

УДК 620.193.53

В. П. БУБНОВ

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ (СБРОСОВ) ПРИ СЖИГАНИИ ОРГАНИЧЕСКОГО И ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

*Белорусский национальный технический университет*

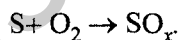
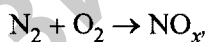
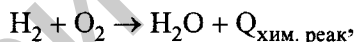
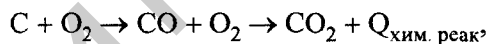
*(Поступила в редакцию 11.03.2010)*

В работе проведен анализ образования вредных выбросов (сбросов) при сжигании традиционного (газ, мазут, уголь) и ядерного топлива. Рассмотрение данной проблемы для Республики Беларусь в настоящее время особенно актуально, так как планируется строительство атомной станции и электростанции, использующей в качестве топлива уголь.

Механизм сжигания любого органического топлива представляет собой процесс окисления его горючих компонентов (углерода и водорода) кислородом воздуха. В качестве окислителя при сжигании органического топлива на электростанциях применяется атмосферный воздух. Следовательно, при его использовании помимо кислорода в топку (камеру сгорания) поступают и другие компоненты, например, азот, который при высоких температурах взаимодействует с кислородом воздуха, образуя окислы азота [1].

При сжигании твердого и жидкого топлива в атмосферу наряду с окислами основных горючих составляющих топлива (углерода и водорода) поступает сера, в результате чего образуются  $SO_2$ ,  $SO_3$  – газообразные продукты неполного сгорания.

Общий механизм процесса горения органического топлива можно записать в следующем виде [2, 3]:



Кроме вышеперечисленных выбросов при сжигании органического топлива выделяется значительное количество тяжелых металлов. Так, в золе при сжигании на ТЭС 35 млн т усл. т. кузнецкого угля при КПД золоуловителей 99 % выделяется 2,03 т кадмия, 2,85 т кобальта, 3,54 т меди, 2,85 т никеля, 8,61 т цинка (при сжигании 1 усл. т.: кадмия – 60 кг; кобальта – 80 кг; меди – 100 кг; никеля – 80 кг; цинка – 240 кг) [4].

При использовании общепринятой методики оценки экологического ущерба от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу ( $Y^A$ ) [5] были проведены сравнительные расчеты воздействия на окружающую среду различных видов органического топлива при их сжигании:

$$Y^A = Y_{\text{уд}}^A \sum M_{\text{ст}}^A K_{\text{эк}}^A, \quad (1)$$

где  $Y^A$  – экологический ущерб от загрязнения атмосферного воздуха выбросами от источников в течение отчетного периода времени, тыс. руб.;  $Y_{\text{уд}}^A$  – показатель удельного ущерба атмосферному воздуху, наносимого выбросом единицы приведенной массы загрязняющих веществ, руб./усл. т.;  $M_{\text{ст}}^A$  – приведенная масса выбросов загрязняющих веществ от стационарных источников, усл. т.;  $K_{\text{эк}}^A$  – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха территорий.

Приведенная масса загрязняющих веществ рассчитывается по следующей формуле:

$$M_{ст}^A = \sum m_i^A K_{zi}^A, \quad (2)$$

где  $m_i^A$  – фактическая масса  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ, т;  $K_{zi}^A$  – коэффициент относительной эколого-экономической опасности  $i$ -го загрязняющего вещества или группы веществ;  $i$  – индекс загрязняющего вещества или группы загрязняющих веществ,  $i = 1, \dots, N$ .

Значения коэффициентов и удельных показателей взяты из [5]:  $Y_{уд}^A = 63,4$  – среднее расчетное значение для европейской части;  $K_{zi}^A = 1,3$  – среднее расчетное значение для европейской части.

При расчете объемов выбросов вредных веществ с дымовыми газами ТЭС было принято, что угольные ТЭС оснащены электрофильтрами с эффективностью очистки золы 99%; при сжигании угля и природного газа будут соблюдены требования по обеспечению нормативов удельных выбросов  $SO_2$ ,  $NO_x$  и летучей золы в соответствии с ГОСТ Р 5083–95 для котельных установок.

В табл. 1 с учетом данных [4, 6] приведены удельные значения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании на ТЭС природного газа и кузнечного угля с золоулавливанием 99%.

Т а б л и ц а 1. Удельные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании на ТЭС природного газа и кузнечного угля, кг/т усл. т

Вид топлива	$SO_2$	$NO_x$	Летучая зола	$CO_2$
Кузнечный уголь	8,8	3,71	2,46	780
Природный газ	–	1,28	–	370

Из таблицы следует, что при сжигании любого вида органического топлива существует проблема «парниковых» газов. Под термином «парниковый» понимают эффект изменения климата, обусловленный ростом концентрации в атмосфере «парниковых» газов, задерживающих тепло, излучаемое Землей в Космос. Повышение концентрации «парниковых» газов приводит к усилению парникового эффекта и потеплению климата, опасного для всего человечества. Парниковый эффект имеет глобальный характер.

К «парниковым» относятся шесть основных газов: углекислый газ –  $CO_2$ , метан –  $CH_4$ , закись азота –  $N_2O$ , гидрофторуглероды – HFC, перфторуглероды – PFC и гексафторид серы –  $SF_6$ . Основную часть в выбрасываемых объектами ТЭК, промышленными и сельскохозяйственными предприятиями газах составляют углекислый газ и метан соответственно 80 и 18% от общего объема эмиссии. Вклад основных парниковых газов в антропогенную составляющую парникового эффекта составляет:  $CO_2$  – 55%, хлорфторуглероды – 23%,  $CH_4$  – 15%,  $N_2O$  – 6% [7]. Антропогенная эмиссия  $CO_2$  обусловлена промышленными выбросами ( $\approx 84,5\%$ ) и изменением в землепользовании (15,5%).

Основная доля промышленной эмиссии  $CO_2$  (97–99%) связана со сжиганием органического топлива. Так при сжигании 1 т усл. т. кузнечного угля выделяется 780 кг  $CO_2$ , а при сжигании 1 т усл. т. природного газа – 370 кг  $CO_2$  (табл. 1).

Отдельные авторы исследований по оценке объемов эмиссии парниковых газов предлагают учитывать выбросы по всей технологической цепочке движения топлива от добычи до потребления. В этом случае при сжигании 1 т усл. т. кузнечного угля по всей технологической цепочке выделится парниковых газов в эквиваленте  $CO_2$  3,4 т, а при сжигании 1 т усл. т. природного газа – 2,35 т  $CO_2$  [4, 6].

Для борьбы с возможным потеплением климата и с целью координации усилий мирового сообщества в этой области была разработана рамочная Конвенция ООН [7], согласно которой промышленно развитые страны и страны с переходной экономикой приняли на себя обязательства снижения выбросов парниковых газов до уровня базового 1990 г. Меры по снижению выбросов могут предприниматься совместно с другими государствами участниками.

По Киотскому протоколу выполнения Конвенции предусматривается торговля избытками квот на выбросы парниковых газов [7].

Ядерная энергетика в отличие от энергетики на органическом топливе не вызывает нарушения биохимических циклов кислорода, углекислого газа, серы, азота, так как «сжигание» ядерного топлива в реакторе – радиационный процесс распада ядра элемента топлива, а не химический процесс окисления [3], т. е. не используется кислород. Это позволяет не нарушать процентное содержание кислорода в окружающей среде (расход кислорода воздуха при производстве 1000 МВт электрической энергии на тепловых электростанциях составляет 6 200 000 т/год [3]).

Однако и при использовании ядерного топлива также образуются газообразные выбросы в виде газоаэрозолей и другие вредные выбросы (сбросы) в окружающую среду.

По данным Балаковской АЭС газоаэрозольные выбросы в 2002 г., отнесенные на 1 энергоблок мощностью 1000 МВт, составили 5 т/год, жидкие сбросы – 3570 т/год [8].

Учитывая, что жидкие сбросы имеют место на всех типах станций и объемы их сопоставимы при оценке экономического ущерба, эти сбросы при оценке ущерба не учитывались.

Результаты оценки ущерба от экологических загрязнений, вызванного выбросами вредных газообразных веществ в атмосферу без учета парниковых газов и кислорода, для некоторых рассматриваемых типов станций приведены в табл. 2. Из таблицы следует, что с учетом объемов и состава рассмотренных токсических выбросов атомные станции оказывают меньшее вредное экологическое воздействие на окружающую среду по сравнению с ТЭС на угле и природном газе, хотя последний часто называют экологически чистым топливом.

Т а б л и ц а 2. Экономический ущерб от выбросов загрязняющих газообразных веществ в атмосферу без учета  $CO_2$  (на 1000 МВт)

Показатель	АЭС	ПГУ – газ	ПГУ – уголь	КЭС – уголь
Валовой выброс $SO_2$ , т/год	–	–	13699	16209
Валовой выброс $NO_x$ , т/год	–	1759	5776	6833
Валовой выброс летучей золы, т/год	–	–	3830	4531
Аэрозольные выбросы, т/год	5	–	–	–
Экономический ущерб от выбросов, млн дол./год	0,001	0,077	1,084	1,282
Экономический ущерб от выбросов, отнесенный на отпущенную электроэнергию, цент/(кВт·ч)	$2 \cdot 10^{-5}$	0,001	0,019	0,022

В табл. 3 приведены результаты расчета варианта с учетом выбросов парниковых газов ( $CO_2$ ). По оценкам [6], стоимость квоты на выбросы парниковых газов составит порядка 10–50 дол. за 1 т  $CO_2$ . В таблице представлена возможная плата за выбросы  $CO_2$  при сжигании различных видов топлива.

Т а б л и ц а 3. Выбросы и плата за выбросы  $CO_2$  при сжигании органического и ядерного топлива на различных электростанциях (на 1000 МВт)

Показатель	АЭС	ПГУ – газ	ПГУ – уголь	КЭС – уголь
Выбросы $CO_2$ , млн т/год	–	0,62	1,48	1,75
Плата за $CO_2$ , млн дол./год*	–	6,2–30,9	14,8–73,9	17,5–87,4
Плата за $CO_2$ , отнесенная на отпущенную электроэнергию, цент/(кВт·ч)*	–	0,09–0,45	0,21–1,06	0,25–1,26

\* При нормативе платы за  $CO_2$  – 10–50 дол./т.

Наряду с вредными газообразными выбросами тепловые и атомные станции являются крупными потребителями воды, которая используется как для снятия теплоты при сжигании топлива, так и для отвода остаточного тепла, не используемого в тепловом цикле энергоустановки. Безвозвратные потери воды имеют место в основном в системах отвода низкотемпературного тепла (в системах охлаждения конденсатора станций). Поскольку эти системы как для ТЭС, так и АЭС не имеют принципиальной разницы, то потери можно считать зависящими только от расхода воды на охлаждение. Так как величина расхода воды на охлаждение на АЭС больше из-за меньшего КПД станции, связанного с особенностями теплового цикла, то и потери воды на АЭС

будут большими. Безвозвратные удельные потери воды в системе охлаждения АЭС примерно в 1,4 раза больше аналогичных потерь ТЭС, т. е. тепловые электростанции по этому параметру имеют преимущество перед АЭС.

Проведенная оценка платы за безвозвратные потери воды на станциях показала, что их значение на 1 кВт·ч отпущенной электроэнергии составляет незначительную величину – в пределах точности расчетов и практически не повлияет на сравнительную эффективность рассматриваемых генерирующих источников.

В то же время удельная занимаемая площадь земельного участка АЭС ( $630 \text{ м}^2/\text{МВт}$ ) в 2,4 раза меньше, чем участка ТЭС на газе ( $1500 \text{ м}^2/\text{МВт}$ ) и в 3,8 раза меньше чем для ТЭС на угле ( $2400 \text{ м}^2/\text{МВт}$ ) [6]. Следовательно, плата земельного налога для атомных станций имеет преимущество перед тепловыми.

Проведенные оценки экологического воздействия на окружающую среду при сжигании различных видов топлива при нормальных условиях их эксплуатации энергоисточника показывают, что введение финансовой ответственности энергопроизводителей за химическое и физическое загрязнение окружающей среды приводит к удорожанию «угольного» и «газового» электричества и снижает конкуренцию этих технологий относительно АЭС.

### Литература

1. Бубнов В. П., Зеленухо Е. В. // Вестн. Брестского государственного техн. ун-та. Сер. «Водохозяйственное строительство и теплоэнергетика» 2006. № 2. С. 37–39.
2. Бубнов В. П., Минченко Е. М., Зеленухо Е. В. // Вестні НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн навук. 2006. № 1. С. 94–98.
3. Бубнов В. П. // Наука и образование в условиях социально-экономической трансформации общества: Матер. XII Междунар. науч.-практ. конф. Мн., 2009. С. 313–316).
4. Крылов Д. А., Путинцева Е. В., Крылов Е. Д. Исследование экологических последствий использования угля вместо природного газа в электроэнергетике России. М., 2001. (Препринт № МЦЭБ-01–01).
5. Методика определения экологического ущерба. М., 1999.
6. Алексеев А. В. Экономическая оценка экологических эффектов от замещения природного газа углем и атомной энергией М., 2001. (Препринт № МЦЭБ-01-05).
7. Глебов В. П., Медок Е. Н., Чугаев А. Н. // Энергетик. 2002. № 7. С. 8–10.
8. Балаковская АЭС. Блок 5,6. Обоснование инвестиций сооружения II очереди // Атомэнергопроект. 210015.0000002.00506.510 ОБИН. 01. М., 2003.

*V. P. BUBNOV*

### ECOLOGICAL ASSESSMENT OF EMISSIONS (DISCHARGES) EFFECT ON ENVIRONMENT AT BURNING ORGANIC AND NUCLEAR FUELS

#### Summary

Comparative calculations of damage effect from burning products of different kinds of fuels (organic and nuclear) on environment are carried out. It is shown that ecological-economical damage by using nuclear fuel is lower than at burning of organic fuel.