

УДК 621.165:621.438

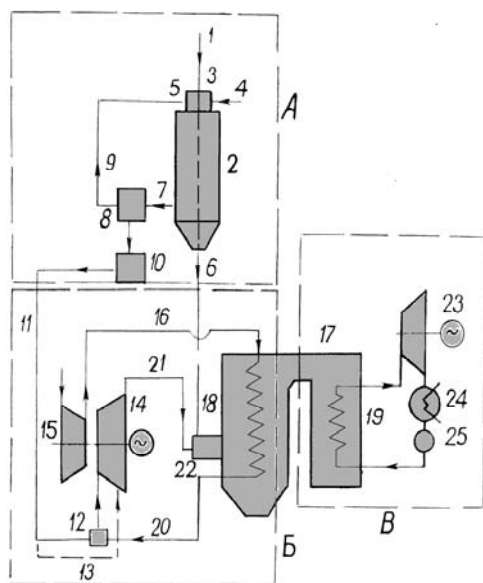
ВОПРОСЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ УГОЛЬНЫХ ПГУ С ГАЗИФИКАЦИЕЙ ТОПЛИВА

Шульман В.Л., Богатова Т.Ф., Шульман-Симаков Д.Л.

*Инженерный центр энергетики Урала, предприятие "УралОРГРЭС",
Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург*

Реализация угольных парогазовых технологий предполагает эффективное решение технологических, конструкторских, компоновочных проблем с учетом обеспечения экологического совершенства создаваемого нового генерирующего оборудования на твердом топливе.

Анализ экологических свойств парогазовой угольной технологии на основе пиролиза проводится применительно к схеме ПГУ, разработанной совместно специалистами Инженерного центра энергетики Урала и Уральского федерального университета (рис.1)[1]. В эту гибридную схему угольной ПГУ включены основные процессы подготовки и использования топлива: высокоскоростной пиролиз угля, сжигание пиролизного газа в потоке циклового воздуха после воздушного котла с целью догрева до расчетной температуры непосредственно перед входом в проточную часть газовой турбины, сжигание полукокса в качестве топлива в воздушном котле либо реализация его в качестве высокоценного продукта вне цикла ПГУ. Непосредственно в пиролизере осуществляется подогрев угольной пыли газовым теплоносителем, пиролиз угольных частиц, разделение парогазовых продуктов и полукокса. В рабочую зону пиролизера также вводятся серосвязывающие присадки. Жидкие фракции после фильтра-холодильника поступают в головной участок пиролизера, где используются в качестве вспомогательного топлива для получения газового теплоносителя, осуществляющего нагрев топлива до температуры пиролиза.



1 – подвод угольной пыли; 2 – пиролизер; 3 – камера сгорания вспомогательного топлива; 4 – ввод воздуха на сжигание вспомогательного топлива; 5 – ввод вспомогательного топлива; 6 – тракт отвода полукокса; 7 – фильтр очистки и сепарации газа; 8 – тракт пиролизного газа; 9 – отвод парогазовых продуктов пиролиза в качестве вспомогательного топлива; 10 – газовый компрессор; 11 – тракт сжатого пиролизного газа; 12 – узел догрева циклового воздуха; 13 – тракт пиролизного газа на промежуточный подогрев воздуха в ГТУ; 14 – ГТУ; 15 – компрессор ГТУ; 16 – тракт сжатого циклового воздуха; 17 – паровоздушный котел; 18 – высокотемпературный воздухоподогреватель; 19 – парогенерирующий тракт; 20 – подогретый воздух; 21 – выхлопные газы ГТУ; 22-25 – оборудование паротурбинного тракта.

Рис. 1. Технологическая схема гибридной угольной ПГУ.

В приведенной схеме выделяются следующие технологические узлы, формирующие ее экологические свойства:

1) Сжигание вспомогательного топлива связано с образованием оксидов азота и других менее значительных загрязнителей. Если для нагрева угольной пыли использовать конденсированные жидкофазные продукты пиролиза, то основным дополнительным загрязнителем пиролизного газа могут быть оксиды азота, выделяющиеся при сжигании вспомогательного топлива в количестве около 100 мг на кг исходного топлива. Однако значимость складывающегося при этом дополнительного загрязнения пиролизного газа оксидами азота невелика – при контакте с углеродом полукоксовых частиц в бескислородной зоне пиролиза оксид азота подвергается конверсии с переводом в аммиак.

2) В пиролизере при разложении углеродной массы выделяются парогазовые продукты и полукоксы, содержащие вредные вещества – соединения азота, серы. Распределение загрязнителей – продуктов пиролиза – между парогазовыми продуктами и полукоксом происходит таким образом:

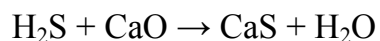
– большая часть серы (около 2/3) остается в полукоксе и может превращаться на последующем этапе использования полукокса в пределах технологического цикла ПГУ в качестве топлива;

– при температуре скоростного процесса пиролиза 800-900 °С из угля выделяется с летучими до 80 % связанного азота топлива, примерно поровну распределяясь между пиролизным газом и жидкими продуктами.

3) Пиролиз угольной пыли сопровождается балластированием пиролизного газа продуктами сжигания вспомогательного топлива со снижением удельной теплоты сгорания. При выходе пиролизного газа с расчетной теплотой сгорания 4200 ккал/нм³ в количестве 250 нм³ на кг исходного угля в результате смешения с продуктами сгорания вспомогательного топлива в количестве до 160 нм³ на кг исходного топлива теплота забалластированного пиролизного газа может быть снижена до 2800 ккал/нм³. Применительно к данной конкретной цели использования пиролизного газа разубоживание его не является негативным фактором – при сжигании его в потоке циклового воздуха с температурой до 1000°С уменьшается вероятность образования «воздушных» оксидов азота.

4) В процессе пиролиза происходит образование и трансформация загрязнителей.

Из всей массы серы, содержащейся в исходном угле, при температуре 600–900°С выделяется примерно половина серы исходного топлива, при этом около трети переходит в H₂S. Сероводород H₂S большей частью может связываться в пиролизере путем ввода совместно с угольной пылью оксида кальция СаО [2]. Реакция нейтрализации протекает следующим образом:



Твердые продукты нейтрализации СаS после пиролизера поступают с полукоксом в топку котла и улавливаются в электрофильтрах.

При распаде термонеустойчивых азотсодержащих соединений азота в бескислородной среде большая часть преобразуется в молекулярный азот или аммиак (доля которого в пиролизном газе может составлять 1,2%). Аммиак в дальнейшем движении по тракту при наличии свободного кислорода может образовывать достаточно токсичные оксиды азота. В процессе пиролиза возможно взаимодействие аммиака с углеродом с образованием HCN. Однако при высо-

коскоростном пиролизе угольной пыли в поточном аппарате парогазовые продукты разложения покидают угольную частицу и теряют связь с ней, не вступая во вторичные реакции с твердым остатком. Подобная ситуация имеет место в использованной нами конструкции поточного пиролизера.

5) Очистка пиролизного газа, в которой часть загрязнителей может выводиться из пиролизного газа и жидких фракций, предусматривает, прежде всего, охлаждение. При этом осуществляется конденсация паров воды (подсмольная вода), которая содержит аммиак, фенолы, а также значительного количества масел с высокой удельной теплотой сгорания.

Примерная характеристика подсмольных вод полукоксования [2].

Неочищенная фенольная вода:

H₂O... приблизительно 99%.
 Фенолы..... 10 г/л
 Аммиак (NH₃) ...4 г/л.
 Легкие масла (смешанный деготь)...94,4 г/л.
 Прочие органические вещества.....1 г/л.

Легкие масла (смешанный деготь):

Химический состав: C... 85% по массе;
 H₂ ...7%;
 N₂ ... 1 %;
 S 1%;
 O₂ 6%

Фенол (C₆H₅OH) Q_Н^P – 7232 ккал/кг
 Аммиак (NH₃) Q_Н^P – 4428ккал/кг.
 Масла Q_Н^P – 8477 ккал/кг.

6) Утилизация подсмольных вод предусматривается в топке паровоздушного котла, входящего в состав технологической схемы рассматриваемой ПГУ. Специалистам известно, что топки котельных агрегатов представляют собой весьма совершенные реакторы с высокими температурами (1400-1800°С) и большим временем пребывания топочных газов в высокотемпературной зоне (больше 1с). Исследования, проведенные нами на котле производительностью по пару 420 т/ч показали, что при сбросе с в топку до 6,0 т фенольных вод из установки полукоксования не обнаруживается присутствие фенола на всех контрольных точках по тракту топочных газов и водных стоков – в дымовых газах на выходе из топки, в пульпе после скрубберов золоуловителей. Для ввода подсмольной жидкости в топку котла используются впрыскивающие струйные системы, которые обеспечат протекание процесса испарения воды и обезвреживания токсичных компонентов на значительном расстоянии от стенок топки, чтобы возле них не было образования коррозионно-активных зон. В тоже время необходимо обеспечивать быстрое каплеобразование и испарение для исключения проскока токсичных веществ с топочными газами в атмосферу. Огневое обезвреживание загрязненных вод и жидких отходов неизбежно связано с затратами тепла на испарение воды и других жидких фракций. Это обстоятельство определяет снижение КПД котла, используемого в качестве реактора, на 0,4 – 0,8%. Однако при данном составе подсмольной воды теплотери в топке на испарение воды будут практически полностью компенсированы теплом, полученным от сгорания компонентов, содержащихся в воде.

7) В узел догрева циклового воздуха (после предварительного его нагревания в высокотемпературном воздухоподогревателе) поступает пиролизный газ, прошедший частичную очистку после пиролизера. При промывке его водой из него выводятся аммиак, твердые частицы, соединения фенола. Двуокись серы связывается непосредственно в рабочем объеме пиролизера. Пиролизный газ содержит оксиды азота, образованные при сжигании вспомогательного топлива.

Сжигание пиролизного газа в потоке раскаленного воздуха перед вводом в проточную часть газовой турбины связано с возможностью образования оксидов азота в высокотемпературном факеле пиролизного газа, расчетная температура горения которого при избытке воздуха выше 2200 °С (с учетом температуры циклового воздуха до 1000 °С и температуры газа после дожимного компрессора около 300 °С). Избежать либо ограничить образование NO_x в результате окисления азота воздуха можно путем максимального рассредоточения газа по сечению воздушного канала. Этому также благоприятствует пониженная температура факела обедненного пиролизного газа. При указанной температуре воздуха газ воспламеняется при любой концентрации.

8) При сжигании стороннего топлива (низкокачественных улей, горючих отходов) в топке паровоздушного котла происходит выделение соответствующих вредных веществ. Для подавления этих выбросов могут быть использованы стандартные отработанные технологические приемы.

Сжигание полукокса практически исключает образование «топливных» оксидов азота. Это показали испытания котла со встроенными в горелки устройствами подогрева пыли до 700 °С [3], в которых при сжигании полукокса выход оксидов азота совпадал с уровнем, характерным для сжигания природного газа. Сброс в топку аммиачной воды из узла очистки пиролизного газа также будет способствовать ограничению выбросов NO_x . За счет частичного удаления из угля соединений серы в пиролизере снижается выброс сернистого ангидрида в топке паровоздушного котла.

Заключение

В рассмотренной технологической схеме угольной ПГУ определены зоны выделения вредных веществ, способы их подавления. Прослеживая образование и трансформацию загрязнителей на всем протяжении технологического тракта, можно констатировать, что на выходе из технологического цикла ПГУ могут быть соблюдены существующие экологические нормативы и ограничения, установленные для оборудования ТЭС.

Литература

1. А.В.Зайцев, А.Ф.Рыжков, В.Е.Силин, Т.Ф.Богатова и др. Газогенераторные технологии в энергетике. Изд.ООО «Сократ».Екатеринбург. 2010.
2. Шульман В.Л., Зайцев А.В. О некоторых возможностях использования энергетического котла как реактора для обезвреживания промышленных отходов. Сб «Актуальные проблемы энергетики. Материалы III Международной научно-практической конференции. Екатеринбург.2007.
3. Шульман В.Л. Предварительная термическая подготовка топлива как реальный способ технологического и экологического совершенствования пылугольных котлов. //Электрические станции.2006. №6.