

## АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА В ЭНЕРГЕТИКЕ

*Проведені дослідження та аналіз використання вугілля, збагаченого до проектних показників, на прикладі 13-ти найбільших ТЕС України. Показано, що спалювання вугілля підвищеної якості не приводить до суттєвого подорожчання палива внаслідок зменшення витрат на його транспортування та на газомазутне паливо, яке необхідне для підсвічування пиловугільної суміші підвищеної зольності. Крім того, значно скорочуються шкідливі викиди в атмосферу: твердих часток — до 50% та окислів сірки — до 15%.*

*Проведены исследования и анализ использования угля, обогащенного до проектных показателей, на примере 13-ти самых крупных ТЭС Украины. Показано, что сжигание угля повышенного качества не приводит к существенному удорожанию топлива вследствие уменьшения расходов на его транспортировку и на газомазутное топливо, необходимое для подсветки пылеугольной смеси повышенной зольности. Кроме того, значительно сокращаются вредные выбросы в атмосферу, а именно: твердых частиц — до 50% и окислов серы — до 15%.*

Анализ развития мировой экономики показывает, что в обозримой перспективе роль угля в топливно-энергетическом комплексе будет непрерывно повышаться. Этот вывод особенно важен для Украины, которая имеет значительные запасы угля и относительно развитую структуру угледобычи, но не располагает достаточными запасами нефти и газа и, естественно, промышленной базой их добычи. Учитывая дороговизну импортных нефти и газа, в обозримом будущем Украине придется рассчитывать на собственные энергоресурсы — твердое топливо. И это не противоречит логике развития топливной базы энергетики, так как по статистическим данным за 1992 год в США уголь для выработки тепла и электроэнергии составлял 80,8%, а по данным за 1993 год на Украине этот показатель составил всего лишь 46,5%.

Однако возникают затруднения в обеспечении теплоэлектростанций Украины необходимым количеством качественного твердого топлива. И затруднения эти носят объективный характер. Шахтный фонд на Украине устарел и не отвечает установленным требованиям, так на каждой третьей из четырех шахт оборудование используется более 20 лет.

Уровень добычи угля за последние восемь лет упал более чем в 2 раза (табл. 1).

Как видно из таблицы, имеет место небольшой прирост добычи угля в 1997 году против 1996 года, соответственно, 75,9 и 71,7 млн. т.

Перед Минуглепромом поставлена задача немедленного реформирования отрасли, в том числе улучшение его шахтного фонда за счет выведения из эксплуа-

**Таблица 1. Динамика добычи угля на Украине**

Годы	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998
Уголь, млн.т	164,8	135,6	133,7	115,7	94,4	83,6	74,8	75,9	76,2

тации нерентабельных предприятий и разрезов с одновременным сосредоточением средств на проведение реконструкции перспективных шахт и обеспечении ввода в действие новых мощностей.

Вышеуказанные проблемы требуют более рационального использования твердого топлива на теплоэнергетических предприятиях Украины.

Тепловые электростанции сжигают антрацит (А) и тощий (Т) уголь, каменные угли (длиннопламенный Д, газовый Г), бурые (Б), угли Донецкого, Львовско-Волынского и других бассейнов. На сжигание твердого топлива спроектированы 90 энергоблоков мощностью 150, 200, 300, 800 Мвт из общего числа 104.

Остальные 14 энергоблоков спроектированы на сжигание природного газа, в том числе, шесть — 800-тысячников, два — 300-тысячника и пять энергоблоков по 250 Мвт.

Рассмотрим наиболее существенные проблемы, влияющие на эффективность использования твердого топлива.

В качестве иллюстративного материала будем рассматривать данные об использовании угля по Минэнерго Украины за 1993 год, которые имеются в наиболее полном виде.

Как показывает мировая практика, на электростанциях высокоразвитых стран сжигается высококачественный уголь, основные характеристики которого следующие: зольность угля на рабочую массу  $A^P$  — до 20% и теплота сгорания на рабочую массу  $Q^{Pн}$  находится в интервале 6000-6500 ккал/кг [1].

В настоящее время на основе гидрогенизации и других процессов, связанных с разрушением сернистых соединений и минеральной массы, разработана технология, допускающая глубокое обогащение угля. Так, например, низкосортный высокосернистый уголь с теплотой сгорания 3900 ккал/кг можно обогатить до угольной пыли с содержанием серы 0,1-0,3%, зольностью от 0,3 до 1% и теплотой сгорания 6900 ккал/кг [2].

Для ТЭС Украины проектные теплофизические показатели угля тоже достаточно высокие, так зольность в среднем составляет  $A^P$  — до 20%, а теплота сгорания ( $Q^{Pн}$ )

находится в интервале от 5000 до 6500 ккал/кг, и только Зуевская и Кураховская ТЭС спроектированы для сжигания угля (в основном, отходов обогащения угля — промпродукта и отсева), соответственно, с зольностью 34% и 41% и теплотой сгорания — 4730 и 4100 ккал/кг.

Однако фактические поставки угля на ТЭС Украины далеки по качеству от проектных. В таблице 2 приведены

теплофизические показатели проектного и фактически поставляемого топлива на 13-ти самых крупных ТЭС в 1993 году. Как видно из таблицы,  $A^p$  и  $Q_{н}^p$  фактического и проектного топлива отличаются на 20-30% в сторону ухудшения. При сжигании угля с проектными характеристиками предусмотрено добавление по нормам НР-34-00-84-85 до 3% топочного мазута или природного газа для подсветки факела горения [3, 4]. В том случае, когда низшая теплота сгорания ( $Q_{н}^p$ ) рабочей массы реального угля ниже 4400-4500 ккал/кг, номинальную нагрузку котлы не могут нести даже при расходе газомазутного топлива до 50% от массы сжигаемого угля.

Так в 1993 г. в Украине для выработки тепло- и электроэнергии было израсходовано 26,2 млн.т.т (тонн условного топлива) или 42,9 млн.т.т (тонн натурального топлива) при средней  $Q_{н}^p = 4277$  ккал/кг [5]. Для подсветки факела горения было использовано 8,68 млн.т.т газомазутного топлива (5,18 млн.т.т (60%) природного газа и 3,5 млн.т.т (40%) мазута), что составило 33% от общей массы угля. Таким образом, можно сделать вывод, что сжигается огромное количество ценного технологического топлива, а это прямые экономические потери.

Чтобы исключить эти потери, необходимо поставлять на ТЭС Украины отечественный уголь, обогащенный хотя бы до проектных показателей. Это будет способствовать повышению доли угля в общем балансе топлива для вы-

работки тепловой и электрической энергии, сэкономит газомазутное топливо и, что особенно важно, значительно уменьшит загрязнение окружающей среды отходами предприятий электроэнергетики.

1. Выполним экономический анализ вариантов использования обогащенного и необогащенного (натурального) угля на самых крупных ТЭС Украины (см. табл. 2).

На указанных теплоэлектростанциях в 1993 году было сожжено 25,079 млн.т.т энергетического угля и на его подсветку понадобилось 33% газомазутного топлива или 8,276 млн.т.т, в том числе 4,966 млн.т.т (60%) природного газа и 3,31 млн.т.т (40%) топочного мазута.

Если взять приблизительную цену одной тонны условного топлива: угля — 190 грн., газа — 245 грн., мазута — 420 грн., то стоимость всего топлива будет  $25,079 \cdot 10^6 \cdot 190 + 4,966 \cdot 10^6 \cdot 245 + 3,31 \cdot 10^6 \cdot 420 = 7372 \cdot 10^6$  грн.

(7,372 млрд.грн.).

Оценим стоимость угля, обогащенного до уровня проектных характеристик качества для каждой станции из табл. 2, количество которого эквивалентно фактически использованному в 1993 году.

В таблице 2 ТЭС разбиты на две группы. Первая группа состоит из шести ТЭС, которые используют уголь марок Г-Д и вторая — из семи ТЭС, работающих на угле марок АШ-Т (антрацитовый штыб и тощий).

Несложно произвести количественный перерасчет

топлива  $V_f$ , которое фактически поступило на станции в топливо  $V_n$  проектное, т.е. с качеством угля, обогащенного до проектных показателей.

Для этого воспользуемся формулой

$$V_n = \Sigma_k \cdot V_f \quad (1)$$

где  $\Sigma_k$  — калорийный топливный эквивалент, который выражается через значения низшей теплоты сгорания на рабочую массу, соответственно, фактического  $Q_{н}^{рф}$  и проектного  $Q_{н}^{рп}$  топлива.

$$\Sigma_k = Q_{н}^{рф} / Q_{н}^{рп} \quad (2)$$

В таблице 2, в колонках 9, 10, 15 указаны значения  $V_f$ ,  $Q_{н}^{рф}$ ,  $Q_{н}^{рп}$ , а в колонке 14 — вычисленные по формулам (1) и (2) необходимое количество угля с проектными показателями качества  $V_n$  для каждой станции.

Всего натурального топлива на вышеуказанные станции поступило 41,176 млн.т.т (табл. 2, колонка 9), а с проек-

Таблица 2. Данные о работе ТЭС Украины в 1993 году

№ п/п	Название ТЭС	Марка угля	Выраб. эл. эн. млн. кВт.ч	Выраб. тепла тыс. Гкал	Использовано топл. в 1993 г.			Фактическое топливо (уголь)				
					Уголь	Мазут	Газ	$V_f$ тыс. т.т	$Q_{н}^{рф}$ ккал/кг	$A^{рф}$ %	$W^{рф}$ %	$S^{рф}$ %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Ладыйжинская	Г-Д	6284	245	1117,6	5	971	2130	3673	38,88	9,9	2,84
2	Углегорская	ГСП	13748	218	1490,4	563	2490	2394	4358	30,2	10,6	2,87
3	Запорожская	ГСП	11154	230	1789,4	284	1616	3432	3650	40,69	8,6	1,49
4	Зуевская	ГСП	5506	69	999,3	33	813	2017	3468	38,2	11,0	1,54
5	Кураховская	ПП	8450	588	2605,3	385	—	5002	3646	40,84	9,17	1,2
6	Бурштынская	ПП	8704	230	1646,0	296	942	3498	3294	42,1	9,9	2,1
	Итого по I группе		53846	1580	9648,0	1566	6832	18473				
7	Луганская	АШ-Т	6671	181	1454,0	603	561	2422	4202	35,7	8,94	1,07
8	Славянская	АШ-Т	3173	134	662,8	221	319	954	4863	26,47	11,0	1,31
9	Старобышевская	АШ-Т	8593	130	2344,2	627	249	3315	4950	28,0	9,3	1,31
10	Приднепровская	АШ-Т	9022	900	2411,7	190	768	3501	4822	27,2	10,7	1,65
11	Криворожская	АШ-Т	14585	214	4116,1	399	690	5861	4916	31,1	7,1	2,07
12	Трипольская	АШ-Т	7903	159	1483,2	530	703	2293	4528	29,6	11,9	1,43
13	Змиевская	АШ-Т	12326	334	2959,0	175	1180	4357	4754	29,07	8,9	1,32
	Итого по II группе		62273	2052	15431,0	2745	4470	22703				
	Всего по обем группам		116119	3632	25079,0	4311	11302	41176				

Проектное топливо (уголь)				Доля золы, унос. газами	Потери теплоты от мех. недожог.	Доля очистки эл. фильтр %	Выбросы золы в атмосферу, тыс. т		
$V_n$ тыс. т.т	$Q_{н}^{рп}$ ккал/кг	$A^{рп}$ %	$W^{рп}$ %				Данные Минэнерго за 1993 г.	От сжиг. факт. угля	От сжиг. проект. угля
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1372	5690	20	5,5	0,8	1,5	98,4	11,02	10,84	3,76
2087	5000	26	11,0	0,8	1,5	98,7	10,10	7,70	5,88
2505	5000	25	11,0	0,8	1,5	98,6	17,16	15,98	7,35
1479	4730	34	11,0	0,8	1,5	98,7	11,02	8,20	5,40
4448	4100	41	8,0	0,8	3,0	97,3	52,20	46,02	41,28
1976	5830	19	7,4	0,8	3,0	95,0	58,80	61,12	17,23
13870							160,30	149,86	80,90
1755	5800	20	7,5	0,85	4,0	95,0	40,10	39,36	17,53
772	6010	18	7,0	0,95	4,0	98,6	6,74	3,69	2,18
2829	5800	20	7,4	0,85	4,0	96,0	69,33	34,92	22,60
2809	6010	18	7,0	0,95	4,0	96,2	35,60	37,66	21,54
4399	6550	16	5,0	0,85	4,0	95,0	81,30	84,85	37,30
1793	5790	20	7,5	0,95	4,0	95,4	28,30	32,11	18,51
3148	6580	16	5,0	0,85	4,0	93,0	98,70	82,79	37,40
17505							360,07	315,38	157,06
31375							520,37	465,24	237,96

тными характеристиками (колонка 14) — 31,375 млн.тп (тонн проектного топлива). В этом случае для подсветки факела горения угля необходимо тра- тить только 3% газомазутного топлива в перерасче- те на условное топливо. При этом расходы на тран- спортировку угля (9,801 млн.тп) также сократятся, примерно, на 25%.

Количество топлива с проектными показателями в ус- ловных единицах (т.е. для топлива с низшей теплотой сго- рания  $Q_{Pн}$ ) остается неизменной величиной, а именно — 25,079 млн.тп (табл. 2, колонка 6). Для его сжигания пона- добится газомазутного топлива для подсветки горения 752 тыс. тп, в том числе природного газа (60% от газомазутно- го топлива) — 451 тыс. тп и мазута 40% — 301 тыс. тп.

Стоимость использования обогащенного угля (I группа — 9,648 млн.тп, II группа — 15,431 млн. тп) с учетом увеличения цены за счет обогащения, пример- но, для марок угля Г-Д в 1,5 раза и для АШ-Т в 1,6 раза:  $(9,648 \cdot 10^6 \cdot 190 \text{ грн.}) \cdot 1,5 + (15,431 \cdot 10^6 \cdot 190 \text{ грн.}) \cdot 1,6 + 0,451 \cdot 10^6 \cdot 245 \text{ грн.} + 0,301 \cdot 10^6 \cdot 420 \text{ грн.} = 7677,62 \cdot 10^6 \text{ грн.}$  (7,67762 млрд.грн.).

Если сравнить эту цифру со стоимостью необога- щенного угля, то получим превышение затрат при ис- пользовании обогащенного, примерно, на 305,6 млн. грн., но без учета экономии, примерно, на 25% расхо- дов на транспортировку угля.

Вывод можно сформулировать следующим обра- зом — приближенная оценка стоимости необогащен- ного и обогащенного твердого топлива 13-ти крупных ТЭС Украины для выработки эквивалентного количе- ства тепловой и электрической энергии сравнима между собой. Но при этом следует отметить целый ряд преимуществ использования обогащенного топ- лива, и, в первую очередь, значительное снижение вредных выбросов в атмосферу.

2. Проведем сравнительный анализ количества выбросов золы и окислов серы для фактического энергетического угля, который поступил на вышеу- казанные ТЭС и обогащенного до проектных показа- телей качества угля. Для этого будем пользоваться "Методикой определения валовых и удельных выб- росов вредных веществ в атмосферу от котлов элект- ростанций" (РД 34.02.305-90).

а) Суммарное количество твердых частиц (летучей золы и несгоревшего топлива), —  $M_{тв}$  в т/год или г/с, выбрасываемые в атмосферу с дымовыми газами каж- дого котла, вычисляются по формуле

$$M_{тв} = 0,01 \cdot B \cdot (a_{ун} \cdot A^P + q_4 \cdot (Q_{п}^P / 7805)) \cdot (1 - \eta_3) \quad (3)$$

где  $B$  — расход натурального топлива за рассмат- риваемый период, т/год, г/с;

$A^P$  — зольность топлива на рабочую массу, %;

$a_{ун}$  — доля золы, уносимой газами из котла;

**Таблица 3. Значения долей золы ( $a_{ун}$ ), уносимой из котла.**

Марка угля	Твердое шлакоудаление	Жидкое шлакоудаление
АШ-Т	0,95	0,85
Г-Д	0,95	0,80

$\eta_3$  — доля твердых частиц, улавливаемых в золоуло- вителях (процент очищения в электрофильтрах равен 92-98,8%);

$Q_{Pн}$  — низшая теплота сгорания топлива на рабочую массу, ккал/кг;

$q_4$  — потери теплоты от механической неполноты сгорания топлива, %, (для марок угля: АШ, ПА —  $q_4= 4$ ; Т —  $q_4= 1,5$ ; ПП —  $q_4= 3$ );

7805 — теплота сгорания углерода, ккал/кг.

Коэффициент  $a_{ун}$  определяется по таблице 3.

Если в формулу (3) подставить соответствующие значения  $B$ ,  $Q_{Pн}$  и  $A^P$  для фактического (табл. 2, ко- лонки 9, 10, 11) и для проектного угля (табл. 2, колон- ки 14, 15, 16) и произвести расчет, получим количе- ство выбросов золы от сжигания необогащенного и обогащенного угля при сохранении объемов вырабо- танных тепло- и электроэнергии. Результаты расчета помещены в табл. 2, колонки 22, 23. Анализ результа- тов показывает, что при сжигании обогащенного до проектных показателей угля выброс твердых вред- ных веществ уменьшается на 50%. Следует заметить, что основное влияние на величину выбросов привно- сят такие параметры как зольность угля (чем она вы- ше, тем больше выбросов) и коэффициент  $\eta_3$  (раз- брос от 92,8% до 98,7%), который определяется сте- пенью очистки дымовых газов электрофильтрами. Для выяснения вопроса влияния этого коэффициен- та воспользуемся формулой (3). Пусть на станцию поступило 2 млн.т угля в год при  $A^P=20\%$ ,  $Q_{Pн} = 5000$  ккал/кг, примем  $a_{ун}$ ;  $q_4$ , а  $\eta_3= 0,93 - 0,99$  (степень очистки электрофильтрами, соответственно, 93- 99%). Результаты расчета дают, соответственно, 26 тыс.т; 22,3; 18,6; 14,8; 11,1; 7,4; 3,7. Если при  $\eta_3 = 0,93$  (93% очистки) — выбросы составят 26 тыс.т от 2000 тыс.т/год угля и, если это принять за 100%, то повышение на 1% очистки (т.е.  $\eta_3=0,94$ ) ведет к пони- жению выбросов на 14% от предыдущего уровня, а именно 22,3 тыс.т. При  $\eta_3=0,98$  из массы 2000 тыс.т выбросов будет только 3,7 тыс.т (т.е. 0,185% от сож- женного угля), тогда как на практике этот процент ко- леблется от 0,5% до 2%.

3. И, наконец, произведем анализ влияния обогаще- ния энергетического угля на величину выбросов в ат- мосферу серы. Согласно РД 34.02.305-90  $M_{SO_2}$  — коли- чество окислов серы  $SO_2$  и  $SO_3$  в пересчете на  $SO_2$  в т/год, выбрасываемых в атмосферу, вычисляем по формуле:

$$M_{SO_2} = 0,02 \cdot B \cdot S^P \cdot (1 - \eta_{SO_2}^I) \cdot (1 - \eta_{SO_2}^{II}) \quad (4)$$

где  $S^P$  — содержание серы в топливе на рабочую массу, %;

$\eta_{SO_2}^I$  — доля окислов серы, улавливаемых летучей золой

в котле (для угля  $\eta_{SO_2}^I=0,1$ );

$\eta_{SO_2}^{II}$  — доля окислов серы, улавливаем- ых в мокрых золоуловителях попутно с улавливанием твердых частиц.

Обычно коэффициент  $\eta_{SO_2}^{II}$  прини-

мают равным 0,1 для марок угля АШ-Т и Г-Д, а доля оксидов серы  $\eta_{SO_2}^n$ , улавливаемых в сухих золоуловителях (электрофилтрах, батарейных циклонах) принимается равной нулю.

Обозначим через  $M_{SO_2}^{\phi}$  — выбросы от сжигания

фактического угля и через  $M_{SO_2}^{\phi}$  — обогащенного, а также содержание серы  $S^{p\phi}$  в фактическом топливе на рабочую массу, %, и  $S^{po}$  — в обогащенном. Будем считать, что сжигается одинаковое количество угля (В) в обоих случаях. Тогда подставляя соответствующие значения для фактического и обогащенного топлива в

формулу (3) (коэффициенты  $\eta_{SO_2}^n = 0,1$ ,  $\eta_{SO_2}^n = 0$ ) и почленно разделив уравнения друг на друга, получим

$$M_{SO_2}^{\phi} / M_{SO_2}^o = S^{p\phi} / S^{po} \quad (5)$$

Таким образом, величины выбросов окислов серы в указанных топливах определяются отношением содержания в них серы. В табл. 4 приведены следующие показатели переработки на обогатительных фабриках углей:  $A^{сн}$  — зольность исходного угля на сухую массу, %,  $A^{p\phi}$  — зольность обогащенного угля на рабочую массу,  $Q_{нp\phi}$  %, и  $Q_{нpo}$  — низшая теплота сгорания на рабочую массу фактического и обогащенного топлива, ккал/кг,  $S^{p\phi}$  и  $S^{po}$  — содержание серы, %, а также  $S^{p\phi}$  и  $S^{po}$  — приведенное содержание серы, %.

Воспользовавшись данными таблицы 4, видим, что отношение  $S^{po} / S^{p\phi}$ , будут, для указанных по порядку обогатительных фабрик, следующими: 0,873; 0,839; 0,803; 0,884; 0,627; 0,989; 1,22; 0,944; 0,747; 0,974. Это свидетельствует об уменьшении выбросов в процентном отношении — на 12,7%; 16,1%; 19,7%; 11,6%;

37,3%; 1,1%; 22,0%; 5,6%; 25,3%; 2,6%, в среднем — на 15%.

Однако, если проанализировать показатели приведенной сернистости ( $S^p$ ) в % на 1000 ккал/кг по каждой обогатительной фабрике (табл. 4), то приходим к выводу об уменьшении этих показателей в 1,5-2 раза для обогащенных углей.

Здесь отмечены уменьшение выбросов окислов серы только от повышения качества угля на ТЭС. Однако существуют и другие методы уменьшения выбросов окислов серы, которые в данной работе не рассматриваются, как и вопросы уменьшения выбросов оксидов азота.

Основной результат можно сформулировать следующим образом:

- для нужд энергетики Украины необходимо обогащать угли до уровня проектных характеристик топлива, что приведет к значительному уменьшению выбросов вредных веществ в атмосферу — золы на 50% и окислов серы на 15%;

- анализ показал, что стоимости обогащенного и необогащенного углей для энергетики сравнимы между собой, а экономия за счет стоимости перевозки (9,801 млн.тнт) подтверждает вывод об эффективности обогащения;

- обогащение угля позволит проводить политику изменения топливного баланса в сторону увеличения доли угля (запасы которого на Украине имеются в достаточном количестве), при этом автоматически снижается доля ценного газомазутного топлива (на примере рассмотренных в работе 13-ти ТЭС экономия газомазутного топлива составит 7,524 млн.тут) для выработки необходимого количества тепловой и электрической энергии.

Таблица 4. Показатели переработки углей на обогатительных фабриках

№ п/п	Обогатительная фабрика	Марка угля	$A^{сн}$	$A^{p\phi}$	$Q_{нp\phi}$	$Q_{нpo}$	$S^{p\phi}$	$S^{po}$	$S^{p\phi}$	$S^{po}$
			%	%	ккал/кг	ккал/кг	%	%	%	%
1	Чумаковская	Т	39,8	10,8	4615	6595	2,05	1,79	0,444	0,271
2	Кондратьевская	Т	33,5	14,5	5130	6260	2,48	2,08	0,487	0,332
3	Маяк	Т	43,2	27,6	4280	5991	2,54	2,04	0,593	0,341
4	Комендантская	А	35,9	17,8	4750	5993	1,90	1,68	0,400	0,280
5	Партизанская	А	38,0	19,3	4959	6365	1,93	1,21	0,384	0,190
6	Яновская	АШ	31,2	21,4	4877	5627	1,83	1,81	0,375	0,322
7	Красноармейская	ДГ	48,6	12,2	3400	5820	1,87	2,28	0,550	0,392
8	Павлоградская	ДГ	43,3	13,9	3797	5389	1,08	1,02	0,284	0,189
9	Михайловская	Г	31,8	14,0	4764	5807	3,04	2,27	0,638	0,391
10	Червоноградская	Г	50,4	28,7	3602	5042	2,65	2,58	0,735	0,512

1. Manfred K., Kenneth L. Electric Power Research Institute, Cool Technology. Vol. 1. 1979.

2. Хардгроу Д., Майерс Р.А., Котлер В.Р. Получение экологически чистого топлива из низкосортного угля по методу Гравимелт//Электрические станции. - 1994. - № 6.

3. ГОСТ-8184. Угли каменные и антрацит Донецкого бассейна для пылевидного сжигания.

4. Пояснительная записка к годовому отчету по основной деятельности Минэнерго Украины за 1993 год. - Киев, 1994. - 316 с.

5. Равич М.Б. Эффективность использования топлива. - М.: Наука, 1977. - 342 с.