

**УДК 621.311.22:66.074.37**

А.В. ДУНАЕВ, главный инженер структурного подразделения, **А.С. ЛАВОШНИК**, ведущий научный сотрудник Государственное предприятие «Украинский научно-технический центр металлургической промышленности «Энергосталь» (ГП «УкрНТЦ «Энергосталь»), г. Харьков

ОЧИСТКА ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ ТЭС ОТ ОКСИДОВ СЕРЫ

Представлено состояние проблемы очистки газовых выбросов ТЭС от оксидов серы в Украине. Дана характеристика перспективных методов очистки. Приведен анализ опыта освоения в энергетике ЕС различных методов десульфурации газов. На примере Польши рассмотрена стратегия строительства общестанционных сероочисток как эффективного управленческого решения проблемы десульфурации отходящих газов ТЭС.

Ключевые слова: ТЭС, реконструкция энергоблоков, отходящие газы, десульфурация, сероочистка, выбросы, эксплуатационные и капитальные затраты.

Тепловые электростанции Украины являются основными загрязнителями окружающей природной среды. По данным Европейской Экономической Комиссии ООН, общие выбросы оксидов серы Украиной составляют порядка 7 % от всех европейских выбросов этого загрязнителя.

В список 100 наиболее крупных источников загрязнения атмосферы Европы диоксидом серы включены 13 основных украинских электростанций – Криворожская, Змиевская, Старобешевская, Запорожская, Кураховская, Углегорская, Бурштынская, Трипольская, Луганская, Приднепровская, Ладыжинская, Зуевская и Славянская [1]. Более 80 % всех выбросов приходится на 14 больших блочных станций, в районе расположения которых экологическая ситуация является особенно напряженной.

Существенный вклад по объему выбросов оксидов серы вносят Змиевская, Зуевская и Углегорская ТЭС – в дымовых газах этих объектов энергетики содержание золы составляет 30–50 г/нм³, SO₂ – до 4,2 г/нм³, NO_x – до 800 мг/нм³. Как показал анализ работы ТЭС Украины, это связано с использованием углей марки АШ – плохого

качества, с теплотворной способностью от 3500 до 4120 ккал/кг, сернистостью до 3 % и зольностью до 30–40 %, а также низкосортных бурых углей, например марки Б1-Р Днепровского угольного бассейна.

Экологическую обстановку вокруг ТЭС ухудшает использование устаревшего газоочистного оборудования с эффективностью очистки от золы – 90 % (очистка от SO₂ и NO_x не предусматривается), тогда как требуемая эффективность очистки по остаточному содержанию золы – до 50 мг/нм³, по SO₂ и NO_x – до 500 мг/нм³.

Следует отметить, что принятое правительством Украины в январе 2012 года решение о переводе газопотребляющих ТЭС на уголь сопряжено с увеличением выбросов в атмосферу и, как следствие, резким ухудшением экологической ситуации. Таким образом, проведение работ по сокращению вредных выбросов тепловых электростанций, особенно работающих на низкосортном твердом топливе, является весьма актуальным.

В Украине и ранее выполнялись работы по десульфурации дымовых газов ТЭС [2] – в 1996 г. в рамках рекон-

струкции и расширения Добротворской ГРЭС проведены инженеринговые работы по внедрению мокро-известняковой сероочистки блока № 9.

В 1997 г. при финансовом участии в проекте Федерального министерства защиты природы окружающей среды Германии планировалось введение в эксплуатацию сероулавливающей установки фирмы «Бишофф» (эффективность очистки – 94 %). Для улавливания золы на этом блоке предусматривалась установка электрофильтров фирмы «Лурги» с эффективностью очистки – 99,7 %.

В этот же период на Мироновской ГРЭС вводилась в опытную эксплуатацию демонстрационная установка пылеочистки с эмульгатором производства НПО «Южное». В энергетике эти аппараты получили достаточно широкое распространение в качестве золоуловителей, однако надежды на использование эмульгаторов для очистки от оксидов серы себя не оправдали.

НИПИ «Укрпрогазоочистка» совместно с НИИТЭ (Горловка) на рубеже 21 века разработали проект сероочистки по «полусухому» методу для Камыш-Бурунской ТЭЦ. Велись также работы над проектом пилотной установки сероочистки по методу E-SO_x для одной из украинских станций (метод разработан в США для комбинированного удаления пыли и SO₂). НИИТЭ работал над проектом комплексной очистки дымовых газов от оксидов серы и азота озono-аммонийным способом (расход газов – до 250 тыс. нм³/час) для Луганской ТЭС.

На Дрогобужской ТЭЦ производились пусконаладочные работы (1988–1991 гг.) на опытно-промышленной установке, запроектированной для работы по аммиачно-циклической технологии (расход газов – до 500 тыс. нм³/час). Впоследствии по предложению ВТИ данная установка была реконструирована и переведена на работу по аммиачно-сульфатной технологии, что позволило достичь эффективности сероулавливания (98 %) с получением товарного сульфата аммония, являющегося удобрением.

Все перечисленные технологии десульфурации отходящих газов ТЭС до настоящего времени не доведены до промышленного внедрения – действующие установки сероочистки в отрасли по-прежнему отсутствуют. Специальные мероприятия по уменьшению эмиссии диоксида серы (обессеривание топлива в ходе его обогащения либо на стадии приготовления пылеугольного топлива, перераспределение топлива по потребителям в зависимости от его сернистости и оснащённости установками сероочистки и пр.) в топливно-энергетическом комплексе Украины до настоящего времени не проводились.

На сегодняшний день не выработана стратегия решения экологических проблем предприятий энергетиче-

ского комплекса, связанных с загрязнением атмосферы выбросами сернистых соединений.

Следует отметить, что в последние годы наметились положительные тенденции в вопросе реконструкции энергоблоков ТЭС Украины – планируемые реконструкции предусматривают внедрение более эффективных методов сжигания топлива и увеличение КПД энергоблока, что должно привести к снижению выбросов загрязняющих веществ и парниковых газов на единицу мощности вырабатываемой электроэнергии. Проводится реконструкция устаревших электрофильтров, что обеспечивает содержание золы на выбросе – не более 50 мг/нм³, внедряются технологии по снижению выбросов оксидов серы в атмосферу.

В рамках реконструкции генерирующего и газоочистного оборудования предприятиями отрасли выполняется полный комплекс инженеринговых работ по внедрению систем очистки от оксидов серы, ориентированных не на кардинальное снижение выбросов SO₂, а на достижение эффективности очистки 40–60 % малозатратными методами.

В настоящее время проводятся тендеры, а по отдельным станциям (в частности – по Трипольской ТЭС) разрабатываются проекты «мокро-сухих» способов очистки от оксидов серы.

Так, на Зуевской ТЭС компанией ЗАО «Техэнерго» построена система сероочистки [3] на основе «сухого» способа – известняк вводится в верхнюю часть топки котла под аэродинамический выступ в зону температур 900–1100 °С через шлицы подачи газов рециркуляции – обеспыливание отходящих газов осуществляется с помощью электрофильтра.

По проекту, разработанному ГП «УкрНТЦ «Энергосталь», за энергоблоком № 10 Луганской ТЭС завершено строительство системы сероочистки отходящих газов комбинированным способом («сухим» способом с последующим «мокрым» золоулавливанием в реконструированной трубе Вентури [4]) – рис. 1.

В мировой практике для очистки газовых выбросов ТЭС от оксидов серы опробованы различные методы (способы): «мокрый» – известь-известняковый, «мокро-сухой» – с использованием извести в абсорберах полного испарения, «полусухой» – с вдуванием сухой извести и последующей активацией водой, а также «сухой» метод – с вдуванием извести либо известняка в высокотемпературный газовый поток [5, 6]. Суть этих методов состоит в следующем:

1. «Сухой» способ (рис. 2) применительно к объектам энергетики предусматривает вдувание (инжекцию) известняка в высокотемпературную зону котла с температурой 1200 °С или извести (рис. 3) – в конвектив-

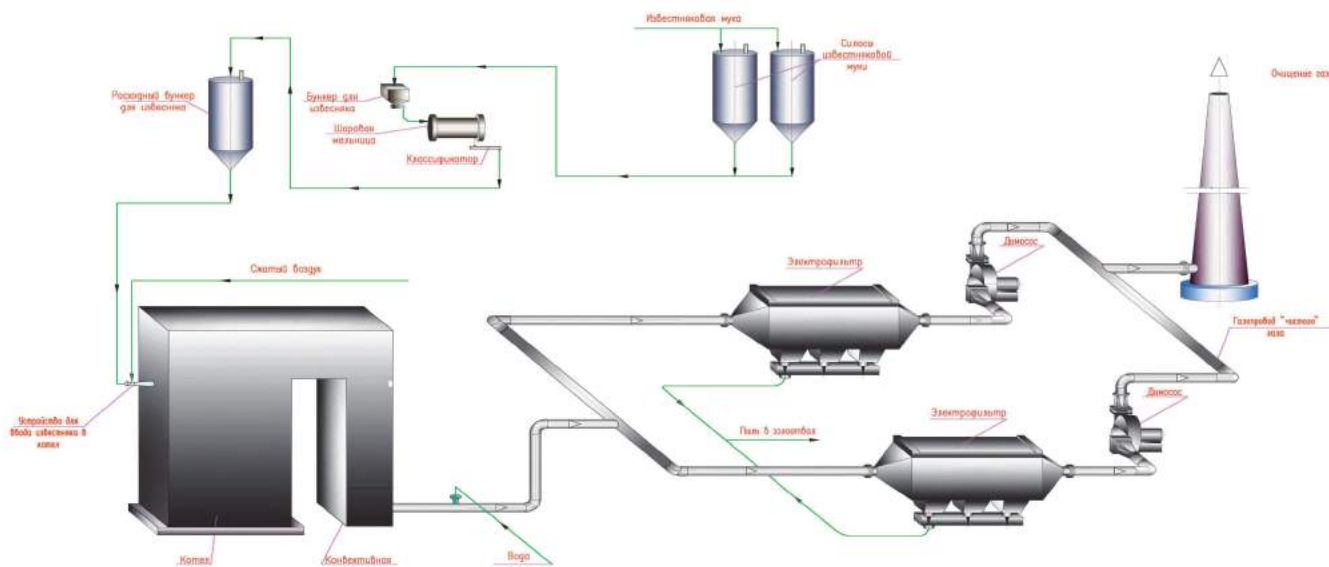


Рисунок 2 – Принципиальная схема очистки газов от оксидов серы («сухой» известняковый метод)

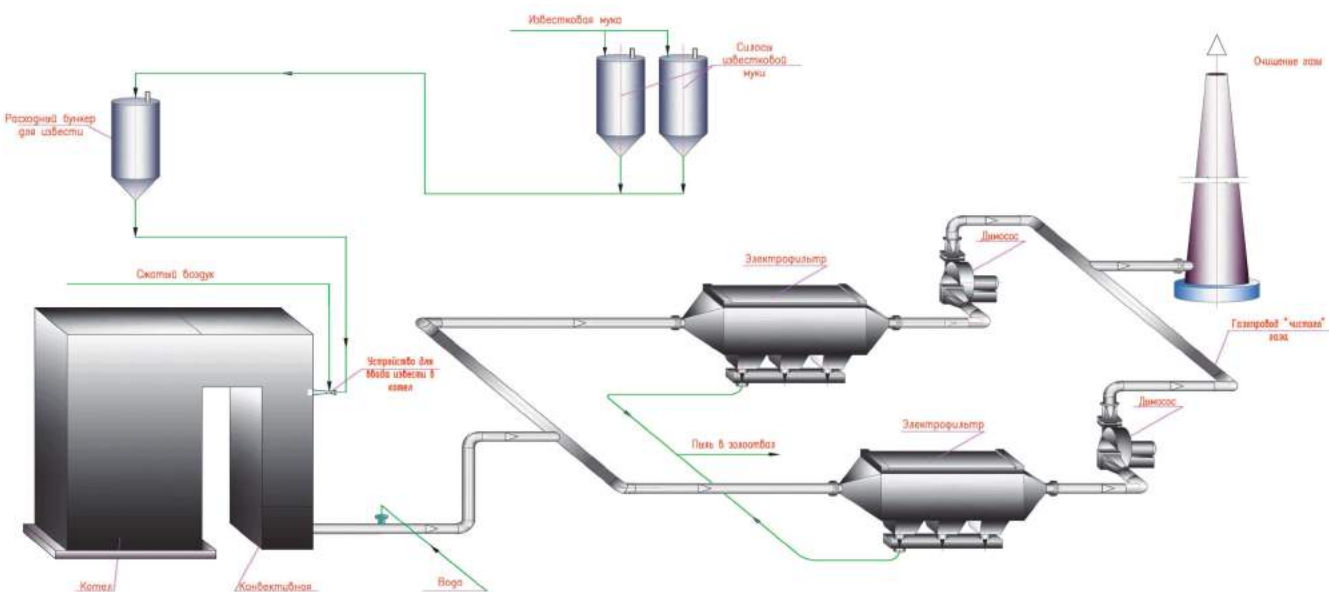


Рисунок 3 – Принципиальная схема очистки газов от оксидов серы («сухой» известковый метод)

4. «Мокрый» способ (рис. 5) десульфурации дымовых газов, как правило, предусматривает предварительную очистку газов от золы и использование в качестве реагента известняковой суспензии – реализуется в полых скрубберах. Эффективность очистки газов от оксидов серы «мокрым» известняковым методом составляет до 98 %. Коэффициент использования известняка в современных установках – 98 %. Шлам, образованный при этом, состоит на 98 % из двухводного сульфата кальция (гипса), который после обезвоживания может непосредственно использоваться в цементной промышленности или для производства товарного гипса и изделий из него.

Это наиболее промышленно освоенный и приемлемый способ очистки от оксидов серы для больших объемов отходящих газов с использованием дешевого природного реагента.

Согласно рекомендациям ЮНЕСКО по лучшим доступным техническим методам повышения эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду в теплоэлектроэнергетике [7], применение «мокрого» известнякового метода для десульфурации газов ТЭС, несмотря на значительные затраты, экономически оправданно и обеспечивает дополнительные возможности по снижению выбросов HF, HCl, мелкодисперсной пыли, ртути, селена.

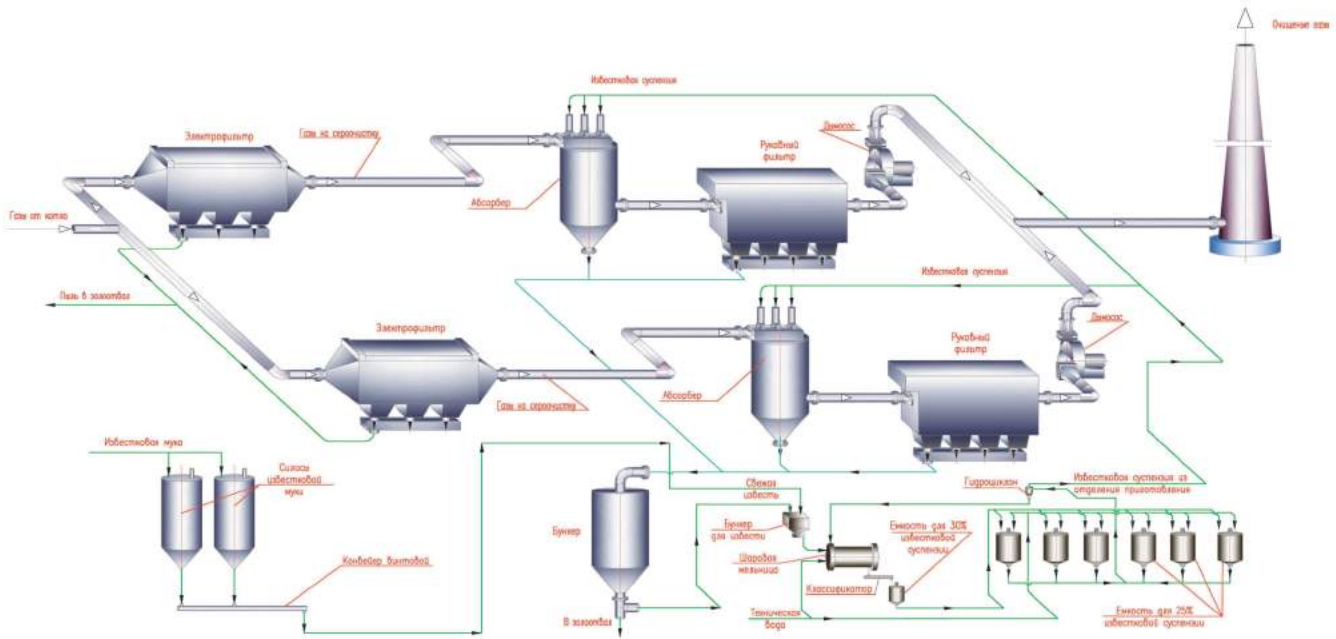


Рисунок 4 – Принципиальная схема очистки газов от оксидов серы («мокро-сухой» метод)

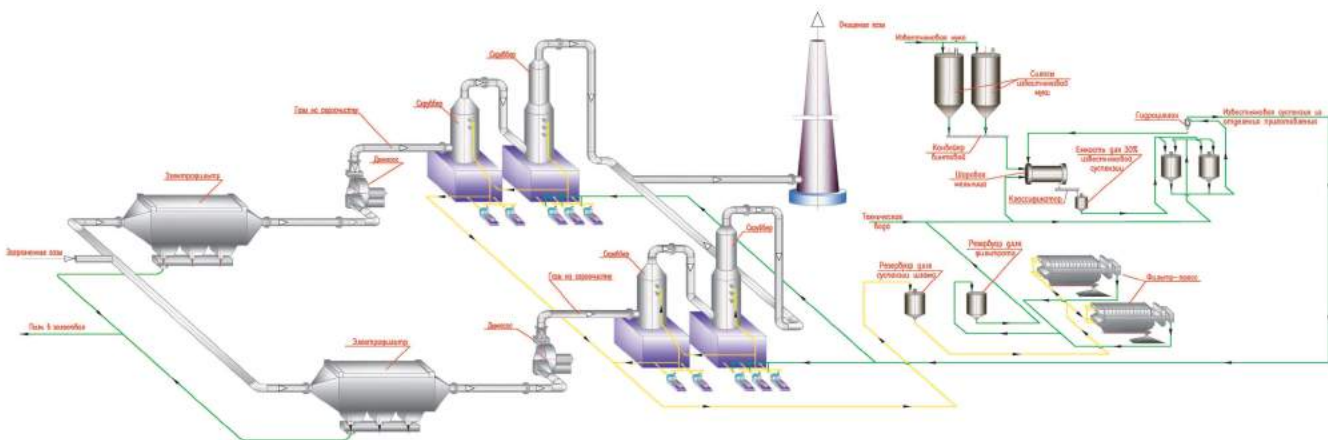


Рисунок 5 – Принципиальная схема очистки газов от оксидов серы («мокрый» метод)

Относительно перспективы широкого внедрения десульфураторных установок следует отметить, что на ТЭС Украины могут быть адаптированы, включая их различные модификации, «мокро-известняковая», «полусухая», «комбинированная (LIFAK)» технологии.

На основе опыта экономически развитых стран, рекомендаций ВАТ-технологий, особенностей национальной топливной базы, а также с учетом единичной мощности котлоагрегатов и прочих местных условий к освоению рекомендованы следующие способы десульфурации газов ТЭС:

- для небольших объемов (для установок мощностью ниже 150 МВт) и концентраций SO_2 до $0,5-0,7 \text{ г/нм}^3$ – «сухие» способы;
- для относительно небольших объемов и концентраций SO_2 до 1 г/нм^3 – «мокро-сухие» способы;

- для больших объемов (для агрегатов с установленной мощностью более 150 МВт) и концентраций SO_2 – более $1,5-2 \text{ г/нм}^3$ – «мокрый» известковый способ.

Около 90 % сероочисток в мире работают с использованием «мокрого» известнякового метода.

В настоящее время Польша ведет реконструкцию своего теплоэнергетического комплекса (срок окончания – 2016 год).

Реконструкция газоочистных сооружений угольных ТЭС в Польше началась в 90-х годах прошлого века с освоения малозатратных способов, основанных на вдувании пылевидного известняка (в зону с температурой $1200 \text{ }^\circ\text{C}$) или извести (в конвективные шахты котла). Эффективность этих методов ограничена – не превышает 40–60 %.

После адаптации польского природоохранного законодательства в области защиты атмосферного воздуха к жестким нормативам стран Евросоюза все национальные комплексы промышленной энергетики ориентированы на достижение к 2016 г. остаточной концентрации по оксидам серы в отходящих газах ТЭС – не более 250 мг/нм³.

Для безусловного выполнения требований нормативов по выбросам SO₂ в атмосферу от стационарных источников и национальных обязательств по сокращению выбросов SO₂, а также руководствуясь задачей оптимизации затрат, в Польше принята стратегия строительства для крупных объектов энергетики общестанционных сероочисток с применением «мокрого» известнякового метода – наиболее отработанного и эффективного метода очистки от SO₂, обеспечивающего максимально полное использование реагента и получение шлама с содержанием двухводного гипса – 98 %. Такой шлам можно утилизировать в цементной промышленности (где используется продукт с содержанием сульфата – не менее 85 %) либо в производстве товарного гипса для изготовления гипсокартона и др.

«Мокрые» общестанционные сероочистки предусматривают предварительное сухое обеспыливание отходящих газов ТЭС преимущественно в электрофильтрах, что

сохраняет для производителей теплоэлектроэнергии возможность коммерческой реализации золы для цементной промышленности и других отраслей.

Так, например, на Змиевской ТЭС сухое золоулавливание за одним из энергоблоков не позволяет удовлетворить сложившийся в регионе спрос на золу. В настоящее время проводятся работы по переводу еще двух блоков на сухое золоудаление с использованием электрофильтров. Если проблему десульфурации дымовых газов Змиевской ТЭС решать с применением «сухих» способов, связанных с вдуванием реагента в котел и улавливанием в электрофильтре продуктов сероулавливания вместе с золой, то ликвидность золы весьма сомнительна.

Эксплуатационные и капитальные затраты сопоставляемых методов очистки газов энергоблоков мощностью 200 МВт с указанием удельных затрат на улавливание 1 т диоксида серы и очистку 1000 нм³ газов приведены в табл. 1.

Первые три метода очистки от SO₂ обеспечивают эффективность порядка 60 % и имеют достаточно ограниченную сферу применения, так как, например, при начальной концентрации SO₂ – 3,5 г/нм³ его остаточная концентрация в отходящих газах составит 1400 мг/нм³, что

Таблица 1 – Техничко-экономические показатели методов очистки газовых выбросов ТЭС от оксидов серы

Показатели	Сопоставляемые методы очистки газов ТЭС				
	«Сухой»		Комбинированный («сухой» + «мокрый»)	«Мокро-сухой» (известняк)	«Мокрый» (известняк)
	известь	известняк			
Мощность энергоблока, МВт	200	200	200	200	200
Объем газов на очистку, тыс. нм ³ /час	920	920	920	920	920
Температура газов на очистку, °С	160	160	160	160	160
Расход потребляемой энергии, тыс. кВт/год	1500	1500	2400	36000	60000
Расход извести, тыс. т/год	30	–	30	33	–
Расход известняка, тыс. т/год	–	54	–	–	36
Расход сжатого воздуха, тыс. нм ³ /год	9000	9000	45150	40000	–
Расход технической воды, тыс. м ³ /год	125	180	1350*	160	190
Расход пара, тыс. т/год	22	30	78	–	100
Амортизационные отчисления, тыс. грн/год	7500	7600	3500	18000	25500
Фонд заработной платы, тыс. грн/год	750	750	968	968	968
Степень очистки от оксидов серы, %	60	60	60	90–93	95–98
Средняя стоимость реагента на тонну уловленного диоксида серы, грн	4250	765	4250	1680	290
Затраты на улавливание одной тонны оксидов серы, грн	5167	1711	5380	4680	3020
Затраты на очистку 1000 нм ³ газа от оксидов серы, грн	11,23	3,74	12,31	14,36	10,71
Стоимость строительства, тыс. грн	66500	67500	47500	245000	350000

* Расход технической воды для комбинированного метода, реализованного на Луганской ТЭС, соответствует проточной воде по схеме «мокрого» золоулавливания



значительно превышает нормативы. Широкому внедрению указанной группы методов очистки препятствуют серьезные эксплуатационные проблемы. Так, например, подача извести в конвективные шахты или известняка в топку может привести к дополнительному зашлаковыванию поверхностей теплообмена и снижению теплопроизводительности основного оборудования.

Следовательно, перечень методов, рекомендуемых к освоению для очистки отходящих газов ТЭС от SO_2 , ограничивается преимущественно вариантами «мокрых» и «мокро-сухих» способов.

На первый взгляд, наиболее затратным методом очистки газов ТЭС от оксидов серы является «мокрый» известняковый: капитальные затраты на строительство комплекса «мокрой» сероочистки в 1,3 раза выше, чем «мокро-сухой». В то же время затраты на очистку 1000 м^3 газа по «мокрому» методу в 1,34 раза ниже, чем по «мокро-сухому». Согласно выполненному расчету, капитальные затраты на установку «мокрой» известняковой сероочистки более высоки по сравнению с «мокро-сухой» установкой десульфурации аналогичной производительности, но компенсируются более низкими эксплуатационными расходами «мокрого» метода.

На выбор методов десульфурации существенное влияние оказывают украинские цены негашеной молотой извести (1650 грн/т) и известняковой муки (167 грн/т).

Результаты технико-экономического анализа подтверждают влияние используемого реагента на эксплуатационные показатели установок десульфурации.

ВЫВОДЫ

Отсутствие стратегии решения экологических проблем предприятий энергетического комплекса приводит к неэффективному использованию средств – разработка указанной стратегии является актуальной и неотложной задачей.

В основу стратегии должны быть положены комплексные меры, включающие реконструкцию и внедрение мощностей с использованием экологически безопасных технологий сжигания низкосортного топлива, процессов десульфурации угля на стадиях приготовления пылеугольного топлива непосредственно в условиях его потребления, оснащение крупных объектов энергетики общестанционными сероочистками с соответствующим перераспределением твердого топлива по потребителям.

Для крупных блочных станций, работающих на низкосортном твердом топливе, в условиях Украины целесо-

образно строительство общестанционных сероочисток на основе «мокрого» известнякового метода, который удовлетворяет экологическим требованиям и реализуется при относительно небольших капитальных и эксплуатационных затратах.

Для старых классических ТЭС необходимо использовать малосернистое топливо и оснащать их десульфурационными установками, работающими по «сухой», «полусухой» и комбинированной технологиям, а также по «мокро-сухому» методу.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Яцкевич, С.В.** Проблемы экологии в энергетике Украины и пути их решения / С.В. Яцкевич, И.И. Ярошевская, Ю.В. Стуц // Первая американско-украинская конференция. Защита атмосферного воздуха от вредных выбросов ТЭС. – К., 1996. – 279 с.
2. **Гусар, Н.А.** Некоторые мероприятия по уменьшению выбросов золы и окислов серы, наиболее целесообразные и возможные для применения в условиях ТЭС Украины / Н.А. Гусар, С.Г. Доманский, Л.П. Яриш, Ф.Е. Гут // Первая американско-украинская конференция. Защита атмосферного воздуха от вредных выбросов ТЭС. – К., 1996. – 279 с.
3. **Белозеров, В.А.** Опыт внедрения установки сероочистки с организацией пневмотранспорта на базе винтовой компрессорной установки / В.А. Белозеров, К.Г. Давидович // Сб. докл. III Междунар. конф. «Пылегазоочистка-2010». – М.: ИНТЕХЭКО, 2010. – С. 43–46.
4. **Дунаев, А.В.** Модернизация системы золоулавливания и опытно-промышленная установка сероочистки Луганской ТЭС / Г.Ф. Ганжа, А.С. Лавошник, Г.И. Амшарина // Экология и промышленность. – 2010. – № 3. – С. 29–32.
5. **Бернер, Г.Я.** Технология очистки газа за рубежом / Г.Я. Бернер. – М.: Новости теплоснабжения, 2006. – 262 с.
6. **Славутский, Б.П.** Состояние и перспективы очистки дымовых газов тепловых электростанций и металлургических заводов от оксидов серы / Б.П. Славутский, В.С. Гурьев, А.С. Лавошник, Е.И. Иксанова // Обзор по системе Информсталь. – М.: Черметинформация, 1987. – Вып. 17 (293). – 40 с.
7. **Справочник по наилучшим доступным техническим методам для повышения эффективности и минимизации негативного воздействия на окружающую среду в теплоэлектроэнергетике.** – М.: Ассоциированный центр ЮНЕСКО по химической науке и образованию, 2008. – 122 с.

Поступила в редакцию 15.04.2012



Показано стан проблеми очищення газових викидів від оксидів сірки в Україні. Надано характеристику перспективних методів очищення. Наведено аналіз досвіду освоєння в енергетиці ЄС різних методів десульфурації газів. На прикладі Польщі розглянуто стратегію будівництва загальностанційних сіркоочисток як ефективного управлінського вирішення проблеми десульфурації відхідних газів ТЕС.

State of the problem related to cleaning gas emissions against sulfur oxides at thermal power stations (TPS) in Ukraine is presented. Characteristic of the promising cleaning methods is given. The experience of mastering various methods of gas desulfurization at EU energy enterprises is analyzed. By the example of Poland the strategy of building station desulfurization plants as an effective management decision of the problem of flue gas desulfurization at TPS is considered.