

УДК 662.74

А.А.ЛОБОВ, канд. техн. наук, Е.А.ДАНИЛИН, А.В.СВИРИН

НТП «Котлоэнергопром», г. Харьков

В.Е.БЕКЕТОВ, канд. техн. наук, Г.П.ЕВТУХОВА

Харьковская национальная академия городского хозяйства

С.А.ЛОБОВ, канд. техн. наук

Национальный аэрокосмический университет «ХАИ», г. Харьков

ОПЫТ ВНЕДРЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО ЭНЕРГОКОМПЛЕКСА НА БАЗЕ КОКСОВЫХ БАТАРЕЙ

Рассмотрены экологические и энергетические проблемы коксохимических предприятий. Предложено техническое решение по созданию технолого-энергетического комплекса, включающего коксовую батарею и установку теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи.

Розглянуто екологічні й енергетичні проблеми коксохімічних підприємств. Запропоновано технічне рішення щодо створення технолого-енергетичного комплексу, що включає коксову батарею та установку теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів коксової батареї.

Ecological and energy problems of by-product coke plants are considered. The technical decision on creation of the tehnologo-power complex including coke-oven battery and Unit of thermal neutralisation and recycling of smoke gases heat from coke-oven battery is offered.

Ключевые слова: коксовая батарея, выбросы загрязняющих веществ, установка обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи и сверхмерного циркулирующего газа установки сухого тушения кокса (УСТК).

Многокамерные коксовые батареи с разветвленной ячеистой структурой отопительной системой и периодическим технологическим циклом являются основным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на коксохимических предприятиях. Слоевой процесс коксования в камерных печах имеет ряд технологических и теплотехнических особенностей, обуславливающих значительные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, причем более 80% – это выбросы с продуктами сгорания отопительного газа.

К технологическим факторам следует отнести загрузку влажной (или сухой) холодной мелкодисперсной угольной шихты в нагретую до температур порядка 1000 °С щелевидную камеру коксования, выгрузку кокса с температурой около 1100 °С, тушение кокса и т.д. К теплотехническим – нагрев угольной шихты через огнеупорную греющую стенку толщиной порядка 100 мм, высокую температуру в отопительных вертикалах на уровне 1250-1350 °С, различные условия сжигания отопительного газа в вертикалах по длине обогревательного простенка, смена газовых потоков в отопительной системе через 20-30 мин. и т.д.

Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу при коксовании зави-

сят от многих факторов (режим работы коксовых печей, срок службы, конструкция, герметичность отопительной системы, уровень и условия эксплуатации, способ тушения кокса и т.д.), и на старых коксовых батареях содержание пыли, оксидов азота и углерода может достигать соответственно 1400, 1900 и 3500 г/т кокса [1-4].

Традиционные методы снижения выбросов (ступенчатый подвод газа и воздуха в отопительные вертикалы, рециркуляция продуктов сгорания, оптимизация коэффициента избытка воздуха и паузы в кантовке, совершенствование отопительной системы и т.д.) не позволяют обеспечить соблюдение отечественных и международных экологических норм, особенно в условиях старения печного фонда и увеличения прососов сырого и обратного коксового газа [1, 5, 6].

Одно из трудновыполнимых условий является соблюдение нормативов по выбросам NO_x , особенно в условиях ужесточения законодательства по ограничению выбросов и значительного (более 25 лет при нормативном 20 лет) срока службы печного фонда [5, 7].

Современное коксохимическое предприятие представляет собой сложное энергоемкое производство. Так, на получение 1 т кокса в Украине, в России и в странах ЕС расходуется 3,5; 3,4 и 3,3 ГДж тепла соответственно [5]. Как видно из приведенных данных, в Украине на единицу продукции расходуется на 0,2 ГДж тепла больше, чем в развитых странах ЕС. Поэтому вопросы энергосбережения сегодня, в условиях энергетического «голода», являются особенно актуальными.

Коксохимическое предприятие обладает значительным энергетическим потенциалом. Из каждой тонны угольной шихты при коксовании образуется 330-350 м^3 коксового газа калорийностью $\sim 16760 \text{ кДж/м}^3$. Причем на обогрев собственно коксовой батареи расходуется до 50% газа, а остальная часть расходуется на технологические и энергетические агрегаты. Нередко избыток газа выбрасывается в атмосферу через газосбросные устройства. Также на коксовой батарее имеется значительное количество вторичных энергоресурсов (тепло раскаленного кокса, тепло дымовых газов коксовых батарей и др.).

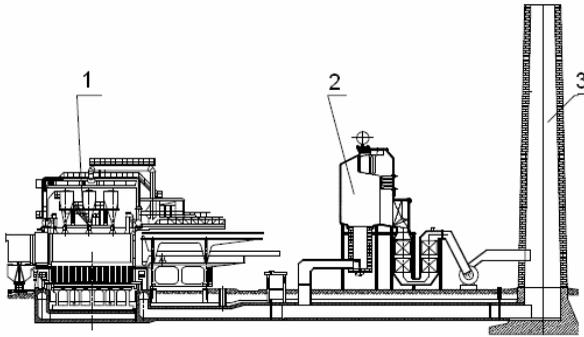
В настоящее время потребность коксохимических предприятий в паре обеспечивается за счет сжигания коксового газа в паровых котлах котельных и ТЭЦ. Потребность в электроэнергии обеспечивается за счет внешних источников, а также от электростанций, установленных на коксохимических производствах или металлургических заводах. При этом коэффициент использования коксового газа с учетом его сернистости находится на уровне 90%.

Решению проблем энергоэффективности и снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу уделяется значительное внимание,

разрабатывается и внедряется множество прогрессивных технологий [8, 9].

Приоритетным направлением представляется разработка и внедрение технологий с одновременным повышением энергоэффективности и экологических показателей. В 1999-2000 гг. НТП «Котлоэнергопром» был разработан энергетический комплекс на стыке двух технологий – технологии производства кокса из угольной шихты и технологии производства тепловой и электрической энергии.

Первая в мире установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи №1 мощностью 900 тыс. т/год кокса построена по проекту НТП «Котлоэнергопром» на ОАО «Запорожжкокс» и введена в эксплуатацию в 2002 г. (рисунок). Важно отметить, что установка была построена за коксовой батареей со сроком службы более 20 лет [10].



Технологическо-энергетический комплекс:
1 – коксовая батарея; 2 – установка; 3 – дымовая труба.

Установка включает в себя систему газоходов, специальный котел-утилизатор РК-85-40/440 конструкции НТП «Котлоэнергопром» с реактором, тягодутьевыми устройствами и предназначена для теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи.

Реактор предназначен для теплового обезвреживания дымовых газов коксовой батареи и котла-утилизатора.

В процессе освоения установки были проведены исследования комплекса «Коксовая батарея – установка» при работе коксовой батареи с различными коэффициентами избытка воздуха. Целью данных исследований явились [11]:

- определение эффективности работы установки при специальном режиме работы коксовой батареи с минимально и максимально возможными коэффициентами избытка воздуха;

- определение влияния расхода и способа подачи коксового газа в реактор на снижение концентрации CO и NO_x в дымовых газах за установкой;

- определение концентрации углеродсодержащих частиц и пыли в дымовых газах до и после установки;

- определение точки росы дымовых газов.

Для определения содержания загрязняющих веществ в дымовых газах использовались газоанализаторы, которые в режиме реального времени способны быстро и точно определять концентрацию в дымовых газах O₂, CO, NO, NO₂.

При испытаниях использовались приборы, зарегистрированные в Госреестре средств измерений, имеющие свидетельство о метрологической аттестации Госкомитета по стандартизации, метрологии и сертификации и имеющие свидетельство о поверке. Учитывая требования ГОСТ 17.2.4.06, 17.2.4.07, КНД 211.2.3.063-98 и методические рекомендации УХИНа по проведению инвентаризации выбросов загрязняющих веществ в атмосферу на коксохимических заводах, отбор проб дымовых газов от коксовых батарей проводился в боровых по сторонам батареи и в газоходах до и после установки. Длина измерительного зонда выбиралась такой, чтобы крайние точки отбора проб находились на расстоянии не менее 1,2 м от внутреннего края футеровки. При анализе дымовых газов для получения точечной пробы периодичность отбора приравнивалась ко времени быстрогодействия самой инертной электрохимической ячейки газоанализатора. Количество точечных проб за 20-минутный интервал рассчитывали по формуле

$$n = 20 / \tau ,$$

где τ – максимальное время стабилизации показаний ячеек газоанализатора.

Учитывая специфику конструкции системы обогрева коксовой батареи, заключающейся в смене газовых потоков в отопительных вертикалах («кантовки»), отбор проб продуктов горения проводился в течение не менее одной кантовки при сжигании газов в разноименных вертикалах, т.е. две кантовки подряд. За результат измерений принималось среднее арифметическое значение серии результатов проб, охватывающих две кантовки.

Рациональным режимом работы коксовой батареи является такой, которому соответствует оптимальный коэффициент избытка воздуха. По теплотехническим показателям оптимальным является значение α , при котором обеспечиваются минимальные потери тепла с дымовыми газами при достаточной равномерности и необходимом уровне прогрева

кокового пирога. По экологическим показателям оптимальным является значение α , при котором обеспечиваются концентрации загрязняющих веществ в дымовых газах, не превышающие нормативные величины. В случае невозможности одновременного достижения нормативных значений содержания оксида углерода (CO) и оксидов азота (NO_x) в дымовых газах оптимальный режим выбирается по минимально-допустимому значению массовой концентрации NO_x. Результаты исследований приведены в табл.1, 2.

Таблица 1 – Результаты исследования комплекса «Коксовая батарея – установка»

№ п/п	Наименование		Размерность	Обозначение	Значение			
Коксовая батарея								
1	Расход коксового газа на обогрев		нм ³ /ч	V _{гкб}	17500 - 18000			
2	Температура в контрольных вертикалах	машинная сторона	°C	t _{в.мс}	1235			
		коковская сторона		t _{в.кс}	1265			
3	Температура в боровых	машинная сторона	°C	t _{б.мс}	310 - 320			
		коковская сторона		t _{б.кс}	320 - 330			
4	Коэффициент избытка воздуха в дымовых газах от коковской батареи перед установкой		-	α	минимум	средний	максимум	
5	Паропроизводительность установки по пару		т/ч	D _y	84-86			
6	Расход коксового газа на котел		нм ³ /ч	V _{гкот}	14000 - 16000			
7	Температура дымовых газов за установкой		°C	t _г	180-185			
8	Коэффициент избытка воздуха за установкой		-	α_{yx}	1,35	1,5	1,7	
9	Расход дымовых газов от коковской батареи на установку		тыс. нм ³ /ч	V _г	140 - 143			
10	Выбросы загрязняющих веществ при O ₂ =5%	оксид углерода	до установки	мг/нм ³	CO	8740	3200	2380
			после установки			0-60		
	оксиды азота	до установки	мг/нм ³	NO _x	290	460	580	
		после установки			220	320	470	

Приведенные в табл.1 данные свидетельствует о том, что наибольшая эффективность работы комплекса «Коксовая батарея – установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов» достигается при работе коковской батареи на специальном режиме с минимально

возможным коэффициентом избытка воздуха. При этом суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от энергокомплекса, включающие батарею и котел-утилизатор, ниже, чем от одной коксовой батареи без установки.

Таблица 2 – Результаты определения запыленности газовых потоков

№ опыта	Наименование	Размерность	Значение	
			до установки	после установки
1	Концентрация пыли и углеродсодержащих частиц	мг/м ³	52,0	16,8
2			60,5	28,4
3			89,6	30,1
4			47,5	9,7

Данные по запыленности газовых потоков, приведенные в табл.2, получены аналитическим методом. Дополнительно проводились опыты с определением концентрации твердых частиц сажевым насосом с отсосом газа через фильтровальную бумагу. Была выполнена привязка числа Бахараха к значению концентрации твердых частиц, измеренных аналитическим методом. Использование сажевого насоса позволяет оперативно и с достаточной степенью точности определять запыленность потока. Методика была усовершенствована – увеличена длина зонда, внесена поправка на объем прокачиваемой пробы и проведена тарировка по данным аналитического метода.

Данные табл.2, 3 свидетельствуют о том, что установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов снижает концентрацию пыли и углеродсодержащих частиц в 2,5-5 раз.

Таблица 3 – Результаты исследований концентрации твердых частиц в дымовых газах

№ п/п	До установки		После установки	
	число Бахараха	концентрация твердых частиц, г/м ³	число Бахараха	концентрация твердых частиц, г/м ³
1	5 - 6	0,05	2 - 3	0,02
2	6	0,05	1 - 2	0,01
3	8	0,09	2 - 3	0,015 – 0,02
4	более 9	более 0,1	2 - 3	0,025 – 0,03

В процессе освоения работы комплекса установлено, что работа установки только в утилизационном режиме, т.е. без сжигания дополнительного топлива в реакторе, приводит к интенсивному зарастанию низкотемпературных поверхностей нагрева котла-утилизатора отложениями углеродистых веществ, что снижает эффект использования тепла дымовых газов и приводит к резкому увеличению гидравлического сопротивления газового тракта котла.

Для определения точки росы дымовых газов использовался прибор, разработанный НТП «Котлоэнергопром». Действие прибора основано на появлении гальвано э.д.с. и падении сопротивления измерительного элемента в момент выпадения росы на его поверхности. В результате выполненных исследований установлено, что точка росы дымовых газов за установкой составляет ~ 160 °С.

Приведенные в табл.1-3 данные свидетельствуют о том, что конструкция и режим работы первой в мире установки теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов от коксовой батареи обеспечивают значительное снижение содержания в газах CO, NO_x и твердых углеродистых частиц.

Внедрение установки обеспечило:

- снижение содержания NO_x в дымовых газах от коксовой батареи на 20-40% и CO на 98-100% с обеспечением международных норм по выбросам загрязняющих веществ;
- снижение концентрации твердых частиц в дымовых газах от коксовой батареи в 2,5-6 раз;
- утилизацию тепла уходящих дымовых газов коксовой батареи в количестве до 25 ГДж/ч;
- выработку до 85 т/ч пара с энергетическими параметрами при дополнительном сжигании коксового газа (без строительства новой дымовой трубы), что обеспечивает нужды завода в паре технологических параметров и позволяет дополнительно выработать 6 МВт электроэнергии при использовании паровой турбины с противодавлением или 18 МВт при использовании конденсационной турбины.

Специальная система управления гидравлическим режимом работы комплекса «Коксовая батарея – установка» обеспечивает:

- прямое безударное включение коксовой батареи на дымовую трубу в случае отключения установки, которая работает при открытом клапане на газоходе от коксовой батареи к дымовой трубе;
- улучшение гидравлического режима работы коксовой батареи за счет стабилизации разрежения в газоходе перед дымовой трубой.

По сравнению с котлами обычных котельных и ТЭЦ тепловой коэффициент использования коксового газа в установке значительно выше за счет использования для горения кислорода, содержащегося в дымовых газах коксовой батареи, и составляет ~ 97%. При этом режим сжигания коксового газа в реакторе обеспечивает сравнительно низкий уровень NO_x (в 2-2,5 раза ниже, чем при сжигании коксового газа в обычных котлах).

По установке теплового обезвреживания и утилизации тепла дымо-

вых газов коксовой батареи получены 11 патентов Украины, 7 патентов Российской Федерации и 3 международных заявки, основные из которых приведены в [12, 13].

Опыт освоения и эксплуатации установки позволяет заключить, что ее конструкция и режим работы органично сочетаются с некаталитическими высокотемпературными технологиями очистки газов от оксидов азота и серы с использованием различных реагентов. Например, для более полной очистки дымовых газов от NO_x возможно использование в реакторе высокотемпературной аммиачной технологии [14-15]. Это является особо актуальным, учитывая возрастающие требования развитых стран по защите окружающей среды. Так, в Швеции с 1992 г. вступил в силу Закон (1990-613) «По взиманию платы за выбросы оксидов азота при производстве энергии». Согласно этому Закону установлена плата в размере 4,8 евро за каждый килограмм оксидов азота, выброшенных в атмосферу от теплоагрегатов с производством энергии не более 25 ГВт за календарный год [7]. Для сравнения в Украине плата за выбросы NO_x ранее составляла 80 грн. за тонну; с 01.01.2011 г. увеличена до 1221 грн. за 1 т.

С учетом положительного опыта эксплуатации первой установки в 2006 г. введена в эксплуатацию аналогичная установка за коксовой батареей №2 ОАО «Запорожжкокс». В 2007 и в 2010 гг. в составе двух установок введены в эксплуатацию два энергоблока с противодавленческой и конденсационной турбинами общей электрической мощностью 12 МВт.

В 2011 г. реализован разработанный НТП «Котлоэнергопром» проект когенерационной установки электрической мощностью 12,5 МВт с использованием избыточного коксового газа в установке теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи №3 филиала «Горловский КХЗ» ООО «ИСТЭК». Когенерационная установка электрической мощностью 12,5 МВт с тепловым обезвреживанием и утилизацией тепла дымовых газов коксовой батареи введена в эксплуатацию и успешно работает с мая 2011 г.

С учетом количества избыточного коксового газа, определяемого технологическим и теплотехническим режимами работы коксовой батареи, когенерационная установка вырабатывает 10-12,5 МВт электроэнергии, из них 2,5-3 МВт идет на собственные нужды предприятия, а оставшая электроэнергия передается в городские электрические сети.

Гипрококс для частичного решения энергетических проблем коксохимических предприятиях разработал и внедряет установки сухого тушения кокса (УСТК), которые позволяют утилизировать до 40% тепла, затраченного на коксование [16]. В настоящее время отмечается по-

вышенный интерес к внедрению УСТК не только для решения энергетических и технологических проблем, но и в значительной мере для исключения выбросов в атмосферу загрязняющих веществ, связанных с мокрым тушением кокса. При мокром тушении на 1 т потушенного кокса в атмосферу выбрасывается оксида углерода до 2800 г; сероводорода до 195 г и коксовой пыли до 35 г. Кроме того, в атмосферу поступают фенолы, цианиды и аммиак; количество их зависит от качества воды, подаваемой на тушение [17].

Однако при эксплуатации УСТК главной и нерешенной до настоящего времени проблемой остаётся выброс избыточного циркулирующего газа в количестве до 10 тыс. $\text{нм}^3/\text{ч}$ с содержанием оксида углерода 6-12% и коксовой пыли до 1 $\text{г}/\text{нм}^3$. Иными словами, в атмосферу выбрасываются загрязняющие вещества в виде СО ~ 8000 т и коксовой пыли ~ 8 т в год, теряется потенциальное тепло в количестве ~ 62850 ГДж/год от одного блока мощностью по потушенному коксу 70 т/ч.

Строительство установок теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей позволяет практически без дополнительных затрат полностью исключить организованные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от УСТК. Это достигается направлением избыточного циркулирующего газа УСТК в реактор установки, где происходит дожигание горючих компонентов, в результате чего не только исключаются выбросы загрязняющих веществ в атмосферу, но и дополнительно утилизируется 4,2-10,2 ГДж/ч тепла. Таким образом, при строительстве УСТК целесообразно предусматривать одновременно и внедрение установок за коксовыми батареями, что позволит полностью исключить выбросы СО и коксовой пыли в атмосферу с избыточными циркулирующими газами УСТК.

НТП «Котлоэнергопром» совместно с Гипрококсом выполнило рабочий проект сброса и обезвреживания избыточного циркулирующего газа от проектируемых двух блоков УСТК с подачей газов в реактор установки №1 ОАО «Запорожжокс».

Строительство таких установок за коксовыми батареями с учетом баланса коксового газа позволит не только значительно уменьшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу от коксовых батарей и УСТК, но и получить дополнительное количество тепловой и электрической энергии.

Положительный опыт внедрения установок теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей ОАО «Запорожжокс» и «Горловского КХЗ» позволяет наметить новую стратегию решения энергетических и экологических проблем коксохимических предприятий: создание технолого-энергетических комплексов на базе

коковых батарей.

Учитывая тот факт, что установка по обезвреживанию и утилизации тепла дымовых газов позволяет получать от 16 до 34 ГДж/ч в результате утилизации бросового физического и химического тепла дымовых газов одной коксовой батареи производительностью 400000-1000000 т кокса в год, строительство технолого-энергетических комплексов на базе коксовых батарей вносит также значительный вклад в решение проблемы снижения выбросов парниковых газов в атмосферу [18].

Внедрение установок за коксовыми батареями целесообразно при:

- новом строительстве;
- неудовлетворительном состоянии оборудования существующих котельных и ТЭЦ;
- значительных выбросах загрязняющих веществ в атмосферу с дымовыми газами, приводящих к выводу из эксплуатации коксовых батарей вследствие превышения нормативных выбросов;
- строительстве УСТК.

Выводы

1. Существующая схема коксохимического производства с отдельными процессами производства кокса и выработки тепловой и электрической энергии имеет ряд недостатков, в том числе:

- низкие экологические показатели коксовых батарей, котлов котельных и ТЭЦ;
- высокие потери тепла с уходящими газами коксовых батарей, котлов котельных и ТЭЦ.

2. Создание технолого-энергетического комплекса на базе коксовой батареи и установки теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов повышает экологические и теплотехнические показатели коксовых батарей и котельных агрегатов, исключает необходимость строительства дымовых труб котельных и ТЭЦ.

3. Положительный опыт работы установок за коксовыми батареями №1, 2 на ОАО «Запорожжкокс» и коксовой батареи №3 филиала «Горловского КХЗ» ООО «ИСТЭК» подтверждает их значительную энергоэффективность и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

4. По опытным данным прямая утилизация тепла дымовых газов от коксовых батарей без предварительного дожигания смолистых и твердых углеродсодержащих частиц *невозможна* вследствие интенсивного забивания поверхностей нагрева отложениями.

5. Суммарные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с дымовыми газами энергокомплекса, включающие выбросы от коксовой

батареи и котла-утилизатора, ниже, чем с дымовыми газами одной коксовой батареи до подачи их на установку.

1. Грес Л.П. Охрана окружающей среды. – Днепропетровск: РНА Днепр - ХАН, 2002. – 104 с.

2. Михайлов Г.Н., Афанасьев Ю.О., Плотников В.А. и др. Выбросы токсичных и коррозионно-активных компонентов при сжигании коксового газа // Кокс и химия. – 1996. – №8. – С.32-34.

3. Пырников А.Н., Васнин С.В., Баранбаев Б.М. и др. Защита окружающей среды на коксохимических предприятиях. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 176 с.

4. Ухмылова Г.С. Эффективность охраны окружающей среды в коксохимическом производстве // Новости черной металлургии за рубежом. – 2001. – №1. – С.6-25.

5. Войтенко Б.И., Рубчевский В.Н., Рудыка В.И. и др. ОАО «Запорожжокс»: новый этап модернизации производства // Кокс и химия. – 2009. – №4. – С.5-11.

6. Торяник Э.И., Борисенко А.А., Малыш А.С. и др. К вопросу определения эколого-теплотехнической ценности коксовых батарей // Кокс и химия. – 2009. – №12. – С.32-40.

7. Дамгард Л., Видрот Б., Швеция, и Шретер М., Дания. Снижение выбросов NO_x с помощью селективного каталитического восстановления // Нефтегазовые технологии. – 2005. – №4. – С.53-56.

8. Ухмылова Г.С. Новейшие достижения в технологии производства кокса // Новости черной металлургии за рубежом. – 2003. – №3. – С.13-18.

9. Антонов А.В. Сравнение технологий коксования с улавливанием побочных продуктов и с утилизацией отходящего тепла // Новости черной металлургии за рубежом. – 2011. – №3. – С.12-17.

10. Данилин Е.А., Герман М.С., Войтенко Б.И. и др. Установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей // Кокс и химия. – 2003. – №12. – С.36-39.

11. Данилин Е.А., Лобов А.А., Рубчевский В.Н. Опыт освоения Установки теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей // Кокс и химия. – 2005. – №11. – С.35-41.

12. Патент Украины №60099, МПК C10B45/00, F23G15/00 / Авторы Лобов А.А., Рубчевский В.Н., Ващилин С.В., Чернышов Ю.А., Данилин Е.А., Герман М.С., опубл. 15.09.2003 г., Бюл. №9.

13. Патент №2365818 Российская Федерация, МПК F23G7/06(200601), F23G5/46(200601) / Авторы Данилин Е.А., Лобов А.А., опубл. 20.06.2008 г., Бюл. №24.

14. Ходаков Ю.С., Алфеев А.А., Ржевников Ю.В. и др. Применение СНКВ – технологии для снижения выбросов NO_x котельными установками // Теплоэнергетика. – 2004. – №5. – С.53-59.

15. Скорик Л.Д., Иванов Ю.В., Арзуманян Э.Н. др. Промышленная проверка метода очистки дымовых газов ТЭС // Теплоэнергетика. – 1986. – №7. – С.58-59.

16. Фальков М.И. Энергосбережение и энергоэффективность в проектах Гипрококса на предприятиях черной металлургии Украины // Кокс и химия. – 2009. – №7. – С.69-72.

17. Данилин Е.А., Лобов А.А., Свирин А. В. Создание технолого-энергетических комплексов на базе коксовых батарей – перспективное направление развития современной коксохимии // Кокс и химия. – 2010. – №6. – С.40-46.

18. Лобов А.А., Чамара О.А., Борисенко А.Л. и др. Оценка выбросов парниковых газов ОАО «Запорожжокс» // Углекислотный журнал. – 2009. – №1/2. – С.100-106.

Получено 09.03.2012