

УДК 662.741:66.074

**Е.А. ДАНИЛИН**, генеральный директор,  
**А.А. ЛОБОВ**, канд. техн. наук, директор, **А.В. СВИРИН**, технический директор  
Научно-техническое предприятие «Котлоэнергопром», г. Харьков  
**С.А. ЛОБОВ**, канд. техн. наук, доцент  
Национальный аэрокосмический университет «ХАИ» (НАКУ «ХАИ»), г. Харьков  
**М.В. КАТКОВ**, канд. техн. наук, доцент  
Харьковская национальная академия городского хозяйства (ХНАГХ), г. Харьков

## ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ КОКСОВОЙ БАТАРЕИ

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.

**Ключевые слова:** коксовая батарея, динамика разрушения кладки, выбросы загрязняющих веществ, обезвреживание, утилизация тепла дымовых газов.

На коксохимических предприятиях основным источником выбросов загрязняющих веществ в атмосферу (причем более 80 % – это выбросы с дымовыми газами) являются многокамерные коксовые батареи. Состав и количество загрязняющих веществ, выбрасываемых с дымовыми газами, зависят от уров-

ня температур в обогревательных простенках, срока службы и конструкции коксовых батарей, состояния отопительной системы, уровня и условий эксплуатации и т.д. [1–3].

Технологические и теплотехнические особенности процесса коксования не позволяют обеспечить соблю-



дение украинских, а тем более – зарубежных норм по выбросам загрязняющих веществ, особенно в условиях значительного (~25 лет) срока службы коксовых батарей [4].

Одним из трудновыполнимых условий является соблюдение ограничений по выбросам  $NO_x$  (до  $500 \text{ мг/м}^3$  при 5 %-ном содержании  $O_2$ ). На старых коксовых печах выбросы с продуктами сгорания достигают:  $NO_x$  – 1900 г,  $CO$  – 3500 г и твердых углеродсодержащих компонентов – 140 г на одну тонну кокса [5].

Современное коксохимическое предприятие представляет собой энергоемкое производство: для производства 1 т кокса в Украине расходуется 3,5 ГДж энергии, в России – 3,4 ГДж, в странах ЕС – 3,3 ГДж.

Коксохимическое предприятие обладает значительным энергетическим потенциалом – из каждой тонны угольной шихты при коксовании образуется  $330\text{--}350 \text{ м}^3$  коксового газа калорийностью  $\sim 16760 \text{ кДж/м}^3$ , причем на обогрев собственно коксовой батареи расходуется до 50 % газа, а остальная часть – на технологические и энергетические агрегаты; нередко избыток газа выбрасывается в атмосферу через газосбросные устройства. На коксовой батарее имеется также 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 энерго-

эффективности и снижению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу уделяется значительное внимание: разрабатывается и внедряется множество прогрессивных технологий.

Приоритетным направлением представляется разработка и внедрение технологий с одновременным повышением энергоэффективности и экологических показателей. Для решения энергетических и экологических проблем коксохимических предприятий в 1999–2000 гг. НТП «Котлоэнергопром» разработан технологический комплекс на стыке двух технологий – производства кокса из угольной шихты и производства тепловой и электрической энергии.

Первая в мире установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов (далее – Установка) коксовой батареи № 1 мощностью 900 тыс. т/год кокса построена по проекту НТП «Котлоэнергопром» на ОАО «Запорожжкокс» и введена в эксплуатацию в 2002 г. (рис. 1). Важно отметить, что Установка была построена за коксовой батареей со сроком службы более 20 лет [6].

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

Краткая характеристика котла-утилизатора с реактором приведена в табл. 1.

Реактор, предназначенный для теплового обезвреживания дымовых газов коксовой батареи, расположен под камерой охлаждения котла и состоит из цилиндрических камер, которые верхними частями входят в общую камеру, соединяющую реактор с охлаждающей камерой.

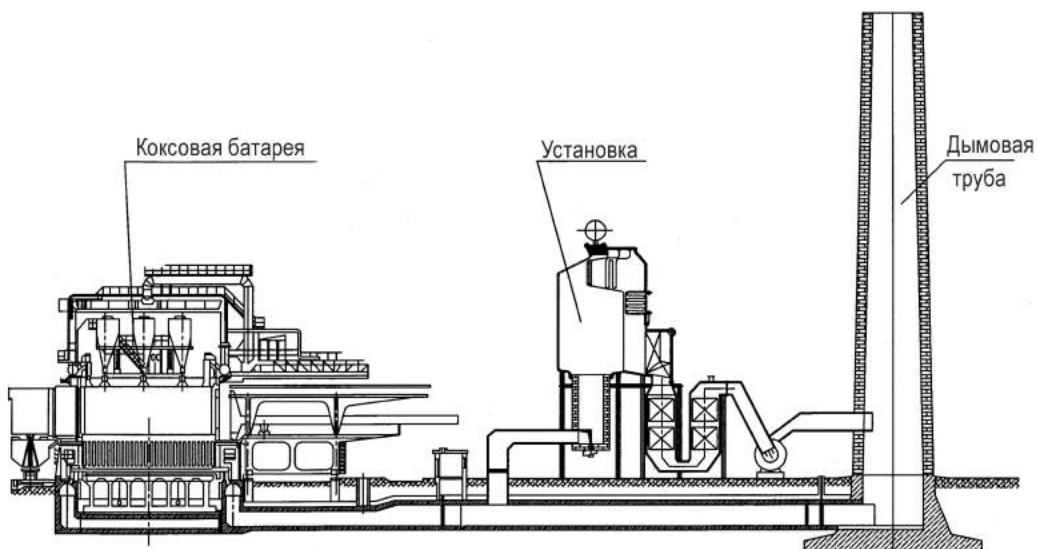


Рисунок 1 – Технологический-энергетический комплекс

**Таблица 1 – Характеристика котла-утилизатора**

Наименование	Единица измерения	Значение
Тип котла	–	РК-85-40/440
Паропроизводительность	т/час	85
Давление в барабане	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	4,4 (44)
Давление перегретого пара	МПа (кгс/см <sup>2</sup> )	3,9 (39)
Температура перегретого пара	°С	440
Температура питательной воды перед экономайзером	°С	130–145
Объем реактора и камеры охлаждения	м <sup>3</sup>	300
Соппротивление горелок по коксовому газу	кПа	1,59
Соппротивление горелок по воздуху	кПа	1,65
Соппротивление смесительного устройства по коксовому газу	кПа	1,15

Дымовые газы коксовой батареи подводятся тангенциально в нижнюю часть реактора, в центре пода цилиндрических камер вертикально установлены горелки коксового газа.

На технические решения, примененные в Установке теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовой батареи получены 11 патентов Украины, 7 патентов Российской Федерации и поданы 3 международных заявки.

При освоении Установки проведены промышленные испытания и наладка комплекса «Коксовая батарея – Установа», при этом батарея работала на специально установленном режиме, обеспечивающем максимально

возможное снижение концентрации оксидов азота (NO<sub>x</sub>) в дымовых газах в Установке. Результаты испытаний приведены в табл. 2.

Приведенные результаты 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 оксидов углерода и азота. Наибольшая эффективность обезвреживания вредных выбросов достигается при паропроизводительности Установки более 55 т/час.

Внедрение Установки обеспечило:

- снижение содержания NO<sub>x</sub> в дымовых газах от коксовой батареи на 30–40 % и СО на 90–100 % с обеспечением международных норм выбросов;
- утилизацию тепла отходящих дымовых газов коксовой батареи в количестве до 7 Гкал/час;
- выработку до 85 т/час пара с энергетическими параметрами при дополнительном сжигании коксового газа (без строительства новой дымовой трубы), что удовлетворяет нужды завода в паре технологических параметров и позволяет дополнительно выработать 6 МВт при использовании паровой турбины с противодавлением или 18 МВт при использовании конденсационной турбины.

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

- прямое безударное включение коксовой батареи на дымовую трубу в случае отключения Установки;
- улучшение гидравлического режима работы коксовой батареи за счет стабилизации разрежения в газоходе перед дымовой трубой.

**Таблица 2 – Результаты испытаний комплекса «Коксовая батарея – Установа»**

Наименование		Размерность	Обозначение	Значение		
<b>Коксовая батарея</b>						
Расход отопительного газа		тыс. н м <sup>3</sup> /час	V <sub>кб</sub>	16–17		
Температура в контрольных вертикалах	машинная сторона	°С	t <sub>в.мс</sub>	1225		
	коксовая сторона		t <sub>к.кс</sub>	1255		
Температура в боровых	машинная сторона	°С	t <sub>б.мс</sub>	300–310		
	коксовая сторона		t <sub>б.кс</sub>	310–320		
<b>Установа</b>						
Паропроизводительность котла Установки		т/час	D <sub>у</sub>	40–58	60–70	75–85
Расход коксового газа на реактор		тыс. нм <sup>3</sup> /час	V <sub>кст</sub>	8–10	11,3–13	14–17
Температура дымовых газов за Установкой		°С	t <sub>в</sub>	175	180	183
Расход дымовых газов от коксовой батареи на Установку		тыс. нм <sup>3</sup> /час	V <sub>дкб</sub>	95–100	140–147	
Выбросы загрязняющих веществ при O <sub>2</sub> = 5 %	оксид углерода	до Установки после Установки	СО	2667–3657		
	оксиды азота	до Установки после Установки		NO <sub>x</sub>	495–76	61–15
					297–305	312–343



Тепловой коэффициент использования коксового газа в Установке (по сравнению с котлами обычных котельных и ТЭЦ) 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  $\text{NO}_x$  (в 2–2,5 раза ниже, чем при сжигании коксового газа в обычных котлах).

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  $\text{NO}_x$  возможно использование в реакторе высокотемпературной аммиачной технологии [7, 8], что является особо актуальным, учитывая возрастающие требования к 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 килограмм оксидов азота, выброшенных в атмосферу от теплоагрегатов с производством энергии не более 25 ГВт за календарный год [9].

С учетом положительного опыта эксплуатации первой Установки в 2006 г. введена в эксплуатацию аналогичная Установка за коксовой батареей № 2 ОАО «Запорожжкокс». В 2007 и 2010 г. 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» – установка 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 – на собственные нужды предприятия, а остальная электроэнергия – в городские электрические сети.

Институт «Гипрококс» для частичного решения энергетических проблем коксохимических предприятий разработал и внедряет установки сухого тушения кокса (УСТК), которые позволяют утилизировать до 40 % тепла, затраченного на коксование [10]. 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 в атмосферу загрязняющих веществ, связанных с мокрым тушением кокса, при котором 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.

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

Строительство Установок теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей позволяет практически без дополнительных затрат полностью исключить организованные выбросы загрязняющих веществ от УСТК в атмосферу: избыточный циркулирующий газ УСТК направляется 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/час тепла. Таким образом, при строительстве УСТК целесообразно одновременно предусматривать 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 институтом «Гипрококс» выполнен рабочий проект сброса и обезвреживания избыточного циркулирующего газа от проектируемых двух блоков УСТК с подачей газов в реактор Установки № 1 ОАО «Запорожжкокс».

Строительство таких Установок за коксовыми батареями с учетом баланса коксового газа позволит не только значительно уменьшить выбросы загрязняющих веществ в атмосферу из коксовых батарей и УСТК, но и получить дополнительную тепловую и электрическую энергию.

Положительный опыт внедрения Установок теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей ОАО «Запорожжкокс» и Горловского КХЗ позволяет определить новое направление решения энергетических и экологических проблем коксохимических предприятий – создание технолого-энергетических комплексов на базе коксовых батарей.

Учитывая, что Установка по обезвреживанию и утилизации тепла дымовых газов позволяет получать от 16



до 34 ГДж/час в результате утилизации бросового физического и химического тепла дымовых газов одной коксовой батареей, строительство технолого-энергетических комплексов на базе коксовых батарей также вносит значительный вклад в решение проблемы снижения выбросов парниковых газов в рамках как Киотского протокола, так и новых соглашений, предусматривающих снижение выбросов парниковых газов [11].

Внедрение Установок за коксовыми батареями целесообразно в следующих случаях:

- новое строительство;
- неудовлетворительное состояние оборудования существующих котельных и ТЭЦ;
- значительные выбросы загрязняющих веществ в атмосферу с дымовыми газами, приводящие к выводу из эксплуатации коксовых батарей вследствие превышения нормативных выбросов;
- строительство УСТК.

### ВЫВОДЫ

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

- низкие экологические показатели коксовых батарей, котлов котельных и ТЭЦ;
- высокие потери тепла с отходящими 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 за коксовой батареей № 3 филиала «Горловского КХЗ» ООО «ИСТЭК» подтверждает их значительную энергоэффективность и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Защита окружающей среды на коксохимических предприятиях / А.Н. Пырников, С.В. Васнин, Б.М. Баранбаев и др. – М. : Интермет Инжиниринг, 2000. – 176 с.
2. Михайлов, Г.Н. Выбросы токсичных и коррозионно-активных компонентов при сжигании коксового газа / Г.Н. Михайлов, Ю.О. Афанасьев, В.А. Плотников и др. // Кокс и химия. – 1996. – № 8. – С. 32–34.
3. Грес, Л.П. Охрана окружающей среды / Л.П. Грес. – Д. : РНА Днепр-ХАН, 2002. – 104 с.
4. 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.
5. Ухмылова, П.С. Эффективность охраны окружающей среды в коксохимическом производстве / П.С. Ухмылова // Новости черной металлургии за рубежом. – 2001. – № 1. – С. 6–25.
6. Данилин, Е.А. Установка теплового обезвреживания и утилизации тепла дымовых газов коксовых батарей / Е.А. Данилин, Б.И. Герман, Б.И. Войтенко, В.Н. Рубчевский, А.А. Лобов // Кокс и химия. – 2003. – № 12. – С. 36–39.
7. Ходаков, Ю.С. Применение СНКВ-технологии для снижения выбросов  $\text{NO}_x$  котельными технологиями / Ю.С. Ходаков, А.А. Алфеев, Ю.В. Ржезников и др. // Теплоэнергетика. – 2004. – № 5. – С. 53–59.
8. Скорик, Л.Д. Промышленная проверка метода очистки дымовых газов ТЭС от оксидов азота вводом аммиака в высокотемпературный тракт котла / Л.Д. Скорик, Ю.В. Иванов, Э.Н. Арзумманиян и др. // Теплоэнергетика. – 1986. – № 7. – С. 58–59.
9. Дамгаард, Л. Снижение выбросов  $\text{NO}_x$  с помощью селективного каталитического восстановления / Л. Дамгаард, Б. Видрот, М. Шретер ; пер. Г. Липкин // Нефтегазовые технологии. – 2005. – № 4. – С. 53–56.
10. Фальков, М.И. Энергосбережение и энергоэффективность в проекте Гипрококка на предприятиях черной металлургии Украины / М.И. Фальков // Кокс и химия. – 2009. – № 7. – С. 69–72.
11. Лобов, А.А. Оценка выбросов парниковых газов ОАО «Запорожжкокс» / А.А. Лобов, О.А. Чамара, А.Л. Борисенко и др. // Углекислотный журнал. – 2009. – № 1/2. – С. 100–106.

Поступила в редакцию 30.01.2012

Розглянуто екологічні та енергетичні проблеми коксохімічних підприємств. Запропоновано технічне рішення щодо створення технолого-енергетичного комплексу, до складу якого входять коксова батарея й установка теплового знешкодження та утилізації тепла димових газів коксової батареї.

Environmental and energy problems of by-product coke plants are considered. It is proposed technical approach for setting-up techno-energy complex, which consists of coke-oven battery and plants for heat neutralization and waste gas heat recovery.