

## Секция 5. Экологический менеджмент

---

### Моделирование экологического воздействия угольных мини-ТЭС на воздушный бассейн с учетом регионального и масштабного факторов

Афанасьева О. В., Мингалеева Г. Р.

*Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН,  
ул. Лобачевского, 2/31, г. Казань, 420111, Россия  
e-mail: eccolga@mail.ru, mingaleeva-gr@mail.ru*

---

В последние годы интерес к малой энергетике объясняется главным образом возможностью обеспечения автономного и резервного энергоснабжения отдельных объектов, отдаленных от централизованных сетей или нуждающихся в собственном источнике энергии. В условиях постоянных сбоев при передаче энергии и аварий в центральных электросетях эта проблема приобретает еще большую актуальность. Для отечественной энергетики одним из важных вопросов при реализации данных установок является использование в качестве топлива местных природных энергоресурсов. В первую очередь — это уголь, запасы которого в России составляют 20% от мировых. Однако здесь возникает серьезная проблема — вредные выбросы ( $NO_x$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ , зола), образующиеся при сжигании угля, и их влияние на окружающую среду. Как один из вариантов рационального и экологически чистого использования твердого топлива может быть предложен процесс высокотемпературной обработки угля — газификация, при котором может быть получен газ для энергетического использования и ценные побочные продукты. В связи со сложившейся ситуацией в энергетике страны необходим постоянный жесткий контроль над соответствием вредных выбросов действующим нормативам. Эта проблема для угольных мини-ТЭС приобретает еще большую остроту в связи с тем, что при размещении мини-ТЭС на конкретном производстве, уровень выбросов, поступающих от источника энергии, накладывается на выбросы самого предприятия, соответственно, может усугубиться экологическая обстановка на данной территории.

Существующие математические модели, описывающие экологические процессы, охватывают широкий круг проблем — от чисто биологических до экономических [1]. Однако при решении конкретных задач возникает необходимость разработки зависимостей, позволяющих определить не конкретные

численные значения, а направление дальнейшего поиска оптимального варианта решения. Выбранный как объект исследования угольная мини-ТЭС имеет простую структуру, включающую в себя подготовку угля, газификацию, очистку генераторного газа, сжигание его в камере сгорания газовой турбины (ГТУ), и утилизацию теплоты продуктов сгорания в котле-утилизаторе с получением тепловой энергии.

В качестве масштабного фактора при моделировании выбросов от объектов малой энергетики выступает мощность мини-ТЭС, которая в данном случае будет определяться мощностью ГТУ, входящей в ее состав. Региональный фактор в данной работе определяется условиями района размещения мини-ТЭС. Для данного исследования города России разделены на 4 группы в зависимости от средней температуры отопительного периода [3]. В настоящее время не разработано методик для расчета выбросов от объектов малой мощности в окружающую среду. Поэтому в работе для определения объемов и концентраций выбросов используются существующие методики расчета вредных выбросов от котельных установок ТЭС. При моделировании экологического воздействия на воздушный бассейн угольных мини-ТЭС с учетом масштабного и регионального факторов используется эксергетический метод термодинамического анализа для определения эксергии продуктов сгорания [4]:

$$E_t = \Delta E_p + nR_u T_0 \ln \frac{p}{p_0} + R_u T_0 \sum_i n_i \ln \frac{z_i}{z_{0i}}, \quad (26)$$

где  $\Delta E_p$  — изобарное превышение эксергии в интервале температур от  $T_0$  до температуры продуктов сгорания;  $n$ ,  $n_i$  — количество компонента продуктов сгорания и общее количество продуктов сгорания в киломолях;  $R_u$  — универсальная газовая постоянная;  $T_0$  — температура окружающей среды;  $p$ ,  $p_0$  — давление рассматриваемых продуктов сгорания и окружающей среды;  $z_i$ ,  $z_{0i}$  — мольные содержания компонента в продуктах сгорания и окружающей среде. Учитывая, что давление продуктов сгорания существенно не отличается от давления окружающей среды, суммарная эксергия в данном случае будет складываться из изобарного превышения эксергии, зависящего от температуры продуктов сгорания при различных температурах окружающей среды, и химической эксергии. Изобарное превышение эксергии продуктов сгорания определяется при помощи графика Ранга [4]. Для этого необходимо вычислить содержание воздуха в продуктах сгорания и определить температуру окружающей среды и продуктов сгорания. Химическая эксергия является результатом разности концентраций компонентов в продуктах сгорания и окружающей среде [4]. Согласно номограмме, ее вычисляют, зная содержание азота, кислорода и углекислого газа в продуктах сгорания, в зависимости от температуры и влажности окружающей среды. Для облегчения расчета химической эксергии продуктов сгорания по формуле (1),  $z_{0i}$  можно выразить через содержание компонентов сухого воздуха и влажность воздуха в окружающей среде, тогда уравнение для расчета химической эксергии

продуктов сгорания примет следующий вид [4]:

$$e_{ch} = R_u T_0 \left[ (N_2) \ln \frac{N_2}{0,7898} + (O_2) \ln \frac{O_2}{0,2099} + (CO_2) \ln \frac{CO_2}{0,0003} + (H_2O) \ln \frac{H_2O}{X_{z0}} + \ln(1 + X_{z0}) \right], \quad (27)$$

где  $(N_2)$ ,  $(O_2)$ ,  $(CO_2)$ ,  $(H_2O)$  — мольные содержания компонентов влажных продуктов сгорания;  $X_{z0}$  — влажность воздуха в окружающей среде. Так, согласно расчетам, эксергия продуктов сгорания возрастает с увеличением мощности мини-ТЭС. Чем ниже температура окружающей среды, тем меньше эксергия продуктов сгорания. В результате расчетов по предложенной эксергетической модели получены зависимости эксергии продуктов сгорания от мощности основного энергогенерирующего оборудования и средней температуры отопительного периода, которые описаны уравнениями регрессии. Решение о размещении угольной мини-ТЭС на конкретном предприятии должно приниматься в результате вариантных расчетов, однако формирование эксергетической функции, учитывающей влияние таких важных факторов как мощность электростанции и температурные условия отопительного периода, может способствовать большей конкретизации и ограничению области дальнейших расчетов.

Работа выполнена при финансовой поддержке ФАНИ (госконтракт № 02.516.11.6040) и РФФИ (грант № 08-08-00233)

### Литература

1. Петросян Л. А., Захаров В. В. *Математические модели в экологии*, Изд. С.-Петербургского университета, 1997.
2. Соколов Е. Я. *Теплофикация и тепловые сети*, Изд. МЭИ, 2001.
3. Шаргут Я., Петела Р. *Эксергия*, Изд. Энергия, 1968.