

ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ**3.4. Кондиционирование и управление качеством золошлаков****3.4.4. Опыт и возможности комплекса технологий компании ST по кондиционированию летучей золы с учетом реализованного проекта на электростанции Яникосода в Польше**

Дж. Биттнер, С. Газиоровски, В. Левандовски, Б. Брукнер, Технический центр ООО "Separation Technologies", Нидхэм, США

АННОТАЦИЯ

Компания Separation Technologies (ST) занимается коммерческой разработкой систем кондиционирования летучей золы с 1995 г. Технология электростатической сепарации, разработанная ST, позволяет снизить содержание углерода в угольной летучей золе, в результате чего образуется зола с низким содержанием углерода, которая может использоваться для замещения части цемента. Из летучей золы с содержанием потерь при прокаливании (п.п.п.) > 25 % получена зола с контролируемым содержанием недожога около $2 \pm 0,5$ %. Выделенный продукт с высоким содержанием недожога используется для повышения коэффициента топливоспользования на ТЭС.

Новый проект компании ST в Польше, который включает в себя переход с мокрого на сухое золоудаление и установку сепаратора STI был успешно реализован в мае 2010 года.

1. ОГРАНИЧЕНИЕ КАЧЕСТВА ЛЕТУЧЕЙ ЗОЛЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МАРОЧНЫХ БЕТОНОВ

Ежегодно из примерно 70 млн т летучей золы пылеугольных ТЭС США около 14 млн т используется для замещения части цемента при производстве бетонов. Большая часть образовавшейся летучей золы не удовлетворяет химическим и физическим требованиям для ее использования при производстве бетонов. Подобная ситуация имеет место также и в Европе. Некоторая часть этой некачественной золы используется в качестве структурного заполнителя или для других менее ценных применений, но большая часть некондиционной золы складывается на золошлакохранилищах (ЗШХ).

Повышенное содержание мехнедожога в летучей золе является характерной проблемой. По требованиям Американской ассоциации дорожного строительства (AASHTO) и Европейского стандарта (EN 450, Категория А) содержание п.п.п. не должно превышать 5 % по массе. Однако, начиная с середины 1990-ых гг., в результате установки оборудования по снижению выбросов NO_x на пылеугольных ТЭС произошло повышение содержания мехнедожога в большей части летучей золы ТЭС, ранее успешно продававшейся. Необходимость выполнения более жестких требований по снижению выбросов NO_x , а также и других выбросов ТЭС, привела к загрязнению летучей золы аммиаком. Вследствие этого, в то

время как росло понимание преимуществ использования летучей золы в бетонах, все меньше образовывалось золы требуемого качества. Поэтому вопросы кондиционирования низкокачественной летучей золы являются предметом повышенного интереса энергетиков и производителей бетонов. Компания STI впервые разработала и внедрила на ТЭС технологии, как для сепарации углерода, так и для удаления аммиака из летучей золы.

2. ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЙ STI**2.1 Fly Ash Carbon Separation**

В углеродном сепараторе ST (рис. 1) сухая зола подается в узкую щель между двумя параллельными плоскими электродами. Частицы золы заряжаются в электростатическом поле. Положительно заряженный углерод и отрицательно заряженные минералы притягиваются к противоположным электродам. Затем частицы подхватываются постоянно движущейся лентой и транспортируются в противоположных направлениях. Лента переносит частицы, находящиеся в непосредственной близости от электрода, к противоположному краю сепаратора. Высокая скорость ленты позволяет добиться очень высокой производительности одного сепаратора – до 40 т/час. Основными свойствами сепаратора ST являются: узкая щель, поле высокого напряжения, противоточное движение, быстрое сталкивание частиц и самоочищение ленты на электродах. Благодаря контролю основных параметров этого процесса (скорость движения ленты, место подачи и расход золы) в процессе ST образуется летучая зола с содержанием п.п.п. < 3,5 % при их содержании в исходной подаваемой летучей золе до 25 %.

Сепаратор конструктивно относительно прост и компактен. Габаритные размеры сепаратора производительностью 36 т/час: длина – 9 м, ширина – 1,5 м и высота – 2,75 м. Единственные подвижные элементы – это лента и передвигающие её ролики. Electroды неподвижны и сделаны из соответствующего твердого материала. Лента сделана из пластичного материала. Сепаратор потребляет около 1 кВт·ч электроэнергии на т золы материала, большая часть потребляемой мощности приходится на два двигателя, приводящие в движение ленту.

Весь процесс происходит при отсутствии воды, не требуется никаких дополнительных материа-

лов, кроме летучей золы, а в его результате не образуются сточные воды и выбросы. Полученные материалы: сухая зола с п.п.п. ниже нормативных требований для ее применения в качестве пуццолановой добавки при производстве бетонов и обогащенная углеродом зола, которая может ис-

пользоваться как топливо на ТЭС. Утилизация обоих образовавшихся продуктов является эффективным решением проблемы обращения с золой пылеугольных ТЭС со 100-% результатом использования.

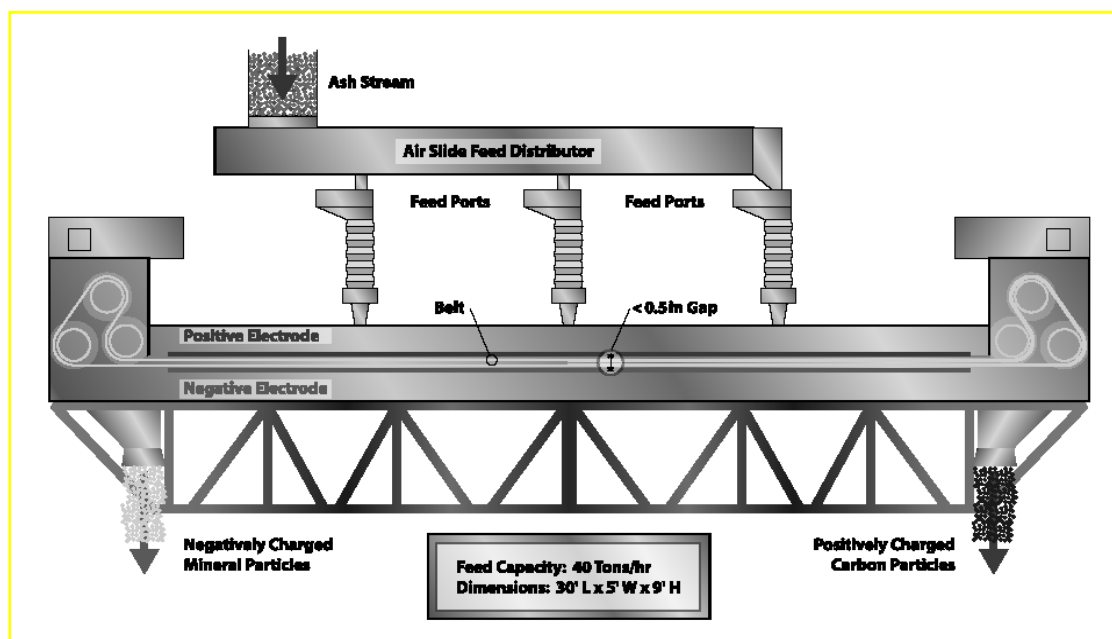


Рис. 1. Сепаратор ST: Ash Stream – исходная зола; Air Slide Feed Distributor – аэрораспределитель, Feed Ports – дозаторы; Belt – транспортерная лента; Positive Electrode – положительно заряженный электрод; Negative Electrode – отрицательно заряженный электрод; Negatively Charged Mineral Particles – отрицательно заряженные минеральные частицы; Positively Charged Carbon Particles – положительно заряженные частицы углерода

2.2. Энергетическая ценность летучей золы с высоким содержанием углерода

Кроме образовавшегося высококачественного товарного продукта с низким содержанием углерода, известного под торговой маркой ProAsh® (зола ProAsh®), который применяется при производстве бетонов, в результате сепарационных процессов ST также выделяется зола с высоким содержанием углерода с торговой маркой EcoTherm™ (зола EcoTherm™). Зола EcoTherm™ имеет значительную энергетическую ценность и может быть легко использована на ТЭС для повышения эффективности топливоиспользования с помощью установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи.

В процессе сжигания золы EcoTherm™ в энергетическом котле энергия сгорания преобразуется в пар высокого давления с высокой температурой, а затем – в электричество при том же КПД, что и при сжигании угля, обычно 35 %. Преобразование полученной тепловой энергии в электрическую происходит в два или три раза интенсивнее, чем при применении альтернативной технологии, в которой полученная энергия представляет собой низкопотенциальное тепло в форме горячей воды, циркулирующей в системе питательной воды котла. Зола EcoTherm™ также используется и как источник алюминия в цементных печах, вытесняя более дорогостоящие бокситы, транспортируемые

обычно издалека. Применение золы EcoTherm™ на ТЭС или в цементных печах позволяет повысить коэффициент топливоиспользования, снижая потребность в добыче и транспортировании дополнительного количества топлива на установку.

Установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи используются на ТЭС Constellation Power Source Generation Brandon Shores, SMEPA R.D. Morrow, NBP Belledune, RWEnpower Didcot, EDF Energy West Burton и RWEnpower Aberthaw. В последнем реализованном в Польше проекте STI по выделению мехнедожога из золы предусмотрено использование установки возврата золы EcoTherm™. Основные компоненты такой системы представлены на рис.2. В этой установке зола EcoTherm™ по ленте транспортируется в сухом виде в промежуточный бункер с фильтром очистки транспортирующего воздуха. Для предотвращения пыления в установке добавляется около 7...10 % влаги в высокоскоростной смеситель до подачи угля на транспортер, т.к. уголь транспортируется на мельницы.

2.3. Процесс ST по выделению аммиака

На ТЭС расширяется использование аммиака для снижения выбросов NO_x и SO₃. Содержание NO_x в уходящих газах снижается за счет их реакции с аммиаком при определенных условиях в системах селективного каталитического восста-

новления (СКВ) или селективного некаталитического восстановления (СНКВ). Технологией СКВ и СНКВ предусмотрен некоторый избыток аммиака для эффективного управления выбросами NO_x . Для снижения выбросов SO_3 аммиак впрыскивается в уходящие газы непосредственно перед электрофильтром, что приводит к отложению сульфатов аммиака на летучей золе. Таким образом, в результате работы оборудования по

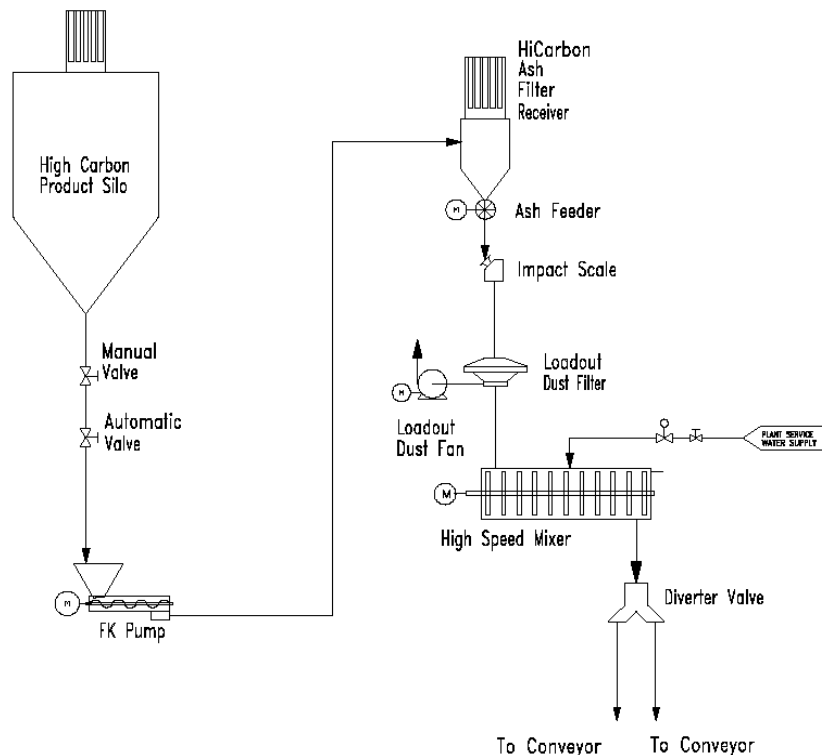


Рис. 2. Установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподдачи ТЭС: High Carbon Product Silo – бункер приема золы EcoTherm™ из установки выделения мехнедожога ST; Manual Valve – задвижка с ручным приводом; Automatic Valve – клапан с автоматическим приводом; FK Pump – насос Фуллер-Киньон; HiCarbon Ash Filter Receiver – промежуточный бункер золы с фильтром очистки транспортирующего воздуха; Ash Feeder – дозатор золы; Impact Scale – импульсные весы; Loadout Dust Filter – узел отделения золы от воздуха; Loadout Dust Fan – вентилятор отсоса обеспыленного воздуха; Plant Service Water Supply – устройство дозированной подачи воды; High Speed Mixer – высокоскоростной смеситель; Diverter Valve – клапан-переключатель; To Conveyor – трубопровод к конвейеру топливоподдачи.

Для выделения аммиака из летучей золы в газообразном виде в процессах ST используется та же самая химическая реакция, которая приводит к выделению аммиака в бетонах. Для выделения аммиака из летучей золы необходимо, чтобы равновесие ионов аммиака ↔ молекулярного аммиака было сдвинуто в пользу молекулярного аммиака при добавлении щелочи. Летучей золе с высокой щелочностью не нужна дополнительная щелочь. Для менее щелочной золы понадобится любая сильная щелочь. Самым дешевым источником щелочи является известь. Химическая реакция солей аммиака с известью с выделением аммиака является наиболее благоприятной вследствие химического равновесия и протекает достаточно быстро. Схема установки выделения аммиака ST представлена на рис. 3. В смеситель подается зола, вода и известь в установленных пропорциях. Для обеспечения быстрого смешивания и равномерного распределения воды и щелочи использу-

с снижению выбросов NO_x и SO_3 с дымовыми газами в электрофильтрах ТЭС происходит улавливание летучей золы с отложениями избыточного аммиака. Применение золы, содержащей аммиак, не приводит к ухудшению характеристик бетона при ее смешивании со щелочным цементом при его производстве. Однако, аммиак, испаряясь при затворении бетонов, является потенциально опасным для производственного персонала.

ется высокоинтенсивный смеситель. Дополнительно используется низкоскоростной шнековый смеситель для обеспечения хорошего контакта золы с воздухом для выделения аммиака из массы золы. Так как влажность золы очень низкая, то материал проходит через этот смеситель как хорошо перемешанный сухой порошок. Испарившийся аммиак из обоих смесителей возвращается в газодход энергоблока.

После выделения аммиака зола подвергается сушке, проходя через сушилку с обдувом горячим воздухом. Окончательная температура золы составляет около 65°C , что приводит к образованию легкосыпучей сухой летучей золы.

В процессе предусматривается очищение всего количества золы. Очищенная от аммиака зола отвечает всем требованиям для производства бетона. Технология выделения аммиака фирмы ST может применяться отдельно или вместе с технологией выделения мехнедожога. Комплексный

подход ST является самым дешевым решением очистки от мехнедожога и аммиака летучей золы, которая иначе была бы непригодна для экономически эффективного использования. Производительность промышленной установки составляет около 47 т/час загрязненной аммиаком золы. Со-

держание аммиака в очищенной золе не превышает 75 мг/кг. Промышленные установки выделения аммиака ST в настоящее время работают в системах золоудаления ТЭС Jacksonville Electric Authority SJRPP, TEC Big Bend и RWE Power Aberthaw.

ST Ammonia Removal Process

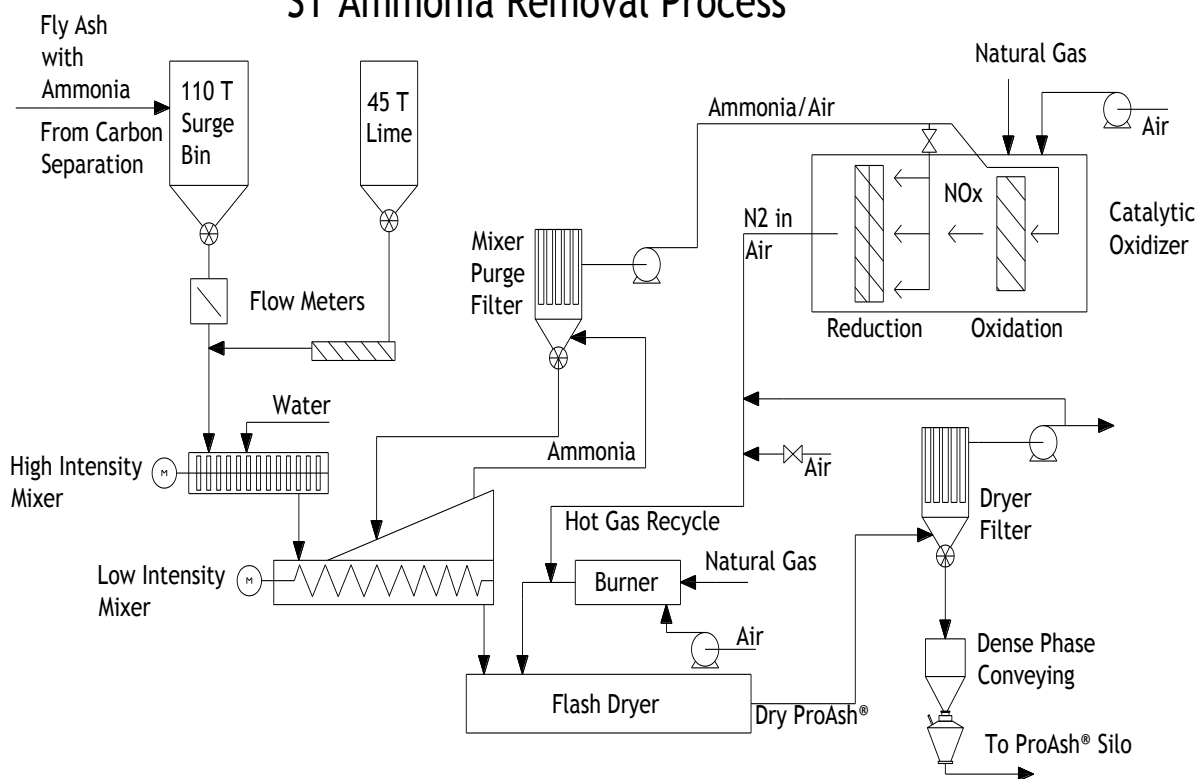


Рис. 3: Установка выделения аммиака ST: Fly Ash with Ammonia – летучая зола с аммиаком после установки по выделению мехнедожога ST; Lime – известь; Surge Bin – промежуточный бункер; Flow Meters – расходомер; Water – вода; High Intensity Mixer – высокоинтенсивный смеситель; Low Intensity Mixer – низкоскоростной смеситель; Mixer Purge Filter – продувочный фильтр; Natural Gas – природный газ; Reduction – восстановление; Oxidation – окисление; Catalytic Oxidizer – каталитический окислитель; Hot Gas Recycle – рециркуляция горячих паров; Burner – горелка; Air – воздух; Flash Dryer – сушилка; Dry ProAsh – сухая летучая зола; Dryer Filter – фильтр-сушилка; Dense Phase Conveying – транспортирование в плотной фазе.

3. ОБОРУДОВАНИЕ ФИРМЫ ST ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗОЛЫ

Зола с контролируемым низким содержанием мехнедожога производится с помощью технологии ST на 11 ТЭС США, Канады, Великобритании и Польши. Переработанная зола продается на рынках этих стран под торговой маркой ProAsh®. Зола ProAsh® была допущена к применению более чем 20 американскими дорожными управлениями, а также многими другими агентствами, разрабатывающими стандарты. Зола ProAsh® также прошла сертификацию в Канадской ассоциации по разработке стандартов и удовлетворяет требованиям качества Европейского стандарта EN 450:2005. Список оборудования компании ST для переработки золы представлен в табл.

В 2008 г. компания ST сдала в эксплуатацию крупнейшую установку по кондиционированию золы в США на электростанции Tampa Electric Company Big Bend Station во Флориде. Для производства золы ProAsh® установлены два сепаратора ST. Первый в своем роде сепаратор №3 ис-

пользуется для дальнейшего повышения концентрации углерода в золе EcoTherm™ в целях достижения максимального повышения ее энергетической ценности и увеличения количества золы ProAsh®. Установка Big Bend, на которой производится 260 тыс. т золы ProAsh® в год, включает в себя хранилище золы вместимостью 25 тыс. т, силосный склад золы ProAsh® вместимостью 10 тыс. т и силосный склад золы EcoTherm™ вместимостью 6,5 тыс. т.

3.1. Проект ZGP в Польше

В апреле 2010 г. впервые в континентальной Европе введен в эксплуатацию сепаратор компании ST на границе ТЭЦ химического комбината Ciech Яникосода и ТЭЦ Инвороцлава (Польша). Эта установка для переработки золы, разработанная совместно с компанией ST, является собственностью и эксплуатируется компанией Zaklad Gospodarki Popiolami (ZGP) - совместное предприятие польского филиала компании Лафарж и компании Ciech. На ТЭЦ производится около 180 тыс. т летучей золы в год, которая транспортиру-

ется системой гидрозолоудаления на гидрозолоотвал, находящийся на расстоянии 2 км от электростанции.

Установка была построена на границе ТЭЦ. В проекте предусмотрены: замена систем ГЗУ на систему ПЗУ от пяти котлов, установка сепаратора ST, силосных хранилищ исходной золы, продуктов ProAsh® и EcoTherm™, монтаж установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС для повышения эффективности топливоиспользования, а также строительство вспомогательных зданий, компрессоров и новых дорог. Кроме того, предусмотрены мероприятия по приему на переработку золы с повышенным со-

держанием углерода, доставляемой автоцементовозами с расположенной вблизи от Иновроцлава ТЭС Матви, являющейся собственностью холдинга Ciech. Схема установки комплексного кондиционирования золы ТЭЦ в ZGP представлена на рис. 4, а ситуационный план - на рис.5. Поскольку зола ProAsh® с низким содержанием механического остатка удовлетворяет требованиям стандарта EN450:2005, то она используется для производства цемента на ближайшем цементном заводе группы компаний Лафарж. На территории цементного завода построен силос для хранения сухой золы вместимостью 30 тыс. т.

ZGP PROCESS FLOW DIAGRAM

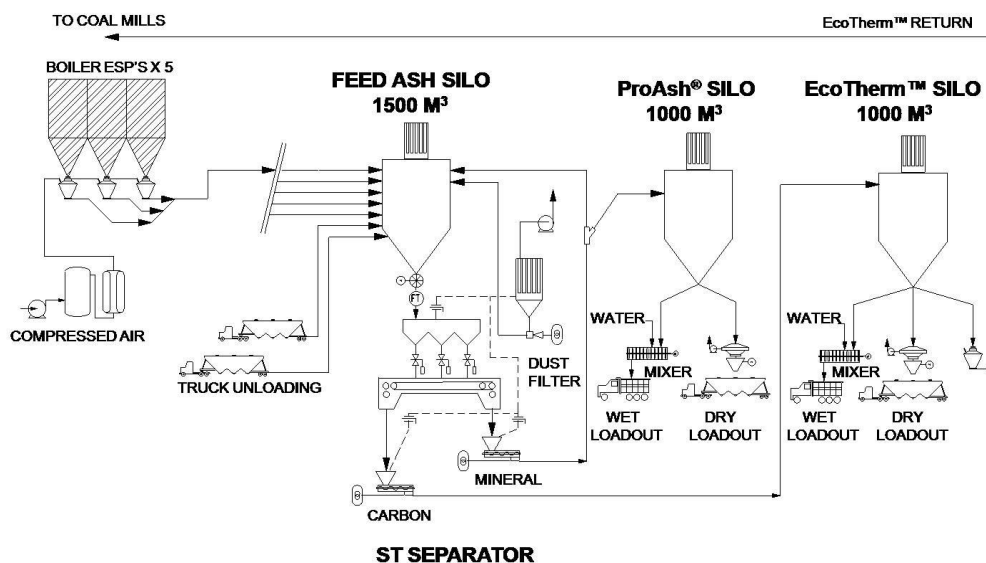


Рис. 4. Схема установки комплексного кондиционирования золы ТЭС в ZGP: Boiler ESP'S x 5 – электрофильтры (5 шт.); Compressed Air – сжатый воздух; Truck Unloading - разгрузка грузовиков; Feed Ash Silo – бункер исходной золы; ProAsh Silo – бункер ProAsh; EcoTherm™ Silo – бункер EcoTherm; Carbon – углерод; Mineral – минеральная часть; Dust Filter – пылевой фильтр; Water – вода; Wet Loadout – мокрая погрузка; Dry Loadout – сухая погрузка; Mixer – смеситель

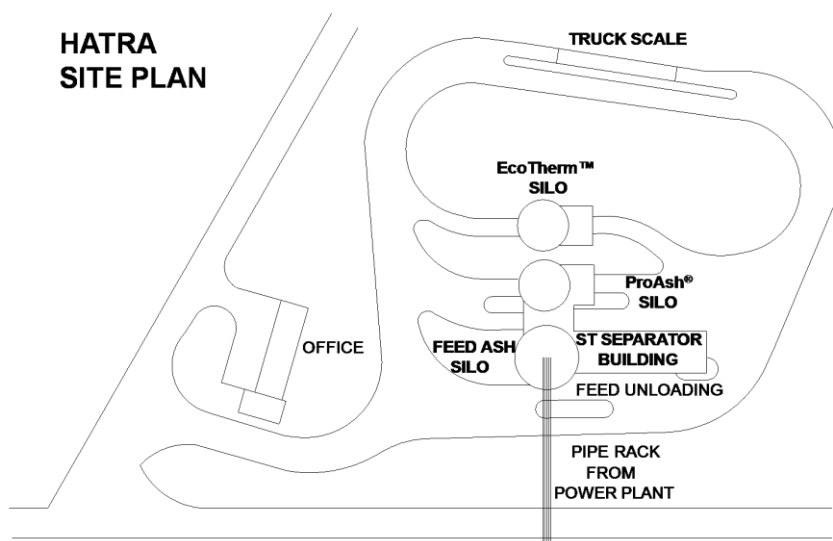


Рис. 5. Ситуационный план ТЭС Hatra: Office – офис; Truck Scale – весовая; EcoTherm™ Silo – силос EcoTherm™; ProAsh® Silo – силос ProAsh®; Feed Ash Silo – силос исходной золы; ST Separator Building – помещение сепаратора ST; Feed Unloading – приемный узел исходной золы; Pipe Rack From Power Plant – трубная эстакада от ТЭС.



Рис. 6. Установка ST по кондиционированию летучей золы компании ZGP

3.2. Основные характеристики проекта

Производительность установки:	180 тыс. т/год
П.п.п.	8 %
Число часов работы	8000 час/год
ProAsh®	п.п.п. 4 %
EcoTherm™	п.п.п. 30 % мин.
Ежегодно на ТЭЦ дожигается	24 тыс. т
EcoTherm™; оставшаяся часть используется цементным заводом	
Штат	15 чел

Состав проекта:

1. Переход от ГЗУ;
 2. Поставка и монтаж новой системы ПЗУ с транспортом потока в плотной фазе;
 3. Поставка и монтаж компрессоров;
 4. Строительство установки сепарации золы
- Силосы: вместимость исходной золы – 1200 т, ProAsh® - 1000 т, EcoTherm™- 1000 т.
5. Строительство дорог и инфраструктуры

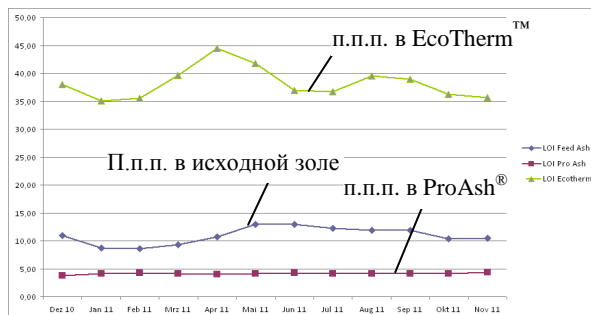
Запуск проекта - май 2010 г. Проект реализован в рамках запланированного бюджета и в соответствии с графиком.

3.3. Характеристики установки в 2011 г.

На основании положительного опыта эксплуатации, полученного во время пусковых операций и в 2010 г., руководство компании ZGP решило перерабатывать дополнительное количество золы других ТЭС, которая не отвечает требованиям стандарта EN 450 по недожогу. П.п.п. в исходной золе составляли от 8 до 20 %. В этой связи объем золы, переработанной на установке компании ZGP, возрос в 2011 г. до 220 тыс. т.

Краткие результаты работы установки в 2011 г:

Объем переработанной золы: 220 тыс. т, в том числе – с других ТЭС – 30 тыс. т
 Средний показатель п.п.п. в исходной золе: около 10 %
 Время работы установки: 8200 часов
 Средняя величина п.п.п. в продуктах:
 п.п.п. в ProAsh® 4 %
 п.п.п. в EcoTherm™ около 40 %



П.п.п. в исходной золе, ProAsh® и EcoTherm™ в 2011 г.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате реализованного проекта установка переработки золы по технологии Separation Technologies полностью отпала необходимость в складировании золы на золоотвалах электростанций Матви и Яниково.

Отвальная летучая зола, которая негативно воздействовала на окружающую среду много лет и складировалась с очень высокой стоимостью вне территории промплощадки электростанции, стала товарным продуктом под названием ProAsh®. Сейчас ProAsh® полностью используется в цементной промышленности в соответствии с требованиями стандарта EN-450.

Ecotherm™ в настоящее время используется в качестве топлива на электростанции и на цементном заводе, что позволяет снижать количество сжигаемого угля на ТЭС, и, следовательно, приводит к повышению КПД котлов.

В результате осуществления проекта были достигнуты как финансовые, так и экологические цели. При работе установки были выявлены обширные технологические возможности, с точки зрения качества, количества и переработки материала, она продемонстрировала высокую надежность.

Максимальное использование золы взамен цемента при производстве бетона позволяет значительно снизить выбросы углекислого газа, образующегося при его производстве. Во избежание потерь этого ценного ресурса, используемого при производстве бетона, а также для снижения выбросов парниковых газов, связанных с его производством, необходимо улучшать качество летучей золы экономически и экологически возможными способами.

Кондиционирование летучей золы по технологии компании Separation Technologies позволяет и далее увеличить отгрузку этого важного материала. Технологии кондиционирования угольной золы ST являются наиболее активно внедряемыми эффективными методами повышения качества летучей золы, которая в противном случае не была бы использована для замещения цемента при производстве бетонов в качестве высокоценного материала. Установлено 18 сепараторов ST, общий срок эксплуатации которых составляет свыше 100 лет.

Продукт ProAsh® стал очень популярным в бетонной промышленности как первоклассная летучая зола, требующая гораздо меньшего контроля ее качества в связи с соблюдением на ТЭС требований по загрязнению воздуха.

Выделение золы с высоким содержанием углерода и ее концентрирование в установках ST позволяет получать золу EcoTherm™ с калорийностью близкой к калорийности исходного угля.

Компания ST предлагает комплекс экономически эффективных технологий для получения золы улучшенного качества, которая иначе скла-

дировалась бы в отвал. Технологии электростатической сепарации углерода, возврата углерода в котел и выделения аммиака позволяют комплексно решать вопрос эффективного использования летучей золы и охраны окружающей среды в энергетике. Эти три технологии могут применяться по отдельности или совместно в одном проекте. В таблице представлены краткие сведения об итогах внедрения и промышленного использования установок ST по кондиционированию свойств золы энергетике.

Таблица. Промышленная эксплуатация установок ST по кондиционированию свойств золы энергетики

Предприятие/электростанция	Месторасположение	Начало промышленной эксплуатации	Краткая информация об оборудовании
Progress Energy – Roxboro Station	Северная Каролина, США	сентябрь 1997	2 сепаратора
Constellation Power Source Generation-Brandon Shores Station	Мэриленд, США	апрель 1999	2 сепаратора, резервуар 35 тыс. т, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
ScotAsh (LaFarge / Scottish Power Joint Venture) - Longannet Station	Шотландия	октябрь 2002	1 сепаратор
Jacksonville Electric Authority - St. John's River Power Park, Флорида	Флорида, США	май 2003	2 сепаратора, смесь уголь/нефтяной кокс, выделение аммиака
South Mississippi Electric Power Authority R.D. Morrow Station	Миссисипи, США	январь 2005	1 сепаратор, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
New Brunswick Power Company, Belledune Station	Нью-Брунсуик, Канада	апрель 2005	1 сепаратор, смесь уголь/нефтяной кокс, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
RWE npower, Didcot Station	Великобритания	август 2005	1 сепаратор, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
PPL Brunner Island Station	Пенсильвания, США	декабрь 2006	2 сепаратора, резервуар 40 тыс. т
Tampa Electric Co., Big Bend Station	Флорида, США	апрель 2008	3 сепаратора, двойное прохождение через сепаратор, резервуар 25 тыс. т, выделение аммиака
RWE npower, Aberthaw Station (Lafarge Cement UK)	Уэльс, Великобритания	сентябрь 2008	1 сепаратор, выделение аммиака, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
EDF Energy West Burton Station (Lafarge Cement UK, Cemex)	Англия, Великобритания	октябрь 2008	1 сепаратор, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
ZGP (Lafarge Cement Poland / Ciech Janikosoda JV)	Польша	май 2010 г. 2011 г.	1 сепаратор, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС
Анонимный заказчик	Европа	2011	1 сепаратор
Анонимный заказчик	Канада	2011	1 сепаратор
Анонимный заказчик	Европа	2013	1 сепаратор

Дж. Биттнер, С. Газировски, В. Левандовски Б. Брукнер. Опыт и возможности комплекса технологий компании ST по кондиционированию летучей золы с учетом реализованного проекта на электростанции Яникосода в Польше. Материалы IV научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 19–20 апреля 2012 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2012. С. 71 – 77.