

**ОБРАЩЕНИЕ С ЗОЛОШЛАКАМИ****3.4. Кондиционирование и управление качеством золошлаков****3.4.4. 15 лет коммерческого опыта Separation Technologies по кондиционированию летучей золы**

*Дж. Д. Биттнер, С. А. Газиоровски, В. Левандовски, Separation Technologies, США*

**АННОТАЦИЯ**

Компания Separation Technologies (STI) занимается коммерческой разработкой систем кондиционирования летучей золы с 1995 г. Технология электростатической сепарации, разработанная STI, позволяет снизить содержание углерода в угольной летучей золе, в результате чего образуется однородная 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 топливоиспользования на ТЭС.

В последнем проекте компании STI в Польше, в котором предусмотрен переход от системы гидрозолоудаления (ГЗУ) на систему пневмозолоудаления (ПЗУ), углеродный сепаратор ST успешно введен в эксплуатацию в мае 2010 г.

**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  $\text{NO}_x$  на пылеугольных ТЭС произошло повышение содержания мехнедожога в большей части летучей золы ТЭС, ранее успешно продававшейся. Необходимость выполнения более жестких требований по снижению выбросов  $\text{NO}_x$ , 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 ле-

тучей 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 Выделение углерода из летучей золы**

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 36 т/час. Основными свойствами сепаратора ST являются: узкая щель, поле высокого напряжения, противоточное движение, быстрое сталкивание частиц и самоочистка ленты на электродах. Благодаря контролю основных параметров этого процесса, таких как скорость движения ленты, место подачи и расход золы, в процессе ST образуется летучая зола с содержанием п.п.п. < 3,5 % при содержании мехнедожога в исходной подаваемой летучей золе от 4% 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. Электроды неподвижны и сделаны из соответствующего твердого материала. Лента сделана из пластичного материала. Сепаратор потребляет около 1 кВт·ч электроэнергии на тонну материала, большая часть потребляемой мощности приходится на два двигателя, приводящие в движение ленту.

Весь процесс происходит при отсутствии воды, не требуется никаких дополнительных материалов, 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 использоваться как топливо на ТЭС. Утилизация обоих образовавшихся продуктов является эффективным решением про-

блемы обращения с золой пылеугольных ТЭС со 100-% результатом использования.

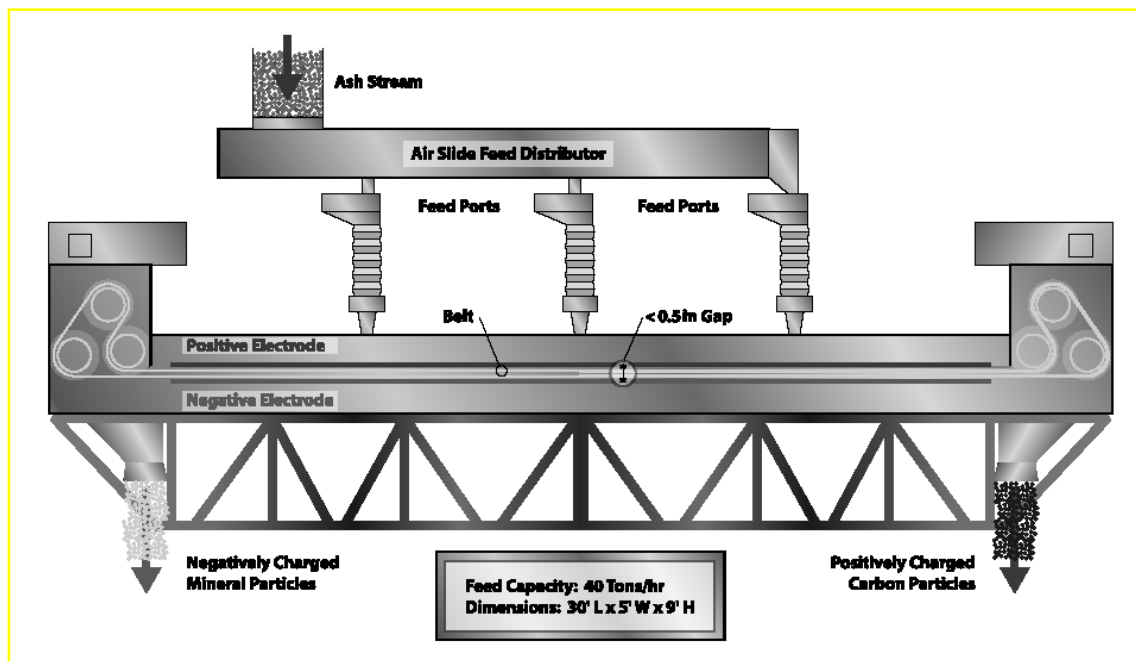


Рис. 1. Сепаратор ST: Ash Stream – исходная зола; Air Slide Feed Distributor – аэрораспределитель, Feed Ports – дозаторы; Belt – транспортная лента; Positive Electrode – положительно заряженный электрод; Negative Electrode – отрицательно заряженный электрод; Negatively Charged Mineral Particles – отрицательно 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 топливопотребления с помощью установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи. При сжигании золы EcoTherm™ в котле полученная энергия преобразуется в пар высокого давления и высокой температурой, а тот преобразуется в электроэнергию с той же эффективностью, что и при сжигании угля, обычно равной 35%. Преобразование полученной тепловой энергии в электроэнергию в системе возврата золы EcoTherm™ происходит в 2...3 раза быстрее, чем в технологии, где энергия образуется из низкопотенциального тепла в виде горячей воды, которая циркулируется в системе подачи питательной воды в котле. Зола EcoTherm™ также используется и как источник алюминия в цементных печах, вытесняя более дорогостоящие бокситы, транспортируемые обычно издалека. Использование высокоуглеродистой золы EcoTherm™ на ТЭС или в цементных печах позволяет максимально повысить коэффициент топливоиспользования, снижая потребность добычи угля и транспорта дополнительного количества топлива на ТЭС.

Установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи (рис.2) используются на ТЭС Constellation Power Source Generation Brandon Shores, SMEPA R.D. Morrow, NBP Belledune, RWEnpower Didcot, EDF Energy West Burton и RWEnpower Aberthaw. Последняя установка углеродного сепаратора STI в Польше также включает систему возврата золы EcoTherm™.

## 2.3. Процесс выделения аммиака компании ST

На ТЭС расширяется использование аммиака для снижения выбросов NO<sub>x</sub> и SO<sub>3</sub>. Содержание NO<sub>x</sub> в уходящих газах снижается за счет их реакции с аммиаком при определенных условиях в системах селективного каталитического восстановления (СКВ) или селективного некаталитического восстановления (СНКВ). Технологией СКВ и СНКВ предусмотрен некоторый избыток аммиака для эффективного управления выбросами NO<sub>x</sub>. Таким образом, в результате работы оборудования по снижению выбросов NO<sub>x</sub> и SO<sub>3</sub> с дымовыми газами в электрофильтрах ТЭС происходит улавливание летучей золы с отложениями избыточного аммиака. Для снижения выбросов SO<sub>3</sub> аммиак впрыскивается в уходящие газы непосредственно перед электрофильтром, что приводит к отложению сульфатов аммиака на летучей золе. 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.

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 щелоч-

ностью 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.

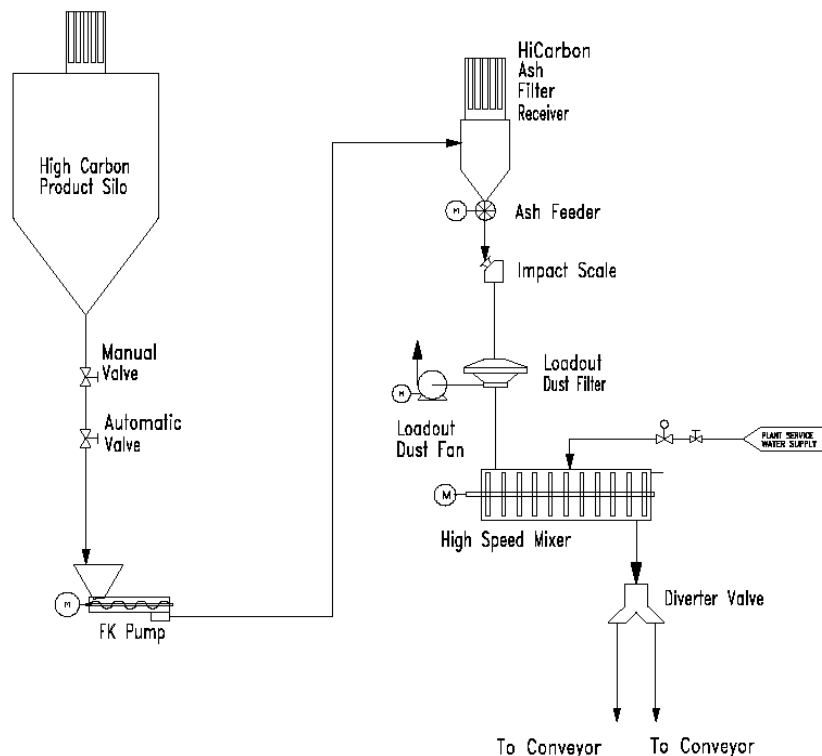


Рис. 2. Установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподдачи ТЭС: High Carbon Product Silo – бункер приема золы EcoTherm™ из установки выделения мехнедожога ST; Manual Valve – задвижка с ручным приводом; Automatic Valve – клапан с автоматическим приводом; FK Pump – насос Фулдер-Киньон; HiCarbon 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.

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 используется 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 газоход энергоблока.

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

От аммиака очищается 100% золы, которая 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 установки составляет до 47 т/час загрязненной аммиаком золы. Содержание аммиака в очищенной золе не превышает 75 мг/кг. Промышленные установки выделения аммиака ST в настоящее время работают в системах золоудаления электростанций Jacksonville Electric Authority SJRPP, TEC Big Bend и RWE Power Aberthaw.

### 3. ОБОРУДОВАНИЕ ФИРМЫ ST ДЛЯ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ЗОЛЫ

Зола с контролируемым низким содержанием мехнедожога производится с помощью технологии ST на 11 ТЭС США, Канады и Великобритании. 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. 1.

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 используется 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.

## ST Ammonia Removal Process

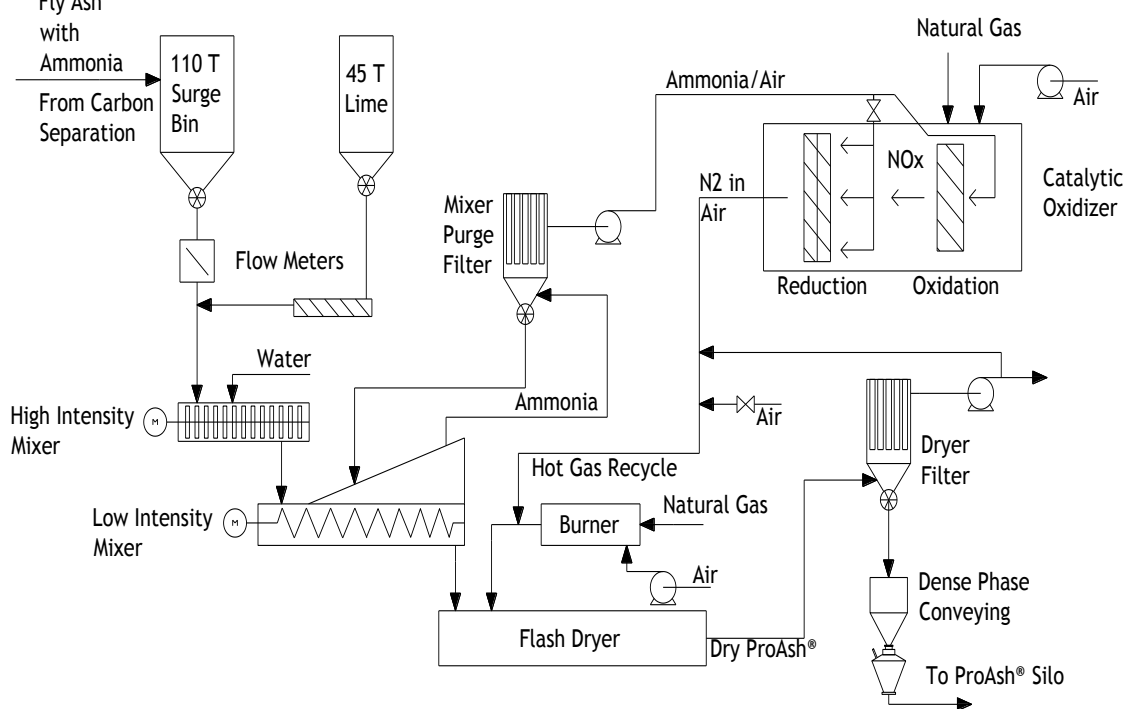


Рис. 3: Установка выделения аммиака ST: Fly Ash with Ammonia – летучая зола с аммиаком после установки по выделению мехнодожога ST; Lime – известь; Surge Bin – промежуточный бункер; Flow Meters – расходомер; Water – вода; High Intensity Mixer – высокоинтенсивный смеситель; Low Intensity Mixer – низкоскоростной 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.

### 3.1 Проект по цементу ZGP в Польше

В апреле 2010 г. впервые в Европе введен в эксплуатацию сепаратор компании ST на ТЭС химического комбината Ciech Janikosoda вблизи Иновроцлава (Польша). Эта установка для переработки золы, разработанная совместно с компанией ST, будет собственностью компании Zaklad Gospodarki Papirolami (ZGP) и будет ею же и эксплуатироваться, являясь совместным предприятием польского филиала компании Лафарж и компании Ciech. Сегодня на ТЭС Janikosoda производится около 180 тыс. т летучей золы в год, которая транспортируется системой гидрозолоудаления на гидрозолоотвал, находящийся на расстоянии 2 км от электростанции.

В проекте предусмотрены: замена систем ГЗУ на систему ПЗУ от пяти котлов, установка сепаратора

ST, силосных хранилищ исходной золы, продуктов ProAsh® и EcoTherm™, а также монтаж установки возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподдачи ТЭС. Поскольку перерабатываться также будет исходная зола с ближайшей ТЭС Matwy, являющейся собственностью Ciech, предусмотрены мероприятия по ее приему из автоцементовозов. Схема установки комплексного кондиционирования золы ТЭС в ZGP представлена на рис. 4, а общий вид установки - на рис.5. Поскольку зола ProAsh® с низким содержанием мехнодожога будет удовлетворять требованиям стандарта EN450:2005, то она будет использована для производства цемента на ближайшем цементном заводе группы компаний Лафарж.

## ZGP PROCESS FLOW DIAGRAM

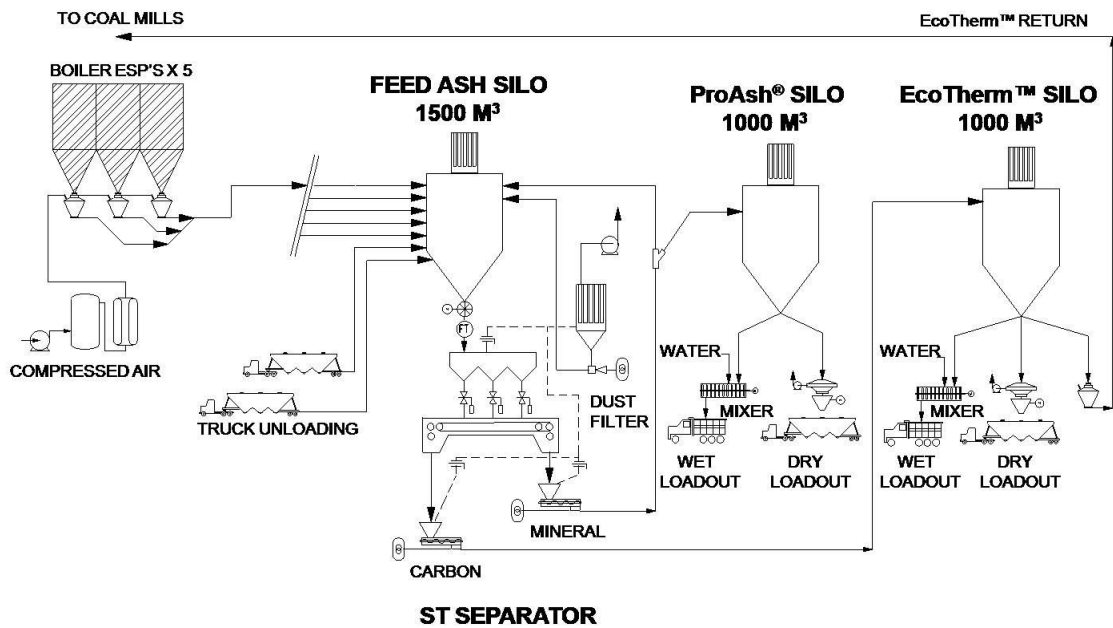


Рис. 4. Схема установки комплексного кондиционирования золы ТЭС в ZGP: Boiler ESP'S x 5 – электрофильтры (5 шт.); Compressed Air – сжатый воздух; Truck Unloading – разгрузка грузовиков; Feed Ash Silo – бункер исходной золы; ProAsh Silo – бункер ProAsh; EcoTherm™ Silo – бункер EcoTherm; Carbon – углерод;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



Рис.5. Общий вид установки ZGP

#### 4. РЕЗЮМЕ

Максимальное повышение уровня использования летучей золы в качестве замещения цемента при производстве бетона позволяет существенно снизить выбросы парниковых газов, имеющих место при производстве строительных материалов. Однако, использование систем контроля загрязнения, применяемых на пылеугольных ТЭС, привело к снижению количества летучей золы, удовлетворяющей требованиям при производстве марочных бетонов. Предполагается, что дальнейшее ухудшение качества летучей золы будет обусловлено дальнейшим снижением разрешенных газообразных выбросов. Во избежание потерь этого ценного ресурс-

ного материала для производства бетона, а также снижение выбросов парниковых газов, связанных с производством бетона, необходимо повышать качество летучей золы экономически и экологически целесообразными 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 17 сепараторов ST, общий срок эксплуатации которых составляет свыше 70 лет.

Продукт ProAsh® стал очень популярным в бетонной промышленности как первоклассная летучая зола, требующая гораздо меньшего контроля за ее качеством 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 угля. Компания ST также установила три системы выделения аммиака из золы на ТЭС. Дополнительно применяя процесс выделения аммиака, ST предлагает экономические средства для использования золы улучшенного качества, которая иначе складировалась бы в отвал. Электростатическая сепарация углерода, возврат углерода в топливоподачу ТЭС и выделение аммиака позволяют комплексно решать вопрос эффектив-

ного использования летучей золы. Эти три технологии могут применяться по отдельности или совместно в одном проекте.

Таблица 1. **Коммерческая деятельность фирмы ST**

Коммерческая эксплуатация ST			
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 Soda JV)	Польша	апрель 2010 запуск в 2011	1 сепаратор, установка возврата золы EcoTherm™ в систему топливоподачи ТЭС

**Дж. Д. Биттнер, С. А. Газировски, В. Левандовски.** 15 лет коммерческого опыта Separation Technologies по кондиционированию летучей золы. Материалы III научно-практического семинара «Золошлаки ТЭС: удаление, транспорт, переработка, складирование», Москва, 22–23 апреля 2010 г. — М.: Издательский дом МЭИ, 2010. С. 110 – 116.