

УДК 621.311.22:66.074.2

**А.С. ЛАВОШНИК**, ведущий научный сотрудник,**Д.В. ФЕДУРУС**, научный сотрудник, **Д.В. СЕМЕНОВ**, научный сотрудник

Украинский государственный научно-технический центр «Энергосталь» (УкрГНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

## ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ СУХОГО АДДИТИВНОГО СПОСОБА ДЕСУЛЬФУРИЗАЦИИ ДЫМОВЫХ ГАЗОВ ТЭС

Приведено обоснование целесообразности применения сухого аддитивного способа десульфуризации отходящих дымовых газов для котлоагрегатов ТЭС, оснащенных сухими системами очистки газов от твердых частиц, дана экологическая и экономическая оценка данного метода.

**газы ТЭС, оксиды серы, очистка, сухой аддитивный способ, рекуперация, энергоэффективность**

Тенденция увеличения доли углей в топливном балансе энергетики Украины позволяет прогнозировать обострение экологических проблем в этой отрасли.

Зольность углей, потребляемых сегодня предприятиями энергетики, находится в пределах 30–40 % и выше, их калорийность не превышает 3420 ккал/кг, сернистость достигает 3 %. Непригодные для сжигания углей такого качества котельные агрегаты вынужденно переоборудуют на работу с подсветкой газом или мазутом, при этом ухудшение качества топлива не только снижает эффективность работы энергоагрегатов, но и влечет за собой ухудшение экологической ситуации.

Одной из острых проблем, связанных с использованием в энергетике низкокачественных высокосернистых углей, является проблема эффективной очистки дымовых газов от сернистых соединений. До настоящего времени работы в этом направлении не развернуты должным образом по разным причинам, главная из которых – высокая стоимость методов химической очистки газов в целом.

Поиск малозатратных методов и обоснованный выбор приемлемых технологических схем очистки дымовых газов ТЭС является важной задачей, тем более что рекомендуемые к внедрению установки химической очистки газовых выбросов ТЭС зачастую являются очень дорогостоящими, а их эксплуатация за счет высокого энергопотребления может стать основной причиной снижения энергоэффективности котлоагрегатов.

Одним из важнейших требований европейской Директивы по Комплексному контролю и предотвращению загрязнения (IPPC) в отношении топливосжигающих установок является эффективное использование энергии. Поэтому КПД энергоустановок – важный показатель воздействия производственного процесса на окружающую среду.

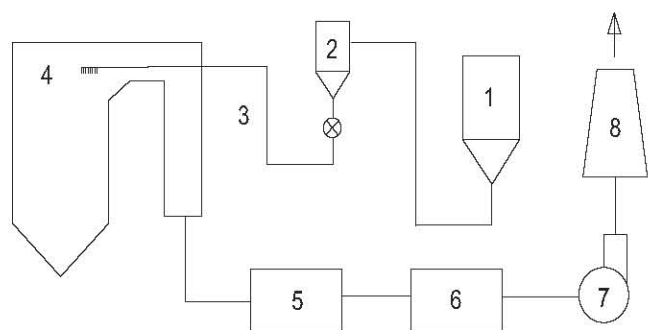
Показателем, который учитывает все потери, в т.ч., связанные с расходом энергии для собственных нужд предприятия, энергообеспечением очистки дымовых газов, сточных вод и пр., является тепловая эффективность – конечный КПД (нетто). Типичные для энергетики Украины значения КПД (нетто) энергоустановок, работающих на угле, находятся в интервале 38,5–47,5 %. Основные потери тепла обусловлены недожогом в золе, потерями через обшивку агрегатов, а также его рассеиванием с отходящими газами, шлаком и золой.

Даже наиболее эффективные энергоагрегаты рассеивают значительное количество энергии сжигаемого топлива в форме сбросного тепла, а каждая единица рассеянного тепла означает дополнительное количество выбросов в атмосферу  $SO_2$ ,  $CO_2$ , золы и других загрязнителей. Уменьшая потери тепла или полезно используя сбросное тепло, можно сэкономить энергию и ресурсы, а также сократить выбросы.

По мнению авторов, наиболее органичное решение комплекса обозначенных выше проблем энергетики состоит в применении сухого аддитивного метода десульфуризации в сочетании с сухими методами пылеулавливания, что позволяет рекуперировать часть тепла дымовых газов путем снижения их температуры точки росы и использовать этот эффект для отпуска дополнительного тепла.

Принципиальная схема сухого аддитивного метода десульфуризации дымовых газов угольных ТЭС приведена на рис. 1.

Установка сероочистки, работающей по сухому аддитивному методу (рис. 1), состоит из следующих основных блоков: силосной емкости 1 для хранения аддитива, расходного бункера 2, системы 3 пневмотранспорта и распределения аддитива в топке котла 4, рекуперато-



**Рисунок 1 – Принципиальная схема сухого аддитивного метода десульфуризации дымовых газов угольных ТЭС:**

1 – силосная емкость для хранения аддитива; 2 – расходный бункер; 3 – системы пневмотранспорта и распределения аддитива; 4 – котел; 5 – рекуператор; 6 – золоулавливающая установка (ЗУУ); 7 – дымосос; 8 – дымовая труба

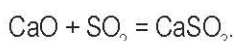
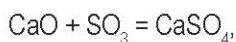
ра 5, золоулавливающей установки (ЗУУ) 6, дымососа 7 и дымовой трубы 8.

Сущность метода заключается в том, что сухой мелкодисперсный известняк (аддитив) вводится в поток очищаемых дымовых газов непосредственно в зону температур, оптимальных для осуществления соответствующих реакций, – порядка 1150 °С. Здесь частицы известняка под действием тепла газов разлагаются с образованием активной извести и взаимодействуют с оксидами серы.

Дымовые газы отечественных угольных ТЭС могут содержать до 2–3 г/м<sup>3</sup> оксидов серы и более. Сера топлива в котлоагрегате сгорает до SO<sub>2</sub> и частично окисляется до SO<sub>3</sub>. В продуктах сгорания, образующихся в реальных эксплуатационных условиях ТЭС при сжигании серосодержащего топлива, соотношение концентраций SO<sub>2</sub> и SO<sub>3</sub> колеблется в диапазоне 100:1–10:1.

Несмотря на незначительное содержание триоксида серы в продуктах сгорания, его влияние на конденсацию паров и коррозию оборудования является решающим, что обусловлено значительным повышением температуры точки росы дымовых газов.

Известь взаимодействует с содержащимися в дымовых газах оксидами серы с образованием сульфита и сульфата кальция



Следует отметить, что при контактировании с дымовыми газами в реакционном объеме котла известь более активно реагирует с SO<sub>3</sub> и лишь затем – с диоксидом серы. Так, при очистке дымовых газов с содержанием оксидов серы на уровне 0,112 % об. сухим аддитивным ме-

тодом с применением присадок доломитной гидратной извести улавливание SO<sub>2</sub> составляет 14 %, а эффективность улавливания SO<sub>3</sub> – 83 % [2].

По ходу движения дымовых газов от горелочных устройств котлоагрегата до дымовой трубы их температура постепенно понижается за счет потерь тепла, а также его полезного отбора на производство товарной продукции и на собственные нужды предприятия.

После охлаждения дымовых газов ниже точки росы влага, содержащаяся в них (влага используемого для горения воздуха и влага, образующаяся при сгорании водорода топлива), конденсируется на поверхностях оборудования газоотводящего тракта. Температура точки росы продуктов сгорания бессернистого твердого топлива составляет около 70 °С. При наличии в дымовых газах даже следов серного ангидрида происходит существенное повышение точки росы.

Так, при содержании в продуктах горения SO<sub>3</sub> на уровне 0,005 % точка росы влажных газов повышается приблизительно до 150 °С. Это означает, что пары серной кислоты из газообразных продуктов сжигания сернистого топлива конденсируются на стенках теплообменного оборудования, температура которых ниже 150 °С.

Возможность снижения методами химической очистки температуры точки росы газов, содержащих SO<sub>3</sub>, при сохранении их температуры порядка 150 °С создает предпосылки утилизации теплосодержания отходящих газов для дополнительного производства и отпуска тепла без риска конденсации водяных и кислотных паров.

Поэтому важно, чтобы отходящие газы перед выбросом в атмосферу очищались от оксидов серы, а также золы, исключительно сухими методами (присадки аддитива, тканевые фильтры, электрофильеры).

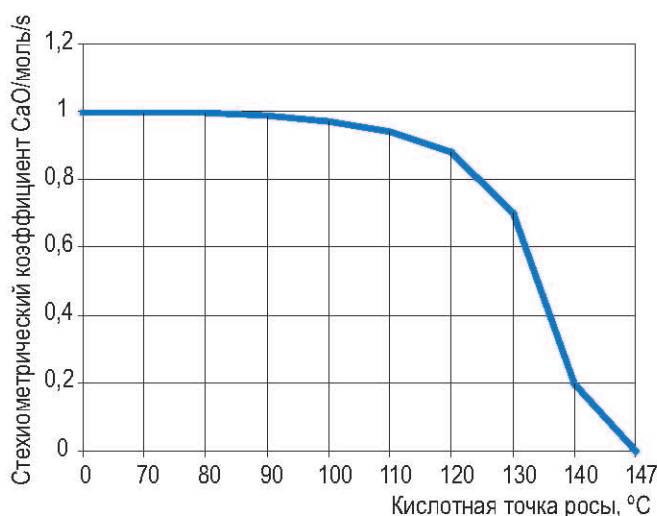
В случае обеспыливания дымовых газов мокрыми методами происходит существенное снижение температуры отходящих газов вследствие эффективного теплообмена с орошающей водой, при этом тепло дымовых газов безвозвратно теряется.

Реализация комплексной очистки дымовых газов ТЭС от оксидов серы и золы по сухой схеме должна обеспечить реальные экономические преимущества и обеспечить быструю окупаемость капитальных затрат. На действующих котлоагрегатах, оснащенных сухими золоуловителями, где исключаются затраты на замену, реконструкцию или строительство сухой установки золоулавливания, эти преимущества становятся очевидными.

Отличительная особенность предлагаемого подхода заключается в том, что в процессе очистки достигается снижение температуры сернокислотной точки росы при сохранении высокой температуры отходящих газов (при больших количествах вводимого аддитива температуру

кислотной точки росы можно снизить почти до значения водяной).

Температура серосодержащих отходящих газов котлоагрегата в реальных условиях эксплуатации (без внедрения мероприятий по очистке газов от сернистых соединений) принимается за 160 °С, поскольку она не должна быть ниже температуры точки росы. Уже при простой стехиометрической дозировке аддитива на очистку дымовых газов от оксидов серы (рис. 2) содержание  $SO_3$  в газе существенно снижается, при сохранении реальной температуры дымовых газов на уровне 160 °С температура точки росы понижается до величины порядка 60 °С. Это означает, что температура отходящих дымовых газов без угрозы конденсации влаги может быть понижена до 70 °С.

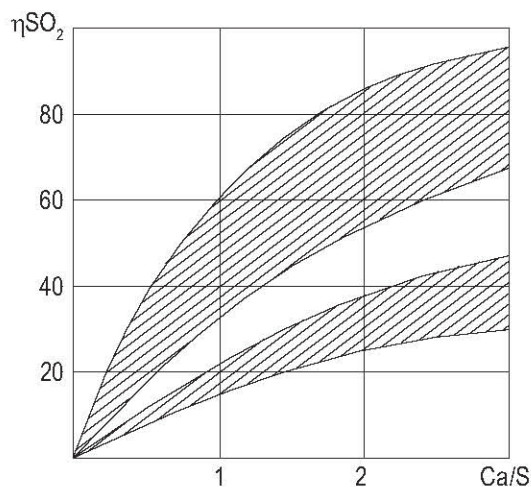


**Рисунок 2 – Зависимость температуры кислотной точки росы от дозировки аддитива**

Разница в теплосодержании дымовых газов при снижении их температуры на  $\Delta t = 90$  °С (с 160 до 70 °С) может быть полезно использована для выработки дополнительного тепла в коммерческих или технологических целях, что соответствует повышению КПД котлоагрегата более чем на 5 % [3]. Температурный уровень получаемого тепла допускает выработку пара низкого давления или горячей воды для реализации потребителям, на собственные нужды предприятия или для предварительного нагрева топлива перед сжиганием.

Степень десульфуризации дымовых газов ТЭС при подаче в котел аддитива с коэффициентом его избытка ( $e$ ) равном 1, согласно мировому опыту, составляет не менее 30 %, а при  $e = 1,5$  – не менее 35 % (рис. 3).

Для получения продуктов реакции в сухом виде температура дымовых газов в тракте поддерживается на 10–15 °С выше температуры точки росы, эффективность очистки при приближении температуры потока к температуре точки росы также существенно возрастает.



**Рисунок 3 – Зависимость степени очистки ( $\eta_{SO_2}$ ) дымовых газов от сернистого ангидрида от соотношения Ca/S для сухого аддитивного способа [4]**

Таким образом, с уменьшением температуры кислотной точки росы отходящих дымовых газов без существенного снижения их температуры появляется возможность дополнительного отпуска тепла без увеличения расхода топлива (и привносимого вместе с ним дополнительного количества серы). При этом эффективность работы котлоагрегата увеличивается на 6,7 % [3]. Удельный выигрыш составляет 502 кДж/кг угля, т.е. отпуск тепла парогенератора возрастает на 60,24 ГДж/час и достигает 106,7 %. В результате получения дохода за счет отпуска дополнительного тепла капитальные затраты на реализацию способа, по оценкам специалистов, уже при  $e=1,4$  окупаются в течение первого года эксплуатации [3]. В свою очередь, в интервале приемлемых значений коэффициента избытка аддитива следует ожидать и сокращения эмиссии  $SO_2$  на 35–40 %, что в большинстве случаев достаточно для достижения норматива по выбросам  $SO_2$  в атмосферный воздух для предприятий энергетики Украины.

Снижение содержания  $SO_3$  в отходящих газах минимизирует коррозионное воздействие на теплообменные поверхности котлов, что положительно сказывается на долговечности их работы и сокращает число внеплановых текущих ремонтов. При реализации сухого аддитивного метода десульфуризации дымовых газов ТЭС значительно упрощается технологическая схема очистки дымовых газов и не требуются дорогостоящие аппараты.

Сухой аддитивный способ десульфуризации дымовых газов ТЭС, работающих на каменном угле, обладает следующими преимуществами:

- низкие капиталовложения (что позволяет отнести этот метод к малозатратным);
- рекуперация тепла отходящих дымовых газов обеспечивает дополнительный отпуск тепла потребителям;



- быстрая окупаемость;
- незначительная потребность в дополнительной производственной площади;
- незначительная потребность в дополнительном персонале;
- использование дешевых сорбентов;
- исключение потребления воды;
- небольшой расход энергии на собственные нужды;
- очистка газов не создает новых проблем для окружающей среды.

Предпосылкой широкого применения сухого аддитивного способа очистки дымовых газов от оксидов серы на энергетических предприятиях Украины является также то, что система очистки газов от оксидов серы для котлоагрегатов, оснащенных сухими золоулавливающими установками, практически включена в существующую технологию очистки. Этот способ десульфуризации дымовых газов для ряда энергогенерирующих предприятий в Украине имеет реальную перспективу внедрения, поскольку его реализация не требует строительства специальных десульфуризационных установок и существенных капитальных затрат. Для городских твердотопливных ТЭС этот метод, учитывая стесненные условия размещения, может оказаться единственным возможным.

Масштабная реализация предлагаемого метода на энергогенерирующих предприятиях Украины в ближайшей перспективе может обеспечить достижение реального экологического эффекта – сокращения выбросов в атмосферу оксидов серы приблизительно на 30 %.

С экономической точки зрения данный путь является более действенным в улучшении экологической ситуации в энергетике, нежели перспектива строительства единичных крупных затратных установок сероочистки с эффективностью очистки более 90 %, которая общей картины по отрасли не изменит.

Внедрение сухого аддитивного способа десульфуризации отходящих дымовых газов только на трех энергоблоках одной из украинских ТЭС электрической мощностью по 200 МВт, оснащенных котлоагрегатами с номинальной паропроизводительностью по 640 т/час и оборудованных сухими системами золоулавливания, позволит, по оценочным расчетам, дополнительно утилизировать свыше 270 тыс. Гкал в год.

Такой проект модернизации ТЭС соответствует критериям проектов совместного осуществления (ПСО) в соответствии с Рамочной конвенцией ООН об изменении климата и Киотским протоколом. Достижимый потенциал энергосбережения и энергоэффективности на объекте позволяет рассчитывать на реализацию ПСО, поскольку он является высокорентабельным благодаря продаже единиц сокращения выбросов (ЕСВ). В рамках Программы Зеленых Инвестиций возможно привлечение на реализацию проекта не менее 10 % от общего объема необходимых капиталовложений.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Состояние проблемы сероулавливания. Концептуальные предложения по ее решению // Защита атмосферного воздуха от вредных выбросов ТЭС – К. : 1996. – 279 с.
2. **Щинников, П.А.** Методы и технологии очистки дымовых газов от оксидов серы, модуль № 5 [Электронный ресурс] / П.А. Щинников. – Режим доступа : <http://www.nst.e-apbe.ru>
3. **Клуге, В.** Экономичность сухого известнякового метода при дополнительной утилизации тепла / В. Клуге, Д. Липпольд // Защита атмосферы: информация. – Бельско-Бяла (ПНР), 1980. – № 5/80. – 92 с.
4. **Шмиголь, И.Н.** Охрана воздушного бассейна от выбросов энергопредприятий [Электронный ресурс] / И.Н. Шмиголь. – Режим доступа : <http://www.nst.e-apbe.ru/>

*Поступила в редакцию 15.04.2010*

Приведено обґрунтування доцільності застосування сухого адитивного способу десульфуризації відхідних димових газів для котлоагрегатів ТЕС, які оснащені сухими системами очистки газів від твердих часток, надано екологічну та економічну оцінку даного методу.

The reasoning for expediency of applying the dry additive method for desulphurization of flue gases of boilers of thermal power plants, equipped with dry scrubbing systems for gas purifying against solid particles and environmental-economic assessment of the method are given.