$$\Delta G = 2,3RT \log 10 \frac{0,0000357}{0,02143} = -15,83 \text{ кДж/моль} \quad (2)$$

Этот расчет показывает потенциал негативного воздействия. Самопроизвольность процесса обусловлена резким увеличением энтропии (беспорядка) при переходе ионов аммония из локальной области сверхвысокой концентрации в огромный объем водоема с низкой концентрацией. Чтобы обратить этот процесс, т.е., сконцентрировать рассеянный аммоний обратно, потребовалось бы затратить как минимум +15,83 кДж на каждый моль (например, в процессах мембранного концентрирования или регенерации сорбентов). Эта отрицательная величина  $\Delta G$  косвенно отражает масштаб нарушения природного равновесия. Чем больше абсолютное значение  $\Delta G$  (чем больше разница между  $C_n$  и  $C_k$ ), тем сильнее термодинамический "толчок", с которым загрязнение внедряется в среду, и тем больше энергии потребуются природным системам (или очистным сооружениям) для его нейтрализации.

Таким образом,  $\Delta G = -15,83$  кДж/моль — это термодинамический потенциал воздействия, количественно показывающий, насколько силен движущий фактор для рассеивания данного загрязнения в окружающей среде. Этот показатель подчеркивает необходимость очистки: без нее природа будет вынуждена "заплатить" энтропийную цену за ассимиляцию этого чужеродного высококонцентрированного потока, что часто приводит к эвтрофикации, токсикозу и деградации водной экосистемы.

Рассчитан термодинамические критерий оценки техногенного воздействия производства аммиачной селитры на окружающую среду  $\Delta G = -15,83$  кДж/моль. Для предприятия необходимо определить наиболее критичные точки загрязнения и разработать меры по улучшению экологической обстановки. Такой подход способствует повышению общего уровня защиты природной среды и обеспечению соответствия действующих предприятий современным стандартам охраны природы.

### Литература:

1. Кондратьева Л.М. Экологический риск загрязнения водных экосистем / под ред. К.П. Караванова. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 299 с.
2. Analysis of the content of nitrogen-containing compounds in waste and surface waters in the urbanized territories of the Kaluga region / K. Gorbunov, A.Yu. Loginova, N.A. Silaeva, S.A. Kusacheva, M.E. Safronova // AIP Conference Proceedings. –2022. –Vol. 2647. –No 1. DOI: 10.1063/5.0106100.
3. Ahmed J., Thakur A., Goyal A. Biological treatment of industrial wastewater // The Royal Society of Chemistry. –2022. –P.1–14.