

**ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ ЗАЩИТЫ
ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ И
ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ НА КОКОСОВЫХ
БАТАРЕЯХ**

© 2012 Рубчевский В.Н., к.т.н.
(ПАО «Запорожжкокс»),
Лобов А.А., к.т.н., Данилин Е.А.,
Свирин А.В.
(НТП «Котлоэнергопром»),
Борисенко А.Л., к.т.н.,
Мальш А.С., к.т.н.,
Малько Н.И. (УХИН),
Лобов С.А., к.т.н. (НАКУ «ХАИ»)

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

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

Ключевые слова: коксовая батарея; загрязняющие вещества, выбросы, обезвреживание, тепло, избыточный циркулирующий газ УСТК, утилизация.

.....
Процесс слоевого коксования каменноугольной шихты в камерных печах имеет ряд технологических и теплотехнических особенностей, обуславливающих значительные выбросы в атмосферу загрязняющих веществ, более 80 % из которых – это выбросы с продуктами сгорания отопительного газа.

К технологическим факторам следует отнести загрузку влажной (или сухой) мелкодисперсной угольной шихты в нагретую до ~ 1000 °С камеру коксования, выгрузку кокса с температурой ~ 1100 °С, тушение кокса и т.д. К теплотехническим – нагрев угольной шихты через огнеупорную греющую стенку толщиной около 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 зависят от многих факторов (режим работы коксовых печей, срок службы, конструкция, герметичность отопительной системы, уровень и условия эксплуатации, способ тушения кокса и т.д.). На старых коксовых батареях содержание пыли, оксидов азота и углерода в выбросах может достигать соответственно 140; 1100 и 1300 г/т кокса или 0,75; 5,5 и 6,5 кг/1000 м³ коксового газа [1-4].

Традиционные методы снижения количества выбросов, такие, как рециркуляция продуктов горения в вертикалах, оптимизация коэффициента избытка воздуха и паузы в кантовке, совершенствование и наладка отопительной системы и другие не обеспечивают в полном объеме соблюдение технологических нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ, особенно в условиях старения печного фонда и увеличения прососов сырого коксового газа [1, 5, 6].

Одним из трудновыполнимых условий является соблюдение ограничений по выбросам NO_x , особенно в условиях ужесточения природоохранного законодательства и при значительном (более 25 лет при нормативном 20 лет) увеличении срока службы печного фонда [5, 7].

Ступенчатый подвод газа и воздуха в отопительную систему позволяет обеспечить концентрацию NO_x не более 500 мг/м^3 , приведенную к содержанию кислорода в продуктах горения 5 %, но это возможно только при строительстве новых коксовых батарей с внесением соответствующих изменений в проектную документацию.

Современное коксохимическое предприятие представляет собой сложное энергоемкое производство. Так, на получение одной тонны кокса в Украине, России и странах ЕС расходуется соответственно 3,5; 3,4 и 3,3 ГДж тепловой энергии [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 для коксохимических предприятий в настоящее время достаточно актуальны.

Коксохимическое предприятие обладает значительным энергетическим потенциалом. Из каждой тонны угольной шихты при коксовании образуется $330\text{-}350 \text{ м}^3$ коксового газа калорийностью 4000 ккал/м^3 . Причем на

обогрев собственно коксовой батареи расходуется до 50 % газа, а остальная часть расходуется на технологические и энергетические агрегаты; нередко избыток газа сжигается и 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.

Решению проблем энергоэффективности и снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу уделяется значительное внимание, разрабатывается и внедряется большое количество 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 технологический комплекс на стыке двух технологий – технологии производства кокса из угольной шихты и технологии производства тепловой и электрической энергии.

Установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи № 1 мощностью 900 тыс. т кокса в год (см. рис.) построена по проекту НТП «Котлоэнергопром» на ПАО «Запорожжкокс» и введена в эксплуатацию в 2002 г. Важно отметить, что срок службы упомянутой коксовой батареи превышает 20 лет [10].

Установка включает в себя систему газопроводов, специальный котел-утилизатор РК-85-40/440 конструкции НТП «Котло-

энергопром» с реактором, тягодутьевыми устройствами и предназначена для теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи.

Функцию теплового обезвреживания выполняет реактор. Он расположен под камерой охлаждения котла и состоит из цилиндрических камер, которые верхними частями входят в общую камеру, соединяющую реактор с охлаждающей камерой. Дымовые газы коксовой батареи подводятся тангенциально в нижнюю часть реактора. В центре пода цилиндрических камер вертикально установлены горелки коксового газа.

В процессе освоения установки были проведены исследования при работе коксовой батареи с различными коэффициентами

избытка воздуха. Целью данных исследований явилось:

- 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 после установки;

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

- определение точки росы дымовых газов [11].

Результаты исследований приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1

№	Наименование показателя		Размерность	Обозначение	Численное значение			
Коксовая батарея								
1	Температура в контрольных вертикалах	машинная сторона	°C	$t_{в.мс}$	1235			
		коксовая сторона		$t_{в.кс}$	1265			
2	Температура в боровых	машинная сторона	°C	$t_{б.мс}$	310 - 320			
		коксовая сторона		$t_{б.кс}$	320 - 330			
3	Коэффициент избытка воздуха в дымовых газах от коксовой батареи перед установкой		-	α	минимум	средний	максимум	
Установка								
4	Паропроизводительность установки по пару		т/ч	D_y	84-86			
5	Расход коксового газа на котел		нм ³ /ч	$V_{гкот}$	14000-16000			
6	Температура дымовых газов за установкой		°C	t_v	180-185			
7	Коэффициент избытка воздуха за установкой		-	$\alpha_{ух}$	1,35	1,5	1,7	
8	Расход дымовых газов от коксовой батареи на установку		тыс нм ³ /ч	V_r	140-143			
9	Выбросы загрязняющих веществ в пересчете на содержание O ₂ =5%	оксид углерода	до установки	мг/м ³	CO*)	2380	3200	8740
			после установки			0-60		
		оксиды азота	до установки	мг/м ³	NO _x	290	460	580
			после установки			220	320	470

*) Значения концентрации CO за коксовой батареей искусственно повышались за счет изменения коэффициента избытка воздуха в системе обогрева.

Таблица 2

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

Приведенные в табл. 2 данные свидетельствуют о том, что установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов снижает концентрацию пыли в продуктах горения в 2,5-5 раз за счет сгорания углеродных частиц.

В процессе освоения 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 гальваноэлектродвижущей силы и падении сопротивления измерительного элемента в момент выпадения росы на его поверхности. В результате выполненных исследований установлено, что точка росы дымовых газов после установки составляет около 160 °С.

Приведенные в табл. 1, 2 данные свидетельствуют о том, что конструкция и режим работы установки теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи обеспечивают значительное снижение содержания в последних оксида углерода, оксидов азота и твердых углеродистых частиц.

Наибольшая эффективность работы установки огневого обезвреживания и

утилизации тепла достигается при работе коксовой батареи на специальном режиме с минимально возможным коэффициентом избытка воздуха.

Внедрение установки обеспечило:

- снижение содержания NO_x в дымовых газах от коксовой батареи на 30-40 % и CO – на величину до 98 %, что обеспечивает достижение перспективных технологических нормативов выбросов загрязняющих веществ;
- снижение концентрации твердых частиц в дымовых газах коксовой батареи в 2,5-5,0 раз;
- утилизацию тепла отходящих дымовых газов коксовой батареи в количестве до 19 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 установки в комплексе с коксовой батареей обеспечивает:

- прямое безударное включение коксовой батареи на дымовую трубу в случае отключения установки (последняя 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 участия в процессе горения кислорода, содержащегося в дымовых газах коксовой батареи, и составляет около 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).

Результаты исследований легли в основу одиннадцати патентов Украины, семи патентов Российской Федерации и трех международных заявок.

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 [12, 13]. Это является особо актуальным, учитывая возрастающие требования к защите окружающей среды.

С учетом положительного опыта эксплуатации первой установки, в 2006 г. введена в эксплуатацию аналогичная установка при коксовой батарее № 2 ПАО «Запорожжкокс». В 2007 и в 2010 гг. в составе двух установок введены в эксплуатацию два энергоблока с противодавленной и конденсационной турбинами общей электрической мощностью 12 МВт/ч.

В 2011 г. реализован разработанный НТП «Котлоэнергопром» проект когенерационной установки электрической мощностью 12,5 МВт/ч с использованием избыточного коксового газа в установке теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи № 3 филиала «Горловский КХЗ» ПАО «ИСТЭК».

При разработке проекта был использован положительный опыт проектирования,

строительства и эксплуатации аналогичных установок на ПАО «Запорожжкокс». В проекте установки учтены конструктивные особенности дымовых труб коксовой батареи и разработаны мероприятия по предупреждению прохода неочищенных дымовых газов с высокой температурой напрямую от косовой батареи в дымовую трубу.

С учетом количества избыточного коксового газа, определяемого технологическим и теплотехническим режимами работы коксовой батареи, когенерационная установка вырабатывает 10,0-12,5 МВт в час электроэнергии, из них 2,5-3,0 МВт идет на собственные нужды предприятия, а остальная электроэнергия передается в городские электрические сети.

Проектный институт Гипрококс для решения энергетических проблем коксохимических предприятий разработал и внедряет установки сухого тушения кокса (УСТК), которые позволяют утилизировать до 40 % тепла выдаваемого кокса [14]. В настоящее время отмечается повышенный интерес к внедрению УСТК не только для решения энергетических и технологических проблем, но и в значительной мере для исключения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. При мокром тушении на 1 т потушенного кокса в атмосферу выбрасывается до 120 г аммиака; до 20 г сероводорода и до 50 г коксовой пыли. Кроме того, в атмосферу поступают фенолы, цианиды (количество этих выбросов зависит от качества воды, подаваемой на тушение) [2].

Однако при эксплуатации УСТК главной и не решенной до настоящего времени проблемой остаются выбросы избыточного циркулирующего газа в количестве до 10 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ с содержанием оксида углерода 6-12 % и коксовой пыли до 1 $\text{г}/\text{м}^3$. Кроме того, теряется 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.

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

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

Учитывая тот факт, что установка по обезвреживанию и утилизации тепла дымовых газов позволяет получать от 16 до 34 ГДж/ч в результате утилизации тепла дымовых газов одной коксовой батареи, строительство технолого-энергетических комплексов на базе коксовых батарей вносит также значительный вклад в решение проблемы снижения выбросов парниковых газов в атмосферу [15, 16].

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 упомянутых установок при коксовых батареях № 1 и 2 на ПАО «Запорожжкокс» и коксовой батарее № 3 филиала «Горловский КХЗ» ПАО «ИСТЭК» подтверждает их значительную энергоэффективность и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Библиографический список

1. *Наилучшие зарубежные технологии по снижению выбросов загрязняющих веществ на коксохимических заводах (Best Available Technique Reference Document On the production of iron and Steel / December – 2001). Рекомендации для внедрения. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://eippcb.Jrc.es/reftrence/>.*

2. *Галузева інструкція «Показники емісії (титомі викиди) забруднюючих речовин в атмосферне повітря основних виробництв коксохімічних підприємств» (нова редакція). Харків, 2007. – 36 с.*

3. *Пыриков А.Н. Защита окружающей среды на коксохимических предприятиях / А.Н.Пыриков, С.В.Васнин, Б.М.Баранбаев [и др.]. – М.: Интернет Инжиниринг, 2000. – 176 с.*

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

5. **Войтенко Б.И.** ОАО «Запорожжкокс»: новый этап модернизации производства / **Б.И.Войтенко, В.Н.Рубчевский, В.И.Рудыка [и др.]** // Кокс и химия. – 2009. – № 4. – С. 5-11.
6. **Торяник Э.И.** К вопросу определения эколого-теплотехнической ценности коксовых батарей / **Э.И.Торяник, А.Л.Борисенко, А.С.Мальши [и др.]** // Кокс и химия – 2009. – № 12. – С. 32-40.
7. Приказ Минприроды Украины № 507 от 15.09.2009г. «Про затвердження технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин від коксових печей». [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mep.gov.ua.
8. **Ухмылова Г.С.** Новейшие достижения в технологии производства кокса / **Г.С.Ухмылова** //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 / **А.В.Антонов** // Новости черной металлургии за рубежом. – 2011. – № 3. – С. 12-17.
10. **Данилин Е.А.** Установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей / **Е.А.Данилин, М.С.Герман, Б.И.Войтенко [и др.]** // Кокс и химия. – 2003. – № 12. – С. 36-39.
11. **Данилин Е.А.** Опыт освоения Установки теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей / **Е.А.Данилин, А.А.Лобов, В.Н.Рубчевский** // Кокс и химия. – 2005. – № 11. – С. 35-41.
12. **Ходаков Ю.С.** Применение СНКВ-технологии для снижения выбросов NOx котельными технологиями / **Ю.С.Ходаков, А.А.Алфеев, Ю.В.Ржезников [и др.]** // Теплоэнергетика. № 5.2004 С.53-59.
13. **Скорик Л.Д.** Промышленная проверка метода очистки дымовых газов ТЭС / **Л.Д.Скорик, Ю.В.Иванов, Э.Н.Арзуманян [и др.]** // Теплоэнергетика. – 1986. – № 7.
14. **Фальков М.И.** Энергосбережение и энергоэффективность в проекте Гипрококса на предприятиях черной металлургии Украины / **М.И.Фальков** // Кокс и химия. – 2009. – № 7. – С. 69-72.
15. **Данилин Е.А.** Создание технологическо-энергетических комплексов на базе коксовых батарей – перспективное направление развития современной коксохимии / **Е.А.Данилин, А.А.Лобов, А.В.Свирин** // Кокс и химия. – 2010. – № 6. – С. 40-46.
16. **Лобов А.А.** Оценка выбросов парниковых газов ОАО «Запорожжкокс» / **А.А.Лобов, О.А.Чамара, А.Л.Борисенко [и др.]** // Углехимический журнал. – 2009. – № 1-2. – С. 100-106.

Рукопись поступила в редакцию 14.03.2012