

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЭЦ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

Акчурина А.Р., магистрант

Научный руководитель Галимова А.Р.

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

В работе анализируется воздействие теплоэлектроцентралей (ТЭЦ) на окружающую среду с применением термодинамических критериев. Рассматриваются основные виды выбросов, сопровождающих работу ТЭЦ, в качестве инструмента количественной оценки используется изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), позволяющее определить термодинамическую нагрузку на окружающую среду до и после внедрения экозащитных технологий. Приведён расчёт ΔG для типичных концентраций загрязняющих веществ, как инструмент, демонстрирующий эффективность модернизации систем очистки.

Ключевые слова: окружающая среда, выбросы, термодинамика, свободная энергия Гиббса, экологическая нагрузка.

Теплоэлектроцентрали (ТЭЦ) занимают доминирующее положение в структуре генерирующих мощностей России, обеспечивая значительную долю электроэнергии и тепла. Однако их работа сопряжена с масштабным и постоянным воздействием на окружающую среду. Сжигание органического топлива (природного газа, угля, мазута) приводит к выбросам парниковых газов (CO_2), токсичных оксидов серы (SO_x) и азота (NO_x), а также образованию твёрдых частиц (золы). Эти выбросы являются одной из ключевых причин таких глобальных и локальных проблем, как изменение климата, кислотные дожди, смог и деградация экосистем.

Технологический процесс ТЭЦ относится к незамкнутым (открытым) системам. Предприятие потребляет из окружающей среды ресурсы (природный газ, вода), а возвращает в нее продукцию (электроэнергия, тепло) и отходы (газовые выбросы, содержащие CO , NO_x , SO_2 , золу; сточные воды; тепловые сбросы). С точки зрения экологичности, процесс можно отнести к неэкологичным, так как создает повышенную техногенную нагрузку.

При разработке эффективных экозащитных технологий важно количественно оценить негативное воздействие промышленных источников на окружающую среду. Термодинамический показатель позволяет оценить качество окружающей среды и эффективность экозащитных процессов, а также связь между ними, и при одинаковом санитарном показателе определить экономическую эффективность сравниваемых систем.

Общий материальный баланс по загрязняющим веществам до внедрения систем очистки можно представить, как:

$$R_{\text{топливо}} + R_{\text{воздух}} \rightarrow P_{\text{энергия}} + \sum W_i \quad (1)$$

где W_i – суммарный поток всех загрязняющих веществ (i) в атмосферу и гидросферу.

После модернизации, включающей установку систем очистки (десульфуризации, абсорбции CO , золоулавливания), баланс стремится к модели частично замкнутого цикла для многих компонентов:

$$R_{\text{топливо}} + R_{\text{воздух}} + R_{\text{реагенты (рецикл)}} \rightarrow P_{\text{энергия}} + P_{\text{побочные (ЗШМ)}} + \sum W_i (\text{остаточные}) \quad (2)$$

Для оценки термодинамического воздействия выбросов на окружающую среду используется изменение свободной энергии Гиббса (ΔG), позволяющим оценить работу, которую необходимо будет совершить окружающей среде для восстановления (очистки):

$$\Delta G = 2,3 \cdot R \cdot T \cdot \lg(C_n / C_k) \quad (3)$$

где R – универсальная газовая постоянная (8,314 Дж/(моль·К)); T – абсолютная температура процесса, К;

C_n – начальная концентрация загрязняющего вещества в воздушной среде;

C_k – конечная концентрация загрязняющего вещества после прекращения выбросов.

Отрицательное значение свободной энергии Гиббса означает, что система сама производит работу над окружающей средой, затрачивая часть своей энергии на загрязнение воздуха. То есть для возвращения в первоначальное состояние окружающей среде, то есть для снижения концентрации загрязняющего вещества в атмосфере, нужно затратить энергию, совершить работу. Положительное значение указывает, что над системой работа производится извне, содержание загрязняющих веществ снижается самопроизвольно, без затрат энергии системы.

Произведем расчет и физическую интерпретацию свободной энергии Гиббса до внедрения систем очистки и после модернизации. Начальная концентрация в приземном слое $C_k = 8 \cdot C_n$. После очистки концентрация снижается до $C_k = 1,5 \cdot C_n$ благодаря системам: десульфуризация (для SO_2), абсорбции (для CO), каталитическое восстановление NO_x . Допустим, для оценки, что температура выхлопных газов: ~ 800 К.

Расчёт ΔG до очистки:

$$\Delta G_{до} = 15.3 \cdot \lg(8) = 15.3 \cdot 0,903 \approx +13,8 \text{ кДж/моль} \quad (4)$$

Расчёт ΔG после очистки:

$$\Delta G_{после} = 15.3 \cdot \lg(1.5) = 15.3 \cdot 0,176 \approx +2,7 \text{ кДж/моль} \quad (5)$$

Снижение ΔG означает, что системы очистки (десульфуризация, абсорбция CO , золоулавливание) уменьшают термодинамическую нагрузку на окружающую среду.

Таким образом, применение термодинамических критериев, в частности расчёта изменения свободной энергии Гиббса, позволяет объективно оценить и сравнить степень воздействия ТЭЦ на окружающую среду. Внедрение современных систем очистки существенно снижает термодинамическую нагрузку, что подтверждается снижением ΔG после модернизации. Такой подход способствует не только улучшению экологической обстановки, но и повышению экономической эффективности экозащитных мероприятий за счёт выбора оптимальных технологических решений.

Литература:

1. Ядугов, В. В., Петров, Т. И., & Зацаринная, Ю. Н. (2013). Воздействие ТЭС на окружающую среду. Вестник Казанского технологического университета, 16 (19), 78-79.
2. Wang, H., et al. Life cycle assessment of circulating fluidized bed fly ash and bottom ash co-processing // Waste Management. – 2022. – Vol. 150. – P. 100-109.
3. Данные экологического отчета ПАО «Татэнерго» за 2024 год (открытые источники).
4. Кольцов В.Б., Морозов А.В., & Мочунова Н.А. (2022). Термодинамическая оценка риска негативного воздействия на окружающую среду. Международный журнал гуманитарных и естественных наук, (12-2), 141-145.