

УДК 620.9:662.613.5:66.041

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВА И ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ЧАСТЬ 2

Региональные аспекты загрязнения атмосферы

Докт. техн. наук, проф. СОРОКА Б. С.

Институт газа НАН Украины

Загрязнение атмосферы у поверхности Земли при общей тенденции к увеличению концентрации вредных выбросов и парниковых газов, вызванному сжиганием ископаемого топлива (fossil fuel), характеризуется существенной неравномерностью этого явления по регионам мира. Это связано как с объемами используемого топлива и структурой топливного баланса отдельных государств по видам топлива, так и с экологическим совершенством его сжигания и очистки выбросов для стационарных потребителей и транспортных средств.

В [1] приведена информация по добыче и использованию в мире основного топлива современности – углеводородного (природный и попутный газы, жидкое нефтяное топливо), из которой очевидно несоответствие объемов добытого и потребляемого топлива по отдельным регионам. При этом преобладание углеводородного топлива в структуре энергопотребления характерно для развитых стран. Так, в 2005 г. в Германии его доля составляла 59 %, Великобритании – 73, Италии – 82, Испании – 69, в Нидерландах – 83 %. Эти страны, хотя и не имеют в ряде случаев собственных источников углеводородного топлива, способны оплачивать дорогие энергоносители, обеспечивающие пониженные выбросы вредных веществ по сравнению с твердым топливом. Развивающиеся страны, включая Китай и Индию, используют твердое топливо (различные угли) и местные топлива, что ведет к повышению выброса вредных веществ и парниковых газов.

В последние годы в мире наблюдается непрерывный рост потребления первичной энергии в любом виде. Так, по сравнению с 1995 (2004) г. в 2005 г. в мире увеличилось потребление жидкого топлива (нефти) на 18 (1,3) %, природного газа – на 27,7 (2,3), угля – на 28,4 (5,0), атомной энергии – на 19,2 (0,6), гидроэнергии – на 17,3 (42,2) % [2].

В то же время в развитых странах объем энергопотребления не растет, является законсервированной величиной и даже прогнозируется его паде-

ние в ближайшие десятилетия [2]. Однако происходит изменение структуры мирового топливного баланса с точки зрения как перераспределения основного энергопотребления в сторону новых развивающихся экономик (Китай, Индия), так и составляющих статей топливного баланса внутри каждой из стран. Например, в Германии при ожидаемом до 2030 г. снижении абсолютного потребления первичной энергии ожидается непрерывное повышение потребления природного газа с изменением его доли почти в 1,5 раза (с 21,7 % в 2002 г. до 31,5 % в 2030 г.) [2]. С учетом практически неизменной в этот период доли потребляемого жидкого топлива (нефти) можно предположить снижение в Германии в первых десятилетиях XXI в. потребления твердого и других видов топлива и источников первичной энергии.

Благодаря поддержанию или сокращению уровня потребления первичной энергии, а также изменению структуры топливопотребления в сторону газообразного и жидкого топлива следует ожидать снижения вредных выбросов в экономически развитых странах, а вследствие увеличения общемирового потребления энергии можно предположить дальнейшее усиление загрязнения территории развивающихся стран.

Вместе с тем прогнозы не являются надежными, поскольку, согласно оценкам, добыча нефти в мире в целом пройдет пик, а затем начнет снижаться [3, 4]. В связи с отсутствием точных оценок глобальных резервов и ресурсов, а также вследствие колебаний и непрогнозируемости цен на жидкое топливо (\$10/bbl – в 1986 г. и в 1998 г. – против \$75–60/bbl к концу 2006 г., где bbl – баррель) время начала падения добычи и уровня (объемов), с которого начнется спад, существенно отличается по разным сценариям (2010–2040 гг.) [3].

Выбросы CO₂ как основного парникового газа в процессах горения. В соответствии с Киотским протоколом (декабрь 1997 г.) по рамочной конвенции по изменению климата все страны были подразделены на вошедшие в приложение I (Annex I) – промышленно развитые страны, включая бывший Советский Союз (OECD + FSU), и не вошедшие в Приложение (non – Annex I countries) – развивающиеся страны. Для развитых стран Киотский протокол ограничивает совокупный выброс шести газов из числа парниковых, основной из которых – диоксид углерода CO₂. В число других входят: метан CH₄, закись азота N₂O, галоуглероды (halocarbons), перфлуороуглероды (perfluorocarbons), гексафлуорид серы (sulfur hexafluoride) [5].

Предполагается, что в 2008–2012 гг. суммарный выброс перечисленных парниковых газов должен сократиться на 5 % по сравнению с уровнем 1990 г. [5].

Вклад метана CH₄ в парниковый эффект в удельном выражении еще более существен, чем CO₂. Так, из расчета на 1 кг CH₄ он в 21 раз значительнее, чем для 1 кг CO₂ (в общем виде такое указание содержится в [6]). При сопоставлении влияния на парниковый эффект выброса 1 кг CH₄ в чистом виде и в виде CO₂ в количестве, эквивалентном сожженному 1 кг CH₄, в первом случае эффект будет в 7,6 раза значительнее, чем во втором. С учетом весьма ограниченных прямых утечек метана в атмосферу роль CH₄ в парниковом эффекте будет несопоставимо ниже, чем от загрязнения атмосферы углекислым газом.

В настоящее время в окружающей атмосфере концентрация CO_2 составляет 368 ppm [7] и имеет тенденцию к возрастанию.

Совершенно очевидно, что выбросы CO_2 как источника загрязнения атмосферы напрямую связаны с топливопотреблением и эффективностью использования топлива. В соответствии с [8] и нашими расчетами удельные выбросы CO_2 при сжигании различных топлив (уголь, нефтепродукты, природный газ, коксовый газ) соотносятся как 1:0,7:0,5:0,33. Такое соотношение характерно для любых процессов, где эти топлива используются, однако в случае процессов когенерации (КТЭ – комбинированное производство тепловой и электрической энергии – Combined Heat and Power (CHP) plants) удельные выбросы CO_2 становятся примерно вдвое ниже.

Дополнительные возможности установок КТЭ (CHP), построенных на базе двигателей внутреннего сгорания (ДВС), состоят в повышении эффективности (теоретического КПД) в сочетании с меньшим воздействием на глобальное потепление планеты [6]. Чем выше соотношение Н/С в топливе, тем ниже выбросы CO_2 .

Рассмотрим связь выбросов CO_2 со структурой топливного баланса и уровнем энерговооруженности в различных странах мира (рис. 1), а также на примере стран СНГ и других государств Центральной и Восточной Европы (табл. 1).

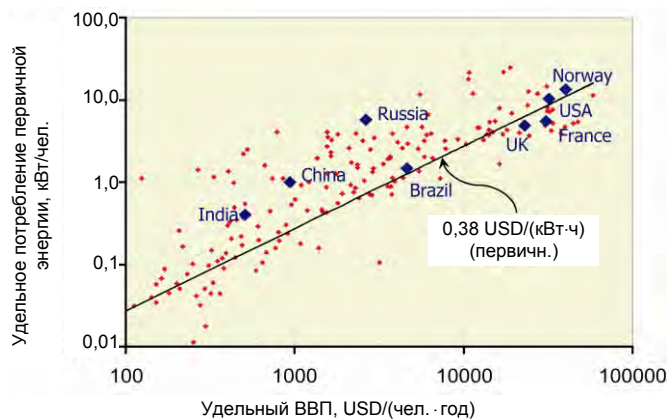


Рис. 1. Зависимость удельного потребления первичной энергии (в виде усредненной в течение года мощности энергопотребляющих установок $W_{\text{эпу}}$) от удельного (душевого) валового продукта страны

В соответствии с концепцией [9] предполагается положительная связь между удельным потреблением первичной энергии и удельным внутренним валовым продуктом страны. В случае нерационального использования энергии и топлива (страны СНГ) возникает нарушение этой корреляции: при фиксированном удельном ВВП в этих странах отмечается превышение энергопотребления по сравнению с прогнозируемым по концепции [9]. При этом, конечно же, будет наблюдаться и повышение выбросов CO_2 в атмосферу вследствие увеличенных расходов углеродсодержащего топлива. Такой вывод подтверждается данными табл. 1 и приведенной далее информацией.

Таблица 1

**Структура потребления топлива и выбросы CO₂
в странах Центральной и Восточной Европы**

Страна	Первичные энергоисточники (PFS) [*] , %			Электро-энергия ^{**} , кВт·ч чел.	CO ₂ /ВВП ^{**} , кг CO ₂ дол. США	CO ₂ /нас. ^{**} , т CO ₂ чел.
	Уголь	Мазут	Природный газ			
Беларусь	8,6	53,6	35,2	2910	2,39	5,97
Болгария	38,4	12,7	19,0	3999	3,36	6,14
Венгрия	21,2	35,0	30,6	3231	1,73	5,73
Польша	76,3	14,3	8,3	3206	4,70	9,06
Россия	18,6	36,5	44,4	4976	4,16	9,89
Румыния	24,8	29,4	44,3	2252	3,32	4,91
Словакия	34,4	26,0	26,4	4931	2,53	7,11
Украина	30,5	17,2	40,7	2948	5,76	7,41
Хорватия	-2,9	72,4	35,8	2477	1,84	3,66
Чехия	63,3	15,5	11,4	5660	4,45	11,74
Бывший СССР	22,8	36,4	133,8	3716	4,16	7,74
Бывшая Югославия	49,0	24,8	13,2	2901	1,24	4,25

* Информация 1994–1995 гг. [10]; ** – то же 1997 г. [11].

PFS – распределение первичных энергоисточников, в том числе минеральных и нетрадиционных; электроэнергия = общее производство + импорт – экспорт – потери; ВВП (GDP) – валовой внутренний продукт; нас. – население.

Три последние колонки (табл. 1) характеризуют энерговооруженность экономики страны и уровень загрязнения атмосферы парниковым газом с учетом эффективности производства и использования топлива. Кроме того, две последние колонки связаны со структурой топливного баланса и общественного производства страны. Чем выше доля перерабатывающих и наукоемких отраслей в структуре производства страны, тем ниже удельные выбросы CO₂ на единицу ВВП.

С повышением эффективности топливоиспользования показатель CO₂/ВВП понижается, что может быть подтверждено сравнением данных табл. 1 по показателю CO₂/ВВП для восточноевропейских стран с соответствующим индексом, для ведущих индустриальных государств (членов «Большой семерки»): США – 0,83; Великобритания – 0,50; Германия – 0,48; Франция – 0,28; Япония – 0,35; Италия – 0,36; Канада – 0,74.

В 2003–2004 гг. эти показатели для индустриально развитых стран несколько улучшились (например, для Австрии – 0,3; Бельгии – 0,43; Германии – 0,41; Франции – 0,24 [12]. По-видимому, столь низкий удельный выброс CO₂ во Франции при развитой металлургии связан как с высокой эффективностью использования топлива в промышленности, так и значительной (43 % в структуре потребления первичной энергии [2]) долей атомной энергии.

Что касается Украины, то, несмотря на двукратное снижение абсолютных выбросов парниковых газов в период 1990–1999 гг., обусловленное резким падением объемов производства, уже в 2002 г. выбросы превысили уровни 2000 и 2001 гг. в связи с тем, что в 2001 г. началось увеличение производства электроэнергии на тепловых станциях [13], а также наблюдается рост металлургического производства после падения в начале и сере-

дине 1990-х гг. Более того, в [14] делается вывод о том, что по удельному выбросу углеродсодержащих веществ Украина занимает 1-е место в мире, т. е. является наименее благополучной в мире страной по относительной величине «объем выбросов CO₂/ ВВП».

В целом в Украине динамика выбросов вредных веществ в атмосферу за последние 15 лет, по данным Госкомстата Украины, характеризуется следующими показателями [15] (табл. 2).

Таблица 2

Годовой объем выбросов по Украине

Год	1990	1995	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Годовой объем выбросов, тыс. т	9439,1	5687,0	3959,4	4054,8	4075,0	4087,8	4151,	4449,3

Приведенные данные свидетельствуют о положительных тенденциях в состоянии окружающей среды благодаря снижению вредных выбросов. Следует, однако, иметь в виду, что сокращение выбросов обусловлено упомянутым резким падением объемов производства в 1990-е гг. и изменением его структуры. Важнейшим для оценки приведенной информации является фактор недостаточной надежности статистической информации, которая зачастую базируется не на результатах измерений, а на паспортных и нормативных характеристиках топливоиспользующих и технологических агрегатов, а также транспортных средств.

Загрязнение окружающей среды при использовании топлива в промышленности. Нормирование выбросов. В промышленном производстве используются разнообразные топливные агрегаты энергетического и технологического назначения – от котлов и газотурбинных установок (ГТУ) до разнообразных технологических печей. В качестве топлива в металлургии применяются все существующие виды топлив: ископаемое (твердое, жидкое и газообразное) и искусственное (технологическое) топлива. В связи с этим металлургическое производство является важнейшим загрязнителем окружающей среды.

Вместе с тем передовые металлургические компании развивают свое производство таким образом, чтобы не только обеспечивать выполнение постоянно ужесточаемых национальных и международных (ЕС) экологических стандартов, а также часто руководствуются собственными, более строгими нормативами. Примером такой фирмы может служить Lurgi Lentjes Service (Германия), нормативы которой для различных топлив представлены в табл. 3. Здесь в качестве нормируемых компонент используются оксиды азота NO_x и углерода CO, а также дисперсные (пылевые) частицы [16].

Что касается NO_x, то важнейшими источниками их образования являются высокотемпературные процессы, особенно в печах, где окислительный воздух или воздух, обогащенный кислородом, подогреваются до высоких температур (до 500 °С и более) с целью понижения расхода и экономии топлива. Именно повышение температуры воздуха горения, обеспечивая высокую энергетическую эффективность нагревательных печей, вызвало превышение [NO_x] на выходе из печей станков 850 и 320/150 Белорусского

металлургического завода по сравнению с нормативами США, Японии и Германии [17].

Таблица 3

Внутренние нормативы компании Lurgi на вредные выбросы технологического оборудования, разрабатываемые фирмой, мг/м³, при НТР* [15]

Топливо	Контрольное O ₂ , %**	NO _x ***	CO	Пылевидные частицы
Природный газ	3	80	50	–
Природный газ за ГТУ****	3	150	100	–
Легкое жидкое топливо	3	130	170	30
Легкое жидкое топливо за ГТУ	3	200	100	30
Тяжелое жидкое топливо за ГТУ	3	300–400	100	50
Тяжелое жидкое топливо	3	400	100	50
Уплотненный уголь (сухая зола удалена)	6	200–400	250	Фильтр
Бурый уголь (необогащенный)	6	200	250	Фильтр
Бурый уголь (распыленный)	6	200–400	250	Фильтр
Коксовый газ	3	100	100	50
Доменный газ	3	160	100	В зависимости от входных условий

* НТР – при нормальных условиях (температура, давление).

** Содержание O₂ в сухих отходящих газах, к которому приводится состав газовых выбросов.

*** NO_x относится к полному содержанию оксидов азота, выраженных в виде NO₂, в сухих отходящих газах при пересчете на состав с [O₂] в колонке «Контрольное O₂».

**** При использовании (сжигании) отходящих газов после ГТУ, содержащих 13–15 % O₂ с температурой 500–600 °С. Вспомогательные топлива, используемые при этом: природный газ, легкое и тяжелое жидкие топлива [16].

Поставленные в 1980-е гг. горелочные устройства этих печей, отличающихся высокоэффективным использованием газа, не обеспечивали нормативные концентрации [NO_x] даже в условиях холодного окислителя. В реальных условиях эксплуатации при подогреве воздуха горения до 500–550 °С отмечено существенное превышение выбросов оксидов азота по сравнению с нормативами.

Наряду с нормативами предельных концентраций более информативными для оценки воздействия на атмосферу, по-видимому, являются нормирование и ограничение удельных выбросов загрязняющих веществ на единицу продукции, производимой или обрабатываемой в топливоиспользующем агрегате – удельный производственный выброс [18, 19].

Способы понижения вредных выбросов в продуктах сгорания следует подразделить на следующие:

а) прямого действия, влияющие на их концентрацию T_i в продуктах сгорания при заданном составе и параметрах топлива и окислителя, обычно реализуются действием на процесс горения через конструкцию горелочного устройства;

б) режимного (эксплуатационного) действия, влияющие на общий выброс T_i или удельный C_{Ti} на единицу тепловой мощности (для энергоустановок) или единицу продукции (для технологических печей).

В случае фиксированного состава и параметров топлива и окислителя указанный способ реализуется при эксплуатации топливоиспользующих установок в режимах, приближенных к оптимальным по производительности. Если имеется возможность варьирования состава и параметров топлива и окислителя, то могут выбираться последние, обеспечивающие понижение вредных выбросов. Примером такого решения может быть использование *oxy-fuel* горелок (на чистом O_2 , теоретически вообще исключая образование NO_x) – для высокотемпературных плавильных печей [20] – или многотопливных систем сжигания – для котельных агрегатов [16]. В последнем случае, например, используется сочетание многосопловых горелок для сжигания доменного газа с горелками косового газа, природного газа и легкого жидкого топлива;

в) итогового действия, влияющие на концентрацию $[T_i]$, общий выброс T_i и удельный C_{Ti} выброс путем использования специальных очистных или утилизационных устройств.

Наиболее распространенным является первый из перечисленных способов – создание и использование низкоэмиссионных горелочных устройств. Несмотря на то, что к настоящему времени разработаны основные приемы конструирования низкоэмиссионных горелок, а также реализуются значительные возможности компьютерного моделирования CFD (Computational Fluid Dynamics – математическое моделирование и разработка программных продуктов) и оптимизации геометрии топочных и горелочных устройств, до сих пор решение этой проблемы зависит от опыта и искусства проектировщика.

Обычно всегда требуется рутинная многовариантная отработка узлов горелок и их сочетания на огневом стенде. Использование универсальных специализированных компьютерных программ (CFD) при этом носит вспомогательный характер.

Так, не могут быть даны однозначные рекомендации по поводу одного из важнейших мероприятий организации процесса горения с точки зрения минимизации выхода NO_x – целесообразности формирования растянутого или короткого факела. Несмотря на кажущиеся преимущества в этом контексте замедленного смешения компонентов горения и сопутствующего понижения пиковых температур в факеле, возможны ситуации, когда пониженные концентрации NO_x наблюдаются при короткофакельном сжигании.

Связь вредных выбросов со структурой промышленного производства (на примере Украины). Загрязнение атмосферы зависит не только от региональных (по странам и континентам мира) аспектов топливоэнергopotребления, но и от уровня развития и особенностей экономики каждого государства в отдельности.

Структура промышленности Украины такова, что на обрабатывающие отрасли промышленности приходится 77,3 % объема реализованной продукции, из которых высокотехнологичные отрасли представлены очень небольшой долей производства [21]. Так, по данным Госкомстата Украины, объем электрического оборудования и электронной техники в общем объеме промышленной деятельности в 2005 г. составлял всего 2,1 %, а машиностроения в целом – 12,2 %. В то же время доля металлургии

и обработки металла в экономике промышленности составляет 26,6 %, химии и нефтехимии, включая химическую, нефтеперерабатывающую, целлюлозно-бумажную промышленность, а также производство стройматериалов и стекла – в целом 21, производство и распределение электроэнергии, газа и воды – 13,2 % [21].

Таблица 4
Структура потребления электроэнергии
в Украине за 7 месяцев 2006 г., % [22]

Потребление электроэнергии	100
Промышленность, т. ч.	55
• металлургическая	29,2
• топливная	7,1
• химическая и нефтехимическая	5,1
• машиностроительная	4,8
• пищевая и перерабатывающая	2,9
• строительных материалов	2,0
• другая	3,8
Сельхозпотребители	2,4
Транспорт	6,7
Строительство	0,7
Коммунально-бытовые потребители	11,4
Другие непромышленные потребители	3,6
Население	20,1

Среди отраслей экономики металлургия представляет основную отрасль по топливоэнергопотреблению. Структура потребления электроэнергии в Украине за 7 месяцев 2006 г., по данным Госкомстата Украины, сведена в табл. 4. В республике доля металлургической промышленности, по данным Минэнерго, составляет 53 % общего потребления всеми отраслями промышленности (по данным за 1-е полугодие 2006 г.), или 29,2 % всего нетто-потребления электроэнергии в стране [22].

Даже в Японии – государстве с максимальной долей высокотехнологичных производств в структуре промышленности – потребление электроэнергии черной металлургией (steelmaking industry) составляет 11 % общего национального потребления первичной энергии, потери – 5 % в форме сбросной теплоты [23].

В Украине доля первичных энергоресурсов (ПЭР), потребляемых промышленностью, имеет тот же порядок, что доля электроэнергии, и составляет около 50 %, а в развитых странах – в среднем 30 % [24]. Доля котельно-печного топлива в структуре ПЭР превышает 50 %, в том числе в металлургии – 15,22 % (1995 г.) [24]. Потребление природного газа в металлургии составляет 11,5 % общего объема газообразного топлива (1996 г.).

Специфика регионального потребления энергии и первичных ТЭР учитывает как структуру региональной экономики (вклад отраслей промышленности), так и энерготопливоемкость отдельных видов производства. С учетом обоих факторов распределение основных производств, главные из которых (горно-металлургический комплекс) сосредоточены в Донецко-Днепровском бассейне: Донецкой обл. (23,6 % объема реализованной промышленной продукции по регионам за январь – июль 2005 г.), Днепропетровской обл. (16,8 %), Запорожской обл. (8,7 %), Луганской обл. (8,0 %) предопределяет региональную структуру энергопотребления в Украине. Предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК) сосредоточены в Полтавской обл. (6,1 % объема общей по Украине реализованной промышленной продукции), а также в районе г. Киева (4,7 %), в Харьковской обл. (4,5 %) [25], что соответственно отражается на структуре потребления первичных ТЭР.

В связи с указанной топливозависимой спецификой промышленного производства основные выбросы вредных веществ в Украине связаны с эксплуатацией технологических топливных печей, парогенераторов и котлов, которые сосредоточены преимущественно на предприятиях упомянутых регионов и областей.

В табл. 5 представлены данные по выбросам вредных веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения в отдельных регионах Украины в 2005 г. [26], а в табл. 6 – по видам экономической деятельности [26].

Таблица 5

Выбросы вредных веществ в атмосферу от стационарных источников загрязнения по регионам Украины в 2005 г.

Регион	Объем выбросов			Плотность выбросов в расчете на 1 кв. км, кг
	тыс. т	% к 2004 г.	% к итогу	
Украина	4449,3	107,2	100,0	7372,2
Автономная Республика Крым	35,1	99,9	0,8	1346,1
Винницкая обл.	107,4	139,8	2,4	4053,4
Волынская обл.	11,8	139,3	0,3	586,0
Днепропетровская обл.	993,5	113,7	22,3	31123,2
Донецкая обл.	1637,7	102,5	36,8	61759,1
Житомирская обл.	13,4	80,5	0,3	225,0
Закарпатская обл.	11,4	118,5	0,3	893,0
Запорожская обл.	262,0	113,6	5,9	9637,4
Ивано-Франковская обл.	204,2	115,6	4,6	14664,4
Киевская обл.	72,9	92,5	1,6	2593,8
Кировоградская обл.	33,0	112,0	0,7	1340,0
Луганская обл.	474,6	104,8	10,7	17786,4
Львовская обл.	95,8	106,6	2,2	4389,3
Николаевская обл.	24,3	109,6	0,5	988,3
Одесская обл.	40,2	137,5	0,9	1205,9
Полтавская обл.	68,4	94,5	1,5	2379,6
Ровенская обл.	17,3	109,5	0,4	864,8
Сумская обл.	26,1	86,4	0,6	1096,3
Тернопольская обл.	14,9	118,5	0,3	1078,3
Харьковская обл.	158,4	107,0	3,6	5041,8
Херсонская обл.	11,0	126,9	0,2	386,3
Хмельницкая обл.	16,0	95,0	0,4	777,4
Черкасская обл.	39,4	113,4	0,9	1884,9
Черниговская обл.	37,5	99,0	0,8	1176,6
Черновицкая обл.	5,2	108,1	0,1	642,7
Киев	33,6	96,3	0,8	40146,8
Севастополь	4,2	119,4	0,1	4846,5

Обычно принято рассмотрение в качестве экологической характеристики территории (государства) удельного объема выбросов на единицу ВВП или населения (на 1 чел.). Наряду с этим обоснованными являются и другие характеристики уровня загрязнения. Несмотря на то, что плотность выбросов представляет собой удельный (интенсивный) показатель, а ВВП

или объем промышленного производства – экстенсивную характеристику, мы полагаем уместным рассмотреть комбинации этих величин, являющихся наиболее представительными в качестве экологического и экономического индикатора развития государства (региона) соответственно.

Таблица 6

**Выбросы вредных веществ в атмосферу
по видам экономической деятельности в 2005 г.**

Выбросы	Количество предприятий, которые имели выбросы, ед.	Объем выбросов			Выбросы в среднем на одно предприятие, т
		тыс. т	% к 2004 г.	% к итогу	
Все виды экономической деятельности,	10921	4449,3	107,2	100,0	407,4
в том числе:					
добывающая промышленность	508	1023,5	103,2	22,7	2014,7
обрабатывающая промышленность	4525	1701,6	104,1	36,7	376,0
из них:					
производство кокса, продуктов нефтепереработки и ядерного топлива	48	124,9	80,8	2,8	2601,6
металлургия и обработка металла	353	1289,0	106,5	28,7	3651,5
производство электроэнергии, газа и воды	758	1440,7	115,1	34,7	1900,7
Транспорт	1164	154,3	100,0	3,3	132,5

Данные по объему выбросов коррелированы нами с ВВП Украины и региональными показателями объемов промышленного производства.

Средний годовой (2005 г.) показатель удельных выбросов по Украине в целом составляет $0,01735 \cdot 10^{-6}$ кг/(км²·грн.), причем расчет указанной величины выполнен на единицу годового национального ВВП. Результаты указывают на то, что основной объем выбросов приходится на металлургические центры Украины: Донецкую, Днепропетровскую, Луганскую и Запорожскую области. Проведя обработку данных [25, 27], получаем удельный показатель выбросов c в трех первых из названных областей: эта величина составляет $(0,051-0,073) \cdot 10^{-6}$ кг/(км²·грн.) на единицу площади и единицу произведенной промышленной продукции (в денежном выражении). Для Запорожской области показатель c не превышает значения $0,03 \cdot 10^{-6}$ кг/(км²·грн.).

В областях, где основные производственные мощности приходятся на более технологичную и конечную продукцию (например, машиностроение), этот показатель ниже. Так, соответствующий показатель $c \cdot 10^{-6}$ составляет в: Одесской области – $0,0083$ кг/(км²·грн.), Николаевской – $0,0126$, Сумской – $0,0180$, Харьковской – $0,0265$ кг/(км²·грн.).

Отчетные данные по загрязнению получены по различным методикам, они не являются полными и не могут претендовать на особую достоверность. Таким образом, приведенную количественную информацию необходимо принимать как оценочную.

Особый интерес и в то же время сомнения вызывает попытка представить выбросы в городах-регионах (Киеве и Севастополе) по удельным (на единицу площади) показателям. В этом случае получаем абсурдный результат – наиболее загрязненным по Украине оказываются г. Киев и особенно г. Севастополь: используя данные статистической отчетности [25, 27], получаем результат: $2,42 \cdot 10^{-6}$ кг/(км²·грн.) – для Киева и $3,62 \cdot 10^{-6}$ кг/(км²·грн.) – для Севастополя. Вместе с тем отнесение общего объема выбросов в городах к объему производства дает более объективный и существенно более низкий относительный показатель выбросов: 2,03 г/грн. – для Киева против 16,4 г/грн. – для Днепропетровской обл., 19,4 г/грн. – для Донецкой обл.

Определенную связь можно выявить и при попытке корреляции выбросов с уровнем экспорта по различным регионам страны. В связи со сложившейся структурой производства (слабое развитие высокотехнологичных отраслей в стране) наибольшим экспортным потенциалом обладают наиболее загрязненные металлургические центры – Донецкая и Днепропетровская обл. [28].

Анализ приведенной информации и результатов ее обработки указывает на наличие отчетливой корреляции уровня загрязнения региона с концентрацией добывающей или первично-обрабатывающей промышленности (металлургия, в меньшей степени – химия, нефтехимия, коксовое производство).

ВЫВОДЫ

1. Загрязнение окружающей среды, обусловленное выбросами токсичных веществ и парниковых газов, напрямую зависит от структуры промышленного производства в регионе (стране, группе стран, части страны): чем выше доля производств, связанных с добычей и первичной переработкой сырья, топлива, а также со сжиганием топлива при производстве и преобразовании энергии (электрической и тепловой) и при ее прямом использовании, чем ниже доля высокотехнологичных производств, тем выше уровень загрязнения атмосферы.

Этот вывод может быть подтвержден на примере Украины, где основными в национальной экономике являются металлургический и топливно-энергетический комплексы. Наибольшие объемы выбросов загрязняющих веществ в атмосферу в этой стране: в черной металлургии – 30,3 %, энергетике – 26,9, на предприятиях по производству кокса – 3,6 % [29]. Наиболее загрязненным регионом в Украине является Донецкая обл. (36,8 % вредных выбросов всей страны), далее следуют: Днепропетровская обл. (22,3), Луганская обл. (10,7) и Запорожская обл. – (5,9 %).

2. Представительными для обобщенной оценки экологической и экономической эффективности производства в стране и по регионам являются удельные показатели выбросов на единицу ВВП или на единицу произведенной продукции в денежном выражении. С учетом существования городов-регионов (в Украине – Киев и Севастополь) сопоставление отдельных регионов страны по показателю удельных выбросов на единицу территории лишено смысла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорока, Б. С. Использование топлива и загрязнение окружающей среды / Б. С. Сорока. – Ч. 1. Энергоэкология использования топлива и нормирование вредных выбросов // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ). – 2007. – № 2. – С. 39–52.
2. Weiss, M. Verflugbarkeit und Perspectives wichtiger Energietrager – Ein Uberblick / M. Weiss // Gaswarme Int. – 2006. (55). – № 8. – S. 575–578.
3. Salimando, J. Energy Prices: Still Going Up / J. Salimando // Energy & Power Management. – 2007. – January.
4. Heslin, K. The World May Be Flat / K. Heslin // Ibid. – P. 27–30.
5. Energy and Technology in the 21st Century / IASIA Options: Winter 1998. – 17 p.
6. LeCorre, O. NO_x emissions reduction of a natural gas/Engine under lean conditions: comparison of the EGR and RGR concepts / O. LeCorre, F. Pirotais // Proceedings of ICES06, 2006 Spring Technical Conference of the ASME Internal Combustion Engine Division, Aachen, Germany, May 8–10, 2006.
7. Global Energy Perspectives: IASIA – WEC // Ed. N. Nakicenovic, A. Grubler, A. McDonald. – Cambridge University Press. – 1998. – 299 p.
8. Smith, D. J. Europe Parts a Spotlight on CHP / D. J. Smith // Power Engineering Int. – 1998. – V. 6, № 1. – P. 25–27.
9. Lackner, K. S. Carbon Capture and Storage. Why and How? / K. S. Lackner / Earth Institute, School of Engineering & Applied Sciences. – 2007. – January. – 71 p.
10. Assessment of the Significance of New Emerging Gas-Based Technologies to the Energy Requirements of the Central and Eastern European Countries / Final Report for Int. Center for Gas Technology. – T. Joyce Ass Inc. – 1995. – 148 p.
11. Key World Energy Statistics from the IEA / 1999 Edition – IEA: Paris. – 1999. – 73 p.
12. VI енергоекологічний конгрес «Енергетика. Екологія. Людина». – Київ, 15–18 березня 2006 / Выступление С. Ф. Ермилова.
13. Паливно-енергетичний комплекс України в контексті глобальних енергетичних перетворень / А. К. Шидловський [та ін.]. – Сер. Енергетика України на початку ХХІ століття. Т. II. – Київ, 2004. – 468 с.
14. Енергетика світу та України: цифри та факти / Г. К. Вороновський [та ін.]. – Сер. Енергетика України на початку ХХІ століття. – Київ, 2005. – 404 с.
15. Статистичний щорічник України за 2004 р. – Київ, 2005 р.
16. Combustion and Firing Systems / Lurgi Lentjes service mg engineering. – Duisburg, 2000. – 27 p.
17. Энергоэкологическая оценка работы высокотемпературных печей с горелочными устройствами различной конструкции / Б. С. Сорока [и др.] // Проблемы контроля и защиты атмосферы от загрязнения. – Киев: Наукова думка, 1992. – Вып. 17. – С. 53–64.
18. Сорока, Б. С. Интенсификация тепловых процессов в топливных печах / Б. С. Сорока. – Киев: Наукова думка, 1993. – 413 с.
19. Бретшнайдер, Б. Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль / Б. Бретшнайдер, И. Куртфюрст. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
20. Wishnick, D. Development & Commercialization of the Next Generation Oxygen / D. Wishnick [at et.] / Fuel Burner // Eclipse/Combustion Tec. – 2002. – 9 p.
21. «2000». – 2005. – № 35 (283). – 2–8 сентября. – С. Е.6.
22. «2000». – 2006. – № 33 (329). – 18–24 августа. – С. Е.4.
23. Maruoka N., Mizuochi T., Purwanto H., Akiyama T. Feasibility Study for Recovering Waste Heat in the Steelmaking Industry Using a Chemical Recuperator in ISIJ Intern., Vol. 44 (2004). – № 2. – P. 257–262.
24. Ковалко, М. П. Энергобереження – пріоритетний напрямок державної політики України / М. П. Ковалко, С. П. Денисюк / Відпов. ред. А. К. Шидловський – Київ: УЕЗ, 1998. – 506 с.
25. «2000». – 2005. – № 35 (283). – 2–8 сентября. – С. Е.8.
26. «2000». – 2006. – № 12 (311). – 24–30 марта. – С. Е.4.
27. «2000». – 2005. – № 40 (288). – 7–13 октября. – С. Е.7.
28. «2000». – 2005. – № 40 (288). – 7–13 октября. – С. Е.8.
29. «2000». – 2006. – № 51 (347). – 22–28 декабря. – С. Е.8.

Поступила 4.04.2007