

СИСТЕМЫ *DALSICA*TM ГАЗИФИЦИРУЮТ ЗОЛУ УГОЛЬНЫХ ТЭС. ПРОДУКЦИЯ – ЭНЕРГОНОСИТЕЛИ, ВЯЖУЩИЕ ДЛЯ СТРОЙИНДУСТРИИ И СОРБЕНТЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВ УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ, МЕТАЛЛУРГИИ, ЖКХ

В.Н. Долгополов

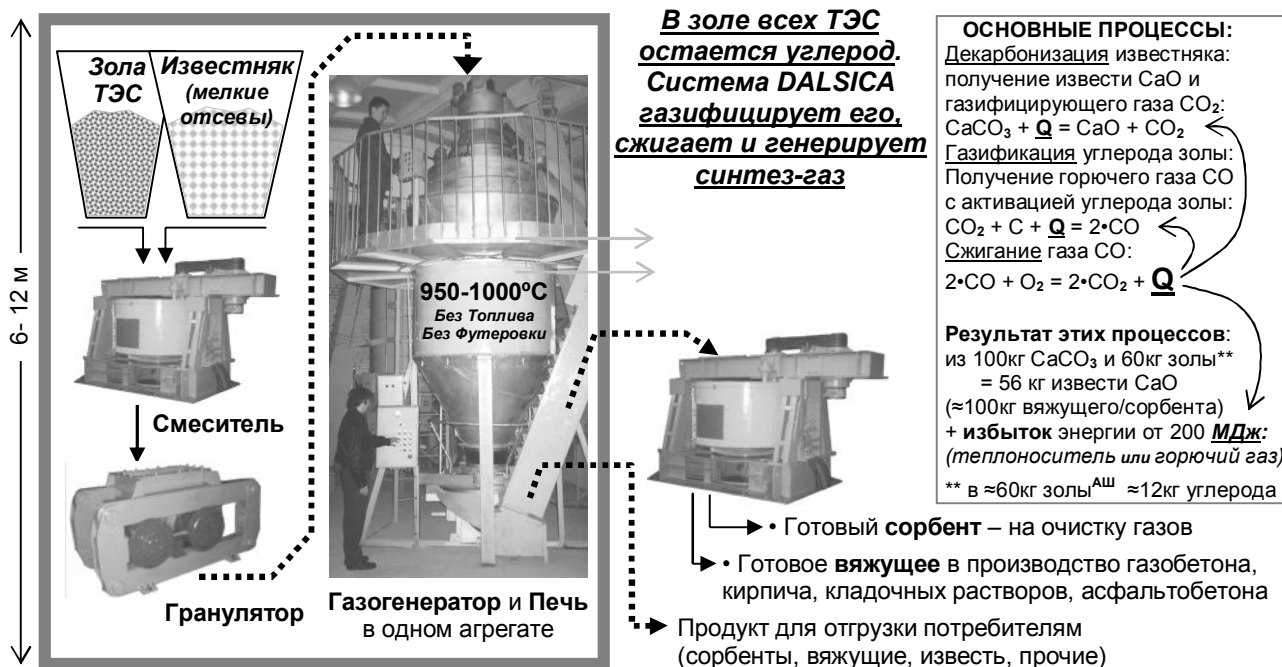
директор, член-корреспондент,

Проблемный институт ресурсо- и энергосберегающих технологий
"АкадемРесурсоЭнергоПроект" Академии строительства Украины, Киев

Угольная энергетика Украины производит около 10 млн.тонн в год экологически чистой в основном сепарированной золы, в которой остается 1,5-2 млн.тонн несгоревшего углерода. Эту золу перемешивают с токсичной микронной золой и отправляют в отвалы. Отвалы ТЭС (более 500 млн.тонн) загрязняют почвы, воду, атмосферу. Кроме этого ТЭС и ТЭЦ выбрасывают в атмосферу неочищенные дымовые газы вместе с миллионами тонн в год токсичных веществ; для газов от сжигания углей Донбасса нужна специальная комплексная очистка. **Доступная по ценам очистка газов ТЭС и особенно городских ТЭЦ** решает ключевые проблемы: **чистая угольная энергетика**, рост доли украинских углей в энергетике Украины **вместо природного газа**, применение золы в строительстве и другие.

Стройиндустрия Украины готова использовать **золу** и как сырье и как **топливо**, но вынуждена платить за природное сырье для энергоемкого производства стройматериалов и за природный газ; это одна из причин высоких цен в строительстве и стагнации отрасли.

На иллюстрации представлена система **DALSICA**: основное оборудование (exw Киев) и основные процессы. В статье показаны базовые ноу-хау и приведены рекомендации.



Газификация антрацитовой золы ТЭС Украины, получение **без топлива** и использование вяжущих и сорбентов освоены в промышленном производстве (решения и Программы Госстроя и Минэнерго Украины), а затем и на золах от сжигания углей типа Г, Д.

Зола ТЭС вместо топлива: • Экономия инвестиций в разы. • Окупаемость до 3-5 лет.

- **Сорбенты** для очистки газов Энергетики, Металлургии, Нефтехимии, Цементных и Мусоросжигательных заводов и **вяжущие** для стабилизации твердых продуктов газоочистки.
- **Вяжущие** для силикатного и бетонного кирпича, автоклавного газобетона, ссс и других.
- **Асфальтобетоны** дорожные и ремонтные – малой энергоемкости, бóльшей долговечности.

КАК ЭТО РАБОТАЕТ: основные процессы

(газификация золы ТЭС, генерация газа и тепла, самообжиг, получение активных сорбентов и вяжущих)

ТОПЛИВО и СЫРЬЕ:

Зола ТЭС с содержанием невыгоревшего углерода не менее 5-10%; такая зола имеется на всех ТЭС; зола используется в процессе DALSICA в первую очередь как источник тепловой энергии (невыгоревший углерод), и кроме того как минеральный компонент продукта.

Известняк CaCO_3 – доступное сырье; нужна мелкая фракция размером не более 5-10 мм; спросом пользуются фракции более 40 мм (40-200мм) для шахтных печей; неиспользуемые запасы мелкой фракции – в отсевах известняковых карьеров и заводов – сотни млн. тонн.

Кроме двух основных компонентов (зола ТЭС и известняк) как правило потребуется малая добавка (до $\approx 5\%$) глинистого материала, чтобы сгранулировать золу. Может использоваться любой местный материал – суглинки, супеси; применение кирпичной глины необязательно.

Подготовительные операции (иллюстрация системы – на 1-й странице статьи):

Смешивание исходных компонентов (зола, известняк, глина) в определенном соотношении с малой добавкой воды в типовом интенсивном противоточном смесителе, в котором кроме смешивания обеспечивается в дальнейшем доступ газовой фазы к углероду золы.

Гранулирование полученной смеси в грануляторе. На выходе гранулятора – гранулы определенного (для имеющихся компонентов сырья) размера в диапазоне от ≈ 15 до ≈ 30 мм.

Тепловые процессы (газификация и обжиг в тепловом агрегате шахтного типа):

При загрузке в шахту гранулы равномерно распределяются по сечению шахты и нагреваются газами, поднимающимися из средней по высоте зоны высоких температур.

Как только температура гранул достигает $\approx 800-900^\circ\text{C}$, начинается декарбонизация частиц известняка CaCO_3 (карбонат кальция), введенных в гранулы, – начинается выделение диоксида углерода CO_2 и образование извести CaO (оксида кальция), – как и в обычной печи при обжиге известняка на известь:



Выделяющийся газ CO_2 реагирует внутри гранул с углеродом C , имеющимся в золе гранул:

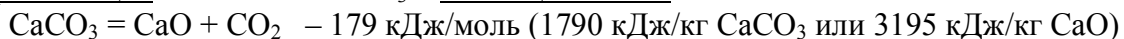


В результате образуется CO – оксид углерода – горючий газ, по ряду параметров более эффективный, чем метан CH_4 (природный газ). Таким образом, твердый углерод из золы переходит в газообразное состояние (газифицируется); при этом на один объем CO_2 образуется двойной объем CO – то есть 2CO (это видно из формулы); за счет увеличения объема газа, CO выделяется из гранул и сгорает при $900-1000^\circ\text{C}$ в потоке горячего воздуха (в воздухе 21% кислорода O_2), нагретого в нижней части шахты охлаждающимися гранулами:



Основой расчетов процесса и управления им являются общеизвестные данные (ΔH°):

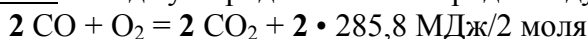
Декарбонизация известняка CaCO_3 – поглощает тепло:



Газификация углерода C углекислым газом CO_2 – поглощает тепло:



Сгорание оксида углерода CO в кислороде воздуха – выделяет тепло:



$$2 \cdot 22,4 \text{ м}^3 = 44,8 \text{ м}^3 \cdot 12,7 \text{ МДж/нм}^3 = 569 \text{ МДж}$$



$$100 \text{ кг} \quad 56 \text{ кг} \quad 44 \text{ кг} \quad \dots \quad 44 \text{ кг} \quad 12 \text{ кг} \quad 2 \times 28 \text{ кг} = 56 \text{ кг} : 1,25 \text{ кг/нм}^3 = 44,8 \text{ нм}^3$$

Тепловые эффекты процессов (в привычных величинах):

На декарбонизацию 100 кг CaCO_3 = – 179 МДж – поглощение теплоты

На газификацию 12 кг C = – 163 МДж – поглощение теплоты

От сжигания образовавшегося CO = + 569 МДж – выделение теплоты

Баланс: $569 - 179 - 163 = +226 \text{ МДж}$ (на 100 кг CaCO_3 и 12 кг $\text{C} = 56 \text{ кг CaO}$)

(избыточное тепло)

Таким образом, в одном агрегате идут несколько сопряженных тепловых процессов:

- декарбонизация известняка CaCO_3 (выделение CO_2 и образование извести CaO),
- газификация углерода C золы углекислым газом CO_2 (образование горючего газа CO),
- сгорание этого газа CO в каналах между гранулами при прососе воздуха через слой,
- обжиг гранул (сгорающим газом CO), обеспечивающий декарбонизацию известняка, газификацию углерода, дегидратацию глинистой добавки с определенным ее спеканием.

При отсутствии потерь, 100 кг CaCO_3 (≈ 105 -110 кг природного известняка) выделяет CO_2 для полной газификации 12 кг углерода C – его конверсии в $44,8 \text{ нм}^3$ оксида углерода CO ; при сгорании этого количества CO выделяется тепло, достаточное для получения 56 кг извести CaO и для газификации 12 кг углерода C , а также значительное количество избыточного тепла, которое можно не сбрасывать, а использовать – в виде теплоносителя и/или в виде горючего газа, состоящего из или содержащего оксид углерода CO .

В реальном процессе подлежат учету тепловой КПД ($\approx 90\%$) шахтного агрегата (потери тепла с отходящими газами, с выгружаемым продуктом, через корпус агрегата), фактические температуры процесса, и другие параметры (как задаваемые, так и определяемые свойствами исходных компонентов). Выделение избыточного тепла может привести к нежелательному перегреву или пережогу гранул. Пережог можно предотвратить, например вводя дополнительное количество известняка или выводя из шахты часть газа CO и используя его в качестве эффективного энергоносителя, сжигая или в типовом газопоршневом генераторе. Газопоршневые электростанции работают на газах с теплотой сгорания от 2 МДж/нм^3 .

Основные термохимические реакции (декарбонизация, газификация, сжигание) идут в узком диапазоне температур с минимальными температурными перепадами, поэтому, в том числе, процесс DALSICA обладает уровнем термодинамического совершенства (эксергетический КПД), превышающим известные типовые процессы. Кроме того, дополнительное тепло выделяется затем от гашения высокоактивной извести – $1,16 \text{ МДж}$ на 1 кг CaO , которое в этом процессе не теряется, а эффективно может использоваться.

Скорость газификации и обжига

Особенность процесса – многократное ускорение газификации и самообжига по сравнению с типовыми процессами – золокерамического кирпича, зольных гранул и других, где зола используется как топливосодержащая добавка. Если обжигать зольные гранулы без известняка – требуется большая длительность выгорания углерода из-за двух противоположных потоков: кислорода с воздухом вовнутрь обжигаемого тела, а газообразных продуктов выгорания (конверсии) углерода – вовне его, в параболической (квадратичной) зависимости от размеров обжигаемого тела (в 2 раза толще – в 4 раза дольше).

Получение активной извести – вяжущего и сорбента

Эндотермичность диссоциации известняка и газификации углерода золы снижают температуру внутри гранул на 100 - 200°C (до ≈ 750 - 850°C) по сравнению с температурой сгорания (900 - 1000°C) выделяющегося CO в порозных каналах между гранулами. Но за счет конверсии выделяющегося из известняка CO_2 в оксид углерода CO , внутри гранулы снижается концентрация CO_2 (CO_2 препятствует декарбонизации и в типовых процессах вынуждает повышать температуру, что приводит к пережогу и низкой активности извести).

Пониженная концентрация CO_2 обеспечивает декарбонизацию известняка CaCO_3 и получение качественно обожженной извести CaO несмотря на пониженные температуры обжига. Пониженная температура диссоциации CaCO_3 внутри гранул обеспечивает получение высокоактивной извести с нанокристаллической структурой (размер кристаллитов $\text{CaO} \approx 0,1$ - $0,3 \text{ мкм} = 100$ - 300 нм – показано на фото SEM ниже), в то время как в традиционных процессах обжига известняка размер кристаллитов извести превышает 5 - 20 мкм . Пониженная температура полной диссоциации известняка исключает недожог и пережог, и дает в этом процессе качественную известь даже при высоком содержании MgCO_3 , что расширяет сырьевую базу за счет возможности использования доломитов.

Газогенератор-Печь. Высокотемпературный ($\approx 1000^\circ\text{C}$) агрегат без футеровки

Шахтный агрегат DALSICA не оснащен огнеупорной футеровкой за счет и с целью создания температурного градиента возле стенки шахты по ее периметру. Внутренняя стенка шахты подвергается воздействию температур не более $500-700^\circ\text{C}$, а в осевой части массы гранул идет их самообжиг при температуре $900-1000^\circ\text{C}$. Отсутствие футеровки обеспечивает:

- долговечность печи: на внутреннюю стенку шахты не воздействуют высокие температуры;
- малый вес, модульная конструкция и мобильность всего теплового агрегата;
- возможность неоднократных остановов и быстрых запусков агрегата (не требуется разогрев футеровки); это не допускается в обычных печах из-за разрушения футеровки;
- обжиг гранул в пристеночной области шахты до различных температур (целевой продукт).

Поэтому стенка шахты выполнена из тонкого листа термостойкой стали. Внутренние диаметры шахты: 1500, 2200, 2600 мм. Выбор диаметра и рабочей высоты шахты зависит от требуемой производительности и свойств сырья. Компонентная высота агрегата – 8...12 м.

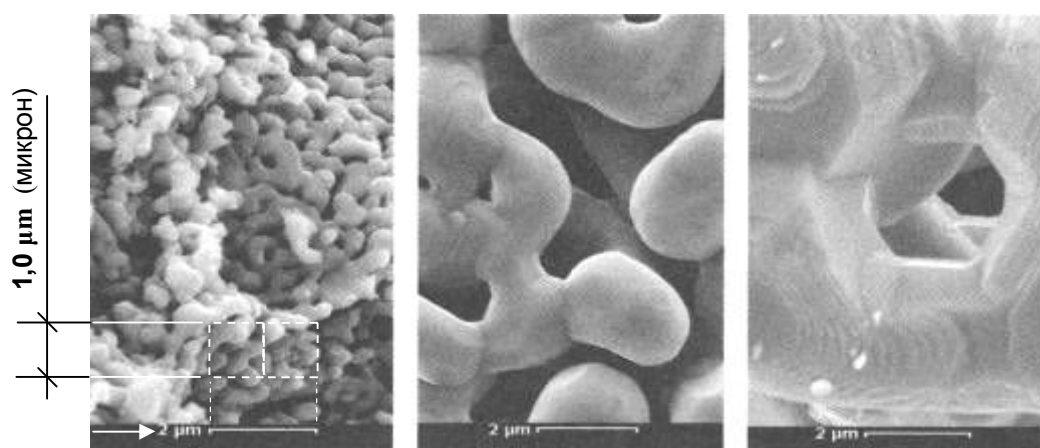
В процессе и в результате такого обжига образуются:

- продукты обжига до различных температур от $\approx 600^\circ\text{C}$ до $\approx 900^\circ\text{C}$ в пристеночной области шахты;
- продукты обжига гранул в центральной области шахты включая продукт спекания минеральной части золы с глинистым компонентом суглинка;
- продукт термоактивации кварца суглинка и минерализации его глинистой составляющей;
- **а также** высокопористые ($S_{уд}$ более $30-100^+ \text{ м}^2/\text{г}$) сорбционно и гидравлически активные компоненты, в том числе:
 - нанокристаллическая известь (I II III);
 - алюмосиликаты (Al-Si-) с различной степенью дегидроксилирования – типа метакаолина;
 - низкоосновные субмикронные алюмосиликаты кальция (Al-Si-Ca) – типа романцемента;
 - активированный (при неисчерпывающей газификации – для сорбентов) углерод золы $C_{акт}$.

Самоизмельчение гранул и самодиспергация извести за счет её гашения

Обоженные гранулы подают в смеситель, добавляется вода (вода/известь от 1:3 – для получения сухого/сырого продукта). Вода проникает вовнутрь гранул и частиц извести внутри гранул. Структура мягкообожженной извести (размер кристаллов, пористость) обеспечивает ее гашение не через раствор. При гашении известь увеличивается в объеме в 3-4 раза и разрывает гранулы (эффект искусственного «дутика»), – поэтому продукт обжига (гранула) не требует размола. Помол извести исключается – известь имеет дисперсность, которую невозможно достичь при обычно применяемом помоле (из-за агломерации). Исключается пылеобразование извести при обжиге гранул и при самоизмельчении извести.

Зависимость размеров кристаллов извести от температур обжига (SEM фото)



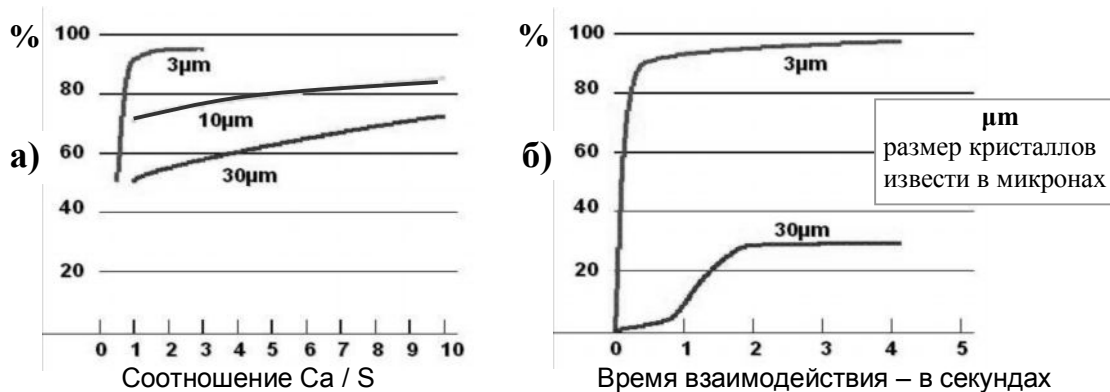
850-900°C	$\approx 1000^\circ\text{C}$	1100-1200°C
Мягкий обжиг	Умеренный обжиг	Высокотемпературный обжиг
Печь: DALSICA	Печь: Вращающаяся или КС	Печь: Шахтная
Без пылеуноса	Большой пылеунос	Умеренный пылеунос
Расход топлива: ОТСУТСТВУЕТ	Расход топлива: Расточительный	Расход топлива: Экономичный
≈ 1 т золы ^{АШ} на ≈ 1 т извести	до 200 м^3 газа на 1т извести	$\approx 140 \text{ м}^3$ газа на тонну извести
Активность: от 95% CaO	Активность: 85-95% CaO	Активность: 75-85% CaO

ПРОДУКТ DALSIKA – СОРБЕНТ загрязнителей дымовых газов

Влияние свойств извести на эффективность и стоимость очистки газов

На графиках – промышленные данные: эффект связывания SO₂ от размеров частиц извести (при очистке известь связывает SO₂ и образуется гипс: SO₂ + Ca(OH)₂ = ... = CaSO₄ • nH₂O):

а) при разных избытках извести: чем больше нужно отношение Ca/S, тем больше требуется извести и тем больше платит ТЭС за товарную известь, которую получают сжиганием газа;
б) при разном времени взаимодействия извести с диоксидом серы SO₂: чем больше нужно секунд для требуемого уровня (%) поглощения SO₂ известью, тем больше габариты узла очистки из дорогих коррозионно-стойких материалов и выше стоимость этого узла:



Результат: меньше в разы время требуется для связывания SO₂ – меньше размеры узла очистки и меньше площадь рукавного фильтра – меньше стоимость системы очистки.

Товарная известь. ЕС опубликовала «лучшие доступные технологии» за 2010 год: в Европе производят 28 млн. тонн извести в год (43% на природном газе, 41% на угле, затраты на топливо - до 60% себестоимости) на 597 печах, из которых 435 – шахтные печи на газе, а 116 – пересыпные шахтные печи, дающие известь очень низкого качества (их в Германии – 64 из 135, в Польше – 36 из 41).

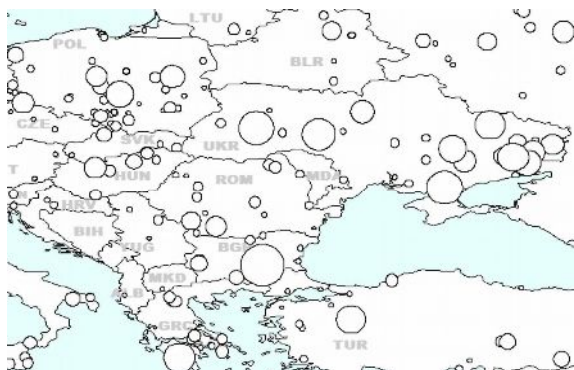
Известь типовых печей требует гашения через раствор, поэтому типовые системы известковой сероочистки газов вводят известь в виде распыляемой суспензии. Это увеличивает время связывания, размеры и стоимость оборудования в разы.

Комплексный Сорбент DALSIKA для очистки дымовых газов. Состав компонентов в продукте обжига обеспечивает сорбционную активность в отношении практически всех токсичных компонентов газов: SO₂, NO_x, Hg, Cl, F, Cd, ..., диоксинов, фуранов, ... , которые сорбируются по смешанному механизму на поверхности (мелких частиц и их пор) углеродных, сульфатных и (алюмо)силикатных фаз различного механизма активности. Поверхностноактивная сырая смесь с известью связывает токсичные компоненты газов и (суб)микронную (после грубой очистки газов в электрофилтре или инерционном пылесадителе) золу за счет коагуляции и агломерации, благодаря чему уменьшается нагрузка на рукавные (более эффективные чем электростатические) фильтры финишной очистки. **Поэтому** требуемая площадь рукавных фильтров уменьшается в разы.

Твердые продукты газоочистки (т.е. сорбент, поглотивший вредные компоненты газов) обладают вяжущими свойствами, что обеспечивает после их гранулирования получение плотной водостойкой структуры, предотвращающей в дальнейшем эмиссию сорбированных компонентов из гранул, с прочностью, достаточной для использования, например в дорожном строительстве. Сравнение: «лучшие» технологии предлагают заполнять такими «продуктами» окрестности ТЭС (landfill – дословно - заполнение земель).

Актуальность очистки дымовых газов ТЭС и других отраслей Украины

Для очистки дымовых газов все ТЭС и ТЭЦ Украины оснащены только золоуловителями: электрофильтрами (кпд ≈95%) и мокрыми скрубберами (кпд ≈92%). Очистка газов от SO₂, NO_x и других компонентов отсутствует. Микронная зола также выбрасывается в атмосферу.



Крупнейшие в Восточной Европе стационарные (ТЭС) источники выбросов SO₂. *Источник: ЕЭС*

Выбросы крупных ТЭС Украины в 2009 году
SO₂ – 1050 тыс. тонн, NO_x – 135 тыс. тонн,
 микронная зола – 235 тыс. тонн.

Существующий уровень содержания токсичных веществ в газах ТЭС Украины (данные ИУЭ НАНУ):

Вещество	Концентрация, мг/м ³ , до
Микронная зола:	
электрофильтры	2500
мокрые скрубберы	3200
Диоксид серы SO ₂	7000
Оксиды азота NO _x	1800

Минэкологии Украины установлены (2008) новые требования по предельной концентрации SO₂ для угольных котлов (**продукт очистки – новый вид отхода, непригодный для использования):

Котлы	Концентрация SO ₂ , мг/м ³
Новые	200
Модернизированные	400
Существующие, уголь АШ	3400
Существующие, уголь П	4500
Существующие, уголь Г, Д, Б	5100
Существующие, ЦКС**	400

Данные ДонНТУ по выбросам в атмосферу одной крупной ТЭС (блоки 200 МВт, мокрые скрубберы):

Наименование вещества	Обозначение	Выбросы, тонн/год
Диоксид серы	SO ₂	54923,69
Зола		53144,45
Оксид азота	NO	8262,98
Цинк	Zn	15,28
Хром	Cr	7,42
Свинец	Pb	6,68
Никель	Ni	5,32
Мышьяк	As	5,36
Ртуть	Hg	0,48

Почти все ТЭС Украины построены в 1960-х – начале 1970-х без систем сероочистки газов. Для сравнения: в США первый закон о чистоте воздуха (Clean Air Act) был издан в 1970 году. По данным "Coal Energy Systems" (2005), в 1970 году ни в США, ни в мире не было ни одной системы сероочистки на угольных ТЭС – в таблице показаны мощности ТЭС, оснащенные системами сероочистки.

Год	Мир, МВт	США, МВт
1970	0	0
1980	30000	25000
1990	130000	75000
2000	230000	100000

Токсичность микронной золы – возникает в зонах охлаждения зологазовой смеси в котле ТЭС как результат конденсации тяжелых металлов и углеводородов на поверхности мелких частиц золы (0-1-2,5-5-10 мкм), которые охлаждаются быстрее, чем крупные (20-50 мкм), и имеют высокую удельную поверхность (≈50% от общей). Микронная зола имеет низкую поверхностную активность, так как покрыта продуктами конденсации. Это одна из причин неприменимости несепарированных зольных смесей в большинстве стройматериалов.

Ртуть. Известно о повышенном и часто аномально высоком содержании ртути в углях Донбасса ("донецкий ртутный феномен") – от 0,5-1,5 г/т [6]. По данным мировой практики, в электрофильтрах ТЭС эффективность очистки газов от ртути близка к нулю. Во влажных скрубберах поглощается 50–75% ртути из дымовых газов, то есть большая часть проблемы переносится из загрязнения атмосферы в загрязнение почв и воды, а после дренажа на отвале часть ртути испаряется с поверхности золоотвалов, а также разносится ветром с микрозолой. В мировой практике газы ТЭС очищают от ртути дорогостоящим товарным сорбентом на основе активированного углерода. Готовый сорбент DALSIKA включает активный углерод: активация углерода золы совмещена с представленными основными тепловыми процессами.

Угольная Энергетика Украины – Возобновляемый Источник Топлива

40% электроэнергетики в мире основано на угле, почти полностью на сжигании угольной пыли (при $\approx 1500^{\circ}\text{C}$ и выше). В Украине **14 ТЭС** (крупные тепловые электростанции) и часть из крупных **ТЭЦ** (городские теплоэлектроцентрали) сжигают уголь, зольность которого более 25%. Более 50% сжигаемых ТЭС и всеми ТЭЦ Украины углей – антрацитового группы, поэтому более 50% украинской золы содержит 20-30% углерода. В этом отличие Украины от всех стран мира (кроме Китая, где ТЭС сжигают более 200 млн.тонн антрацита в год).

Крупные угольные теплоэлектростанции Украины

ТЭС	Мощность, МВт	Год начала эксплуатации	Потребл. угля, тыс.тонн	Выход золы, тыс.тонн	Марка угля	Углерод в золе уноса, % (опубликованные данные)		
						1999	2005	2010
			2005 г.	2005 г.				
Старобешевская	9 x 175 1 x 120	1961-67 2004 - ЦКС	2232		А А	23,0	25,5	
Кураховская	6 x 210 1 x 200	1972-75	2662		Г	**	**	
Луганская	8 x 175	1961-69	1939		А, Т	46,9	15,6	
Зуевская	4 x 300	1982-88	2441		Г	**	**	
Славянская	1 x 720	1971	1302		А	23,0	18,0	
Запорожская	4 x 300 3 x 800	1972-73 1975-77	2074		Г	**	**	
Криворожская	6 x 282 4 x 282	1965-73	1848		Т			
Приднепровская	4 x 285 4 x 150	1959-66	1756		А, Т	17,4	20,4	
Бурштынская	8 x 195 4 x 185	1965-69	3201		Г	**	**	
Ладыжинская	6 x 300	1970-71	1674		Г			
Добротворская	2 x 150	1963-64	942		Г			
Углегорская	4 x 300 3 x 800	1972-73 1975-77	1725	480,7	Г	**	**	
Змиевская	4 x 275 6 x 175	1967-69 1960-64	2149	612,4	А, Т А, Т	21,3	17,6	17,4
Трипольская	4 x 300 2 x 300	1969-70 1971-72	1285	401,8	А	21,6	29,0	18,2
			27230	≈ 10000				

Марки углей: А – антрацит, Т – тощий, Г – газовый/длиннопламенный.

** Содержание углерода в золах газовых и длиннопламенных углей: **5-10%** (среднее в смеси фракций).

Пылеугольные блоки мощностью 300 МВт оснащены сухими электрофильтрами (62,5% мощностей).

Блоки мощностью 50-150-200 МВт оснащены мокрыми скрубберами Вентури (37,5% мощностей).

Объемы образования, использования и запасов золошлаков ТЭС ПАТ «Центрэнерго» [5]:

ТЭС Марка угля	% серы S_p	Год	Образовано, тыс.тонн	Реализовано, тыс.тонн	Использовано (дамбы отвала ТЭС) тыс.тонн	Всего на конец года, тыс.тонн
Углегорская уголь Г/Д	3,1	2005	480,7	51,3	1,2	17973,1
		2009	382,4	17,7	0,6	19480,4
Змиевская уголь А/Т	А 1,7 Т 2,7	2005	612,4	24,2	16,6	27365,2
		2009	590,0	25,9	13,0	29818,6
Трипольская уголь АЩ(Т)	А 1,7 Т 2,7	2005	401,8	12,5	174,4	22478,4
		2009	521,9	1,0	0,0	24143,5

73,443 млн.тонн

В золоотвалах ТЭС Украины накоплено более 400 млн.тонн золы. Ежегодно образуется около 10 млн.тонн, в том числе около 6 млн.тонн золы антрацита со средним содержанием углерода 20-30%.

Проблема внедрения очистки газов ТЭС Украины

В 2011 году украинская энергетика определяла возможности внедрения очистки газов ТЭС, так как с 2011 года многократно увеличены платежи за выбросы ТЭС. Со ссылкой на отсутствие в Украине опыта проектирования и строительства систем очистки газов ТЭС, были объявлены затраты на системы, предлагаемые Украине зарубежными фирмами:

Характеристика системы	Кап.затраты (поставка ЕС/кооп)
Система мокрой известняковой сероочистки	120-150 Евро/кВт
Система полусухой известняковой сероочистки	60-80 Евро/кВт
Система азотоочистки	60-80 Евро/кВт
Новый электростатический фильтр	20-30 Евро/кВт
Новый рукавный фильтр	20-30 Евро/кВт

По этим данным определили финансовые потребности угольной энергетике Украины для снижения объемов выбросов (10-15 млрд.\$), и сделали вывод: высокая стоимость систем газоочистки несопоставима с реальными возможностями отрасли, поэтому очистка газов может быть внедрена не ранее 2025-2030 годов. При этом еще не учитываются затраты на товарную известь. Какие из этих лучших технологий импортирует украинская энергетика?

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТРИПОЛЬСКОЙ ТЭС



В отличие от других ТЭС Украины, расположенных в промышленных регионах, Трипольская ТЭС является единственным крупным стационарным источником выбросов диоксида серы SO_2 и микронной золы в 40 км от Киева, рядом с Днепром и рекреационными зонами.

Трипольская ТЭС имеет 4 пылеугольных (донецкий антрацит, $S=1,7\%$) энергоблока мощностью 300 МВт каждый. Из систем очистки дымовых газов имеются только четырехпольные сухие электрофильтры, как и на других ТЭС с энергоблоками такой мощности.

Отобранная из сухих электрофильтров зола системой гидроудаления (т.е. водой) выбрасывается вместе со шлаком на золошлакоотвал в промзоне станции.

Рядом с Трипольской ТЭС (до 5 км) расположены 2 крупных производителя строительных материалов – завод силикатного кирпича «Цегла Трипілля» (мощность 120 млн.шт.кирпича в год; производит и потребляет известь) и завод газобетона «Аэрок» (потребляет известь - около 2000 тонн в месяц). На обоих заводах готовят вяжущее путем тонкого помола извести и природного песка.

В соответствии с утвержденными сроками, Трипольская ТЭС проводит модернизацию энергоблока №2. Модернизированные энергоблоки должны быть оснащены системами газоочистки (не более 400 мг/м^3 диоксида серы SO_2 и не более 100 мг/м^3 золы).

Трипольская ТЭС рассматривает варианты (таблица выше) создания системы очистки газов и ее запуска вместе с пуском модернизированного энергоблока. Им известно о дефиците и высокой стоимости товарной извести и больших запасах в Украине отсевов известняка. По полученному от ТЭС техзаданию Институт разработал (2011) и представил в Центрэнерго предложение по системе DALSICA серо-золо-очистки газов блока №2.

При разработке ТЭО использованы результаты многолетней успешной работы системы на золе Трипольской ТЭС в рамках Программы Минэнерго, а также другой опыт. Предложенная система DALSICA (включает производство сорбента) \approx в 2 раза дешевле наилучшей импортной (для которой требуется энергоемкая покупная молотая известь).

Удельная стоимость (на 1 кВт мощности) системы DALSICA может быть значительно меньше указанной, если система обеспечивает не один, а все блоки одной ТЭС, или больше, если кроме SO_2 будет заказана очистка газов также от NO_x , Hg, As, Pb и других токсинов.

В таблице приведены основные характеристики систем для угольного^{АШ} блока 300 МВт:

Характеристика системы и основные составляющие эксплуатационных затрат	Капитальные Затраты (≈)	Ежегодные экспл. Затраты
1. Сероочистка газов:		
Система мокрой известняковой сероочистки ... + тонкий помол известняка + приготовление суспензии + циркуляция (≈15х) суспензии (мокрый скруббер нерж.) + выделение шлама + сгущение шлама + водоотделение (фильтр или центрифуга) + сушка полученного гипса (Q) + часть шлама в отвал + ...	40 млн.Евро	Вариант отклонен в связи с отсутствием площадей для размещения и по другим основаниям
Система мокрой известковой сероочистки ... То же (вместо известняка – закупка извести): известь многократно дороже, но благодаря ускоренному процессу связывания SO ₂ система компактнее и дешевле (нерж) + ...	30-35 млн.Евро	Вариант отклонен по тем же основаниям, плюс дорогая известь
Система мокро-сухой известковой сероочистки ... Закупка извести (сорбента) + доставка извести + помол извести + приготовление суспензии + распыление суспензии в газоходе/скруббере + выделение шлама + в отвал + ...	20 млн.Евро	Закупка извести при 2% серы в угле и Ca/S ≈ 1,5...2
Система полусухой известковой сероочистки ... Закупка извести (сорбента) + гашение в смесителе с частью золы + распределение в дымоходе + выделение отхода в золоуловителе вместе со всей золой + рециркуляция + отход в золоотвал + ...	15 млн.Евро	Закупка извести при 2% серы в угле и Ca/S ≈ 1,5...2
2. Очистка газов от твердых частиц :		
Новый электростатический фильтр	7,5 млн.Евро	н.д.
Новый рукавный фильтр	7,5 млн.Евро	н.д.
ИТОГО по наилучшему типовому варианту: (узел очистки с силосами для покупной извести)	22,5 млн.евро	30-35⁺ млн.грн (Закупка Извести)
Система DALSIKA – включает 2 комплекса: 1. Комплекс получения сорбента на основе золы ... смешивание отсева известняка с золой + грануляция + <u>самообжиг гранул без топлива</u> + смешивание с водой (<u>гашение извести и саморазрушение гранул без помола</u>) 2. Комплекс очистки газов сорбентом ... ввод сорбента и газов в турбулентную зону + связывание SO ₂ , золы, ... + доочистка газов на ткани рукавных фильтров + рециркуляция и освежение части продукта очистки + ... (опционно: + грануляция продукта газоочистки ...+)	Производство полного цикла: от неиспользуемых отходов и отсевов до готового сорбента Многозонный модуль с турбулентными зонами ввода сорбента и рукавными фильтрами	Доставка только отсевов известняка. Потребление электроэнергии не больше чем на помол покупной извести в типовых мельницах.
ИТОГО по системе DALSIKA: (производство сорбента + комплекс очистки)	130 млн.грн. 12 млн.Евро	Затратность отсутствует

Сравнительные характеристики систем газоочистки приведены на основании ТЭО:

1. Мощность энергоблока = 300 МВт.
2. Потребление угля = 115-120 тонн (2 x 60) АШ в час.
3. Серы в угле = до 2%.
4. Поступление серы с углем при ном. мощности блока = 120 т/ч x 0,02 = 2,4 т/ч.
5. Образование диоксида серы = 2,4 т/час : 32 x (32+32) = 4,8 т SO₂/час
6. **Платежи за выбросы SO₂ = 4,8 т/час x 1221 грн = 5860 грн/час.**
7. Потребность в товарной извести (акт.80%) = 4,2 т/ч : 0,80 = 5,25 т/час CaO.
8. Цена товарной извести для блока 300 МВт = 5,25т/ч x **1000 грн/т** x 1,2 (Ca/S) = **6300 грн/час**
9. Затраты на закупку товарной извести (**при цене газа 250-300\$/тыс.м³**):
350сут x 24час = 8400 час/год x 0,7 (К.загр) x **6300 грн/час** = **37,2 млн.грн/год**
При цене газа 400\$/тыс.м³ товарная известь min: 5,25т/ч x 1200 грн/т x 1,2 = 7600 грн/ч (44,7млн.грн/год).
10. Потребляемая мощность 1.Комплексом* требуемой производительности по извести ≈ 500 кВт.
11. Потребление электроэнергии 1.Комплексом ≈ 500 кВт : 5 т/ч = 100 кВт•ч/т извести (≈ 250 грн/час).
12. Известь DALSIKA помола не требует (сухое/сырое гашение с самодиспергированием).
13. Итого: Известь товарная от 6300 грн/час; Известь DALSIKA менее 1200 грн/час.
14. **Экономия: 5000 грн/час ≈ 29,4 млн.грн/год** на блок 300 МВт или 120 млн.грн/год на 4 блока.
* Потребление электроэнергии в производстве товарной извести составляет: 20-25 квт•час на получение 1т комовой (≈40-100мм) извести плюс более 100 квт•час на помол 1 т извести (шаровая мельница мощностью 600 квт производит 5-6 тонн/час по извести сравнительно грубого – из-за агломерации – помола).

Из представленной информации очевидно, что возможности систем DALSICA обеспечивают малозатратную очистку газов ТЭС не только до уровня отечественных требований, но и более строгих европейских.

Предложенный срок реализации проекта по энергоблоку №2 Трипольской ТЭС: 18 месяцев - как и у поставщиков западных типовых систем серо-золоочистки газов (которые включают в комплект поставки только узел очистки – без производства извести).

Разработанные компоновочные решения по привязке к типовому энергоблоку 300[±] МВт (с ЭСФ) высокопроизводительного (по объемам отходящих газов и требуемой степени очистки) оборудования без дополнительных площадей, – в этой публикации не приводятся.

Для других типов энергоблоков и марок углей Украины

Для энергоблоков 50-200 МВт предлагается замена имеющихся мокрых скрубберов на недорогие типовые инерционные сухие золоуловители (с отбором 70-85% золы – именно сухой, как условие её использования в различных отраслях), плюс аналогичные узлы ввода сорбента и рукавные фильтры финишной очистки газов до минимальных выбросов.

Системы также дают перспективу актуального для Украины, экологически и инвестиционно приемлемого перевода антрацитовых и газомазутных блоков ТЭС на другие угли – высокосернистые и высоковлажные бурые (в Украине – миллиарды тонн).

ПРИМЕРЫ ЧИСТОЙ УГОЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (зарубежный опыт)

Пример экологичного сжигания угля в муниципальной теплоэлектроэнергетике:

в городе Нюрнберге (Германия) угольная ТЭС работает более 10 лет в городе, в окружении жилых кварталов. Экологичность работы станции обеспечивается системой серо- и золоочистки с применением товарной извести в качестве сорбента и рукавных фильтров тонкой очистки. Система улавливает также другие вредные вещества.

Мощность	114 МВт
Топливо	Уголь
Объемы дымовых газов	157000 нм ³ /час
Температура газов	140°C
SO ₂ в газах до очистки	1800 мг/нм ³
SO ₂ в газах после очистки	180 мг/нм ³
Сорбент	Известь СаО
Содержание золы в газах	Не более 10 мг/нм ³

Источник: Alstom. Сообщается также, что продукт серо- и пылеочистки захоранивают в отвалах.



Из этого следует, что система очистки этой ТЭС потребляет 350-400 кг товарной извести в час (3-3,5 тыс.тонн/год). Объем отхода продукта очистки в отвал включает смесь около 8 тыс.тонн/год сульфитов и сульфатов кальция (гипс) и угольной золы. Объем золы в отходе публикация не указывает, но по оценке – в несколько раз больше гипса.

Преимущество продукта DALSICA – он является как сорбентом, так и вяжущим, высокоэффективным в обоих применениях. Это дает возможность утилизации твердых продуктов серо- и золо- очистки газов путем гранулирования отхода газоочистки и получения плотной водостойкой структуры гранул, предотвращающей в дальнейшем эмиссию сорбированных компонентов из гранул, с прочностью, достаточной для использования в дорожном строительстве и других применениях, - в отличие от обычно образуемых отходов, пригодных только для захоронения (landfill).

Котлы ЦКС: сероочистка известью вместо известняка

Экологическими преимуществами угольных котлов с циркулирующим кипящим слоем считаются отсутствие образования оксидов азота NO_x (благодаря низким температурам сжигания $\approx 900^\circ\text{C}$), а также простота и низкие затраты на связывание диоксида серы SO_2 за счет применения молотого известняка CaCO_3 (не нужен обжиг известняка природным газом).

Рассмотрим эффективность использования известняка для снижения SO_2 в ЦКС в плане возможности и целесообразности использования извести DALSICA для сероочистки в ЦКС.

Фирмой Alstom, одной из ведущих в этой области, опубликовано использование гашеной извести $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в качестве части сорбента SO_2 в ЦКС – из экологических соображений – для меньшего образования NO_x в ЦКС (так как известняк в ЦКС каталитически генерирует образование NO_x), а также из экономических – для меньшего расхода угля, так как заметная часть тепла сгорания угля в ЦКС расходуется на декарбонизацию известняка. Кроме того, помол известняка перед вводом в ЦКС требует значительных затрат электроэнергии, а для эффективного связывания SO_2 требуется высокий избыток Ca/S – до 3, что увеличивает затраты на добычу, доставку и помол известняка, а также больше образуется объемов отходов сероочистки.

В публикации приведен конкретный пример угольного котла ЦКС:

Расход угля на сжигание, т/час	109,2		
Углерода в угле, %	53,5		
Серы в угле, %	4,5		
Зольность угля, %	20,0		
Влажность угля, %	9,5		
Степень удаления SO_2 из газов, %	98		
Сорбенты:			
CaCO_3 в известняке, %	90		
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ в извести, %	100		
	CaCO_3	$\text{CaCO}_3 + \text{Ca}(\text{OH})_2$	дельта
Расход известняка, тонн/час	34,9	25,3	9,6
Стоимость известняка, млн.долл/год	5,4	3,9	1,5
Расход извести, тонн/час		0,89	0,89
Стоимость извести, млн.долл/год	0	0,725	0,725
Общая стоимость сорбентов, млн.долл/год	5,4	4,6	0,8
<i>Перерасчет для углей Украины – серы в угле $S_{cp} \approx 2,2\%$ (Антрацит 1,7%; Тоций 2,7%):</i>			
Расход известняка, тонн/час	17,5	12,8	4,8
Расход извести, тонн/час		0,45	0,45

В публикации подчеркивается, что при замене части известняка ≈ 10 тонн/час на ≈ 1 тонну извести/час обеспечивается тот же уровень улавливания диоксида серы 98%, снижается расход угля и меньше образуется NO_x в топке ЦКС.

Из этого авторитетного примера следуют, в частности, следующие выводы:

- для достижения 98% эффективности улавливания SO_2 в типовом ЦКС – на 5 тонн серы в час требуется израсходовать 35 тонн/час известняка CaCO_3 или $\text{Ca/S} \approx 3$;
- на декарбонизацию 35 тонн/час известняка CaCO_3 потребуется более 63000 МДж/час ($35000 \text{ кг} \cdot 1,8 \text{ МДж/кгCaCO}_3$), на что расходуется $\approx 10\%$ теплоты сгорания угля (если принять Q_p^u угля из примера на уровне 6-6,5 МДж/кг).

В настоящее время в Украине работает только один котел ЦКС на Старобешевской ТЭС. Предпринимаются усилия по переводу ТЭС и особенно ТЭЦ на котлы ЦКС.

Расширение использования в украинской угольной теплоэлектроэнергетике котлов ЦКС с известняковой сероочисткой в типовом исполнении, – неизбежно связано с увеличением объемов отходов энергетике, непригодных для широкого использования.

Из этого примера очевидна целесообразность использования систем DALSICA не только для пылеугольных котлов, но также для котлов ЦКС.

Что газифицируем при отсутствии или дороговизне доставки золы ТЭС

Содержание невыгоревшего углерода в золе всех ТЭС и ТЭЦ Украины – для систем *DALSICA* достаточное для основных применений. Использование золы ТЭС в качестве углеродсодержащего сырья для газификации имеет то преимущество, что зола является отходом, удаление которого – проблема всех ТЭС [5]. Удаление золы после сжигания угля (ГЗУ) и обслуживание золоотвалов требует значительных затрат, которые включаются в себестоимость электроэнергии, что приводит к повышению тарифов. То есть «стоимость» золы ТЭС и ТЭЦ уже оплачена потребителями электроэнергии и тепла.

При отсутствии золы или невозможности получать сухую (то есть приемлемую и дешёвую в использовании) золу в регионе размещения производства *DALSICA*, – в качестве углеродсодержащего сырья в процессе газификации могут быть использованы: отходы углеобогащения (пылевидный материал, включающий глинистую составляющую, в Украине более 300 млн.тонн), бурые угли (в Украине до 5 млрд.тонн, не требуют помола), каменные угли (требуется размол) или любые другие углеродсодержащие материалы.

Из производственного опыта, система *DALSICA* может работать и на отвальных золах и даже золошлаках (при условии отсева крупных частиц шлака), однако только при условии значительного увеличения капитальных затрат на полный комплект автоматизированной системы. Наличие мелких частиц шлака в продукте *DALSICA* затрудняет его использование в качестве вяжущего для производства лицевого изделий, например силикатного кирпича.

Приемлемые сроки окупаемости и последующая высокая доходность систем *DALSICA* обеспечиваются при использовании золы сухого отбора с сепарацией или без неё.

Интересы энергетики и интересы стройиндустрии в продукции энергетики

Предыдущие разделы этой статьи посвящены в основном проблемам очистки дымовых газов угольных ТЭС. Покажем, как эта проблема связана с интересами стройиндустрии.

Энергетики считают экологическую часть проектов модернизации угольных энергоблоков (газоочистка и ее отходы, без золоутилизации) наиболее дорогостоящей и не окупающей себя, то есть полностью затратной. Что касается золоутилизации, то типовые подходы и большинство предлагаемых технологий также не обещают окупаемости затрат.

Производство основных строительных материалов и изделий является энергоемким. В условиях роста цен на энергоносители это приводит к стагнации отрасли из-за удорожания ее продукции. Растут затраты и на добычу природного сырья для стройиндустрии. Использование золы угольных ТЭС как материального, так и топливного компонента для производства стройматериалов позволит в значительной мере решить эти проблемы.

Как показал опыт реализации программ Госстроя и Минэнерго Украины, отбору сухой золы ТЭС (тем более сепарированной – с разных полей ЭСФ) препятствуют: сложившаяся в угольной энергетике практика гидрозолоудаления; высокая компетентность энергетиков в вопросах технологических возможностей использования отвальных золошлаковых смесей в стройиндустрии, а также долговечности и экологичности стройматериалов из них; обоснованная неуверенность инвесторов стройиндустрии в стабильности долгосрочных договорных условий отбора сухой золы на ТЭС.

В условиях многократного роста платежей за выбросы ТЭС (с 2011 г.), предоставление энергетике возможности получать дешевый (фактически дармовой, а реально – доходный) сорбент для очистки токсичных дымовых газов крупных ТЭС и городских ТЭЦ (сера, ртуть, микронная зола и проч.) за счет углерода золы этих же ТЭС и ТЭЦ, дает основания ожидать от энергетиков шагов по модернизации систем очистки дымовых газов и золоудаления.

Как показано выше, системы *DALSICA* обеспечивают высокоэффективную (вплоть до 100%) малозатратную очистку дымовых газов от наиболее объемных (SO_2 , M_{3-10} ...) и наиболее токсичных (ртуть Hg, $M_{1-2,5-5}$) компонентов за счет резерва достаточного избытка дешевого сорбента. Платежеспособным потребителем избытка продуктов *DALSICA* от ТЭС является стройиндустрия – за счет части (не)платежей за природный газ.

Сепарация и сухой отбор золы создают по меньшей мере два отдельных потока минеральных отходов сжигания угля: • зола с повышенным содержанием углерода; • зола с меньшим содержанием углерода; • на многих ТЭС – также гранулированный шлак. Такие продукты, в отличие от отходов (золошлаковая смесь нестабильного состава, фракций и влажности), стройиндустрия готова получать и использовать в значительных объемах, вплоть до полной утилизации текущего выхода золы и шлаков ТЭС и ТЭЦ Украины.

Для дорожного строительства: комплексное энерго- и ресурсо- сбережение

Энергоемкость 1 км покрытия из горячего асфальтобетона толщиной 10 см составляет 800-1200 ГДж, из них более 50% – на нагрев и сушку минеральных компонентов (табл.) [7] .

Эту часть энергозатрат могут обеспечить системы DALSIKA без потребления топлива. Кроме того, ввод в асфальтобетонную смесь гидратной извести повышает прочность, трещиностойкость, водостойкость, уменьшает водонасыщение и набухание, увеличивает срок службы дорожного покрытия на 40-50%.

Например, согласно стандартам США количество гидратной извести в асфальтобетонной смеси должно составлять не менее 1% и не более 2,5% от массы сухих минеральных компонентов или 10-25% от массы битума. Оптимальное содержание гидратной извести в специальных высококачественных ремонтных составах для дорожных асфальтобетонных покрытий – от 15-20% до 35-45%. Применение гидратной извести в асфальтобетоне предусмотрено также отечественными стандартами.

Основные виды энергозатрат		Расход энергии, ГДж	Доля (%) от общего объема энергозатрат
1.	Производство материалов (тыс. тонн):		
1.1	Битум (0,1 -0,1 5)	55-95	
1.2	Щебень (0,5-1)	35-75	
1.3	Песок (0,5-1)	10-15	
1.4	Минеральный порошок (0, 1 -0,2 т)	15-20	
Σ1.	Итого	130-195	15-20
2.	Транспортирование материалов (в т.ч. погруз-разгр.):		
2.1	Щебня по железной дороге (на расстояние 1500 км)	100-200**	
2.2	Щебня автомобильным транспортом (25 км)	30-50	
2.3	Песка	20-40	
2.4	Минерального порошка	20-35	
2.5	Битума	15-20	
Σ2.	Итого	120-300	12-25
3.	Приготовление асфальтобетонной смеси:		
3.1	Подготовка битума	20-25	
3.2	Нагрев минеральных материалов	150-160	
3.3	Сушка минеральных материалов	200-300	
3.4	Перемешивание компонентов горячей смеси	55-60	
Σ3.	Итого	425-530	40-50
4.1	Транспортирование смеси, укладка и уплотнение:	120-165	
4.2	Транспортирование, укладка, уплотнение минеральных материалов:	25-30	
Σ4	Итого	145-195	15-20
	Суммарные (Σ1+Σ2+Σ3+Σ4) затраты энергии	800-1200	100

** Принимая, что в Украине дальность перевозок щебня (строка таблицы 2.1) в среднем не превышает 500 км, получаем, что энергозатраты на приготовление асфальтобетонной смеси (раздел 3 – нагрев, сушка и проч.) составляют более половины суммарных энергозатрат.

ОПТИМАЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУХОЙ ЗОЛЫ ТЭС

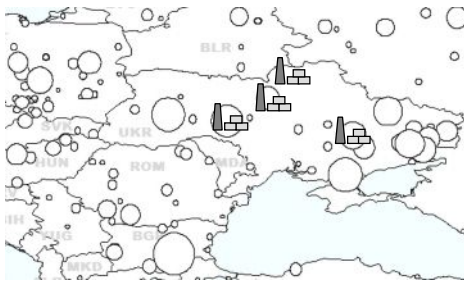
Вследствие невыполнения решений Минэнерго по организации отбора сухой золы, были отработаны решения по отбору части сухой золы на ТЭС для использования ее в качестве топлива. Для получения сухой золы от ТЭС не нужно ожидать создания энергетиками полномасштабных систем золоудаления: достаточно установки недорогого компактного узла отбора и вывоза золы с ТЭС без выделения дополнительных площадей на ТЭС.

Поэтому, в зависимости от предпринимаемых ТЭС/ТЭЦ объемов модернизации энергоблоков в части газоочистки и золоудаления, возможны два варианта:

- если ТЭС обеспечивает сухой отбор всего текущего выхода золы, проект может включать: производство сорбента для ТЭС; производство вяжущего для автоклавных материалов; производство кирпича с золой в качестве основного компонента;
- если ТЭС не обеспечивает сухого отбора или вообще не проводит модернизацию, в рамках проекта осуществляется отбор на ТЭС необходимого количества золы для получения вяжущего для автоклавных материалов и других.

Силикатный кирпич

До сих пор объемы производства и применения энергоемкого керамического кирпича превышали объемы менее энергозатратного (в 2,5-3 раза) силикатного, при том что до 90% керамического кирпича имеет низкое качество. Рост цен на газ изменяет ситуацию.



В ряде городов и областей ТЭС и ТЭЦ и крупные заводы силикатного кирпича расположены в непосредственной близости, например:

- Трипольская ТЭС – Завод Цегла Трипілля
- Ладыжинская ТЭС – Ладыжинский ЗСК
- Черниговская ТЭЦ – Черниговский КСМ
- Приднепровская ТЭС – Днепропетровский ЗСМ

Вяжущее DALSIKA заменяет товарную известь и молотый песок, а также окрашивает силикатный кирпич в теплые тона (керамическая окраска, так как обжиг золы ТЭС устраняет серый цвет золы и придает ей теплый оттенок, который регулируется добавкой суглинки).

Привязка систем DALSIKA к заводам силикатного кирпича обеспечивает:

- повышение прочности сырца до 10-15 кг/см² и более, прочности кирпича на 15-30%, морозостойкости на 1-2 марки; возможность увеличения пустотности кирпича;
- исключение затрат газа на обжиг извести ($\approx 140 \text{ м}^3/\text{т}$ извести или $\approx 50 \text{ м}^3/\text{тыс.кирпича}$);
- уменьшение или исключение затрат газа на автоклавирование ($\approx 35 \text{ м}^3/\text{тыс.кирпича}$);
- возможность снижения себестоимости на 300-400 грн/тыс.кирпича за счет исключения газа;
- снижение затрат электроэнергии на приготовление вяжущего благодаря исключению затрат на помол извести и большей размолоспособности золокерамического вяжущего;
- исключение необходимости использования силосов;
- производство силикатного кирпича с внешним видом облицовочного керамического наиболее востребованных светлых теплых тонов (бежевого, кремового);
- выход продукции в рыночный сегмент облицовочного керамического кирпича с качественной геометрией, недостижимой для типового, в том числе лицевого, керамического кирпича; резерв увеличения цен реализации до уровня цен на лицевой керамический кирпич; возможность поставок продукции на большие расстояния; • ряд других преимуществ.

Расчетные данные по срокам окупаемости привязки систем DALSIKA к заводам силикатного кирпича в Украине в этой публикации не приводятся, поскольку еще нет определенности по будущему уровню цен на газ для промышленности.

Независимо от ценовых перспектив, сроки окупаемости не превышают 2-3 года, что достаточно привлекательно как для региональных инициатив, так и для бизнес-проектов.

Автоклавний газобетон

Автоклавний газобетон являється одним из наиболее востребованных и перспективных материалов: снижение затрат тепла на отопление зданий, снижение массы зданий и другое.

Наиболее распространенная плотность газобетона 450-600 кг/м³. Исходные материалы обычно включают ≈ 70% природного песка и ≈30% вяжущего (≈135 кг цемента и ≈135 кг извести на 1 м³). Вяжущее DALSIKA заменяет известь и часть кварцевого песка. Возможно снижение или исключение затрат газа на автоклавную обработку. Получение объемного окрашивания теплых тонов за счет золокерамического компонента вяжущего для газобетонных изделий несущественно.

Эффективный зольный кирпич

Производство силикатного кирпича и автоклавного газобетона, при имеющихся в Украине мощностях, не обеспечит значительного потребления текущего выхода золы.

Создание на ТЭС систем отдельного удаления сухой золы дает возможность часть сухой золы направлять в производство и применение цементов и бетонов без требуемых стандартами длительных испытаний при использовании высокоуглеродной золы.

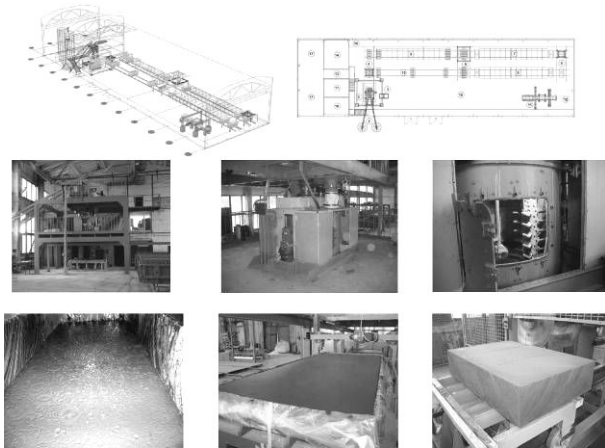
Другая часть золы может составить основной компонент золоизвесткового качественного строительного кирпича низкотемпературного автоклавирования в малонапорных камерах без потребления топлива с низкой себестоимостью, прочностью 125-150, морозостойкостью 35-50, водопоглощением 8-20%.

Например, ежегодный выход золы одной ТЭС на уровне 100 тыс. тонн (например, Черниговская ТЭЦ) обеспечивает сырьем и топливом производство полнотелого эффективного (плотность 1,4-1,5) строительного кирпича в объеме 30-35 млн. шт./год.

Несмотря на низкий нынешний спрос, выход на рынок кирпича повышенной марочности (125-150) с качественной геометрией и ценой в 1,5-2 раза ниже цены наихудшего рядового керамического кирпича обеспечат его сбыт в таких объемах.

Пример использования золы ТЭС сухого отбора в стройиндустрии

ГАЗОБЕТОН безавтоклавный качественный: комплектные заводы стеновых блоков



Производство газобетона: 3-D компоновка и размещение линии в цехе 18 x 54 м; узел дозирования, смесеприготовления и ударного формования; интенсивный смеситель Ø1400 мм – общий и внутренний вид; газобетонная смесь – после выгрузки из смесителя и после 9 минут формования; резанные газобетонные блоки.

Создано и запущено безавтоклавное производство газобетонных блоков мощностью 100 м³ в сутки. Высокое качество при малом расходе цемента обеспечивается: приготовлением смеси в интенсивном смесителе с вращающейся емкостью Ø1400 мм; заливкой смеси в полиэтиленовую пленку; ударное формование при высоте ударов до 3мм; затворение смеси холодной (≈20°C) водой; удаление микронной малоактивной золы. В результате: качественная смесь, активация компонентов, раннее проявление активности золы, экономия цемента и добавок, быстрая (<10 сек) выгрузка смеси из смесителя при В/Т≤0,3, самопропаривание (70-95°C) массива, низкая отпускная влажность менее 15%, малая усадка. Длительность ударного вспучивания массива 7-11 минут. Прочность блоков на сжатие 30 кг/см² и более при плотности ≈500 кг/м³, и соотношении золы и цемента от 70:30 до 65:35. Для сравнения: для автоклавного газобетона нужен пар высокого (10-16 атм) давления – 160-190 кг на 1м.куб газобета плотностью D400-D600 и вяжущие – как известь, так и цемент: ≈130-135 кг извести и ≈135-140 кг цемента на 1 м³ газобетона. Новое безавтоклавное производство потребляет столько же цемента, но без извести, пара и подогрева воды.

К вопросу об использовании золы ТЭС Украины в цементах и бетонах

Выше показано, что более половины золы ТЭС Украины имеют высокое содержание невыгоревшего углерода. Были попытки использовать такие золы без учета их свойств в цементах и бетонах, руководствуясь только названиями ДСТУ Б В.2.7-205:2009 «Золы-уноса тепловых электростанций для бетонов» и ДСТУ Б В.2.7-211:2009 «Смеси золошлаковые тепловых электростанций для бетонов», а не требованиями этих стандартов в целом.

Поэтому полезно привести обширную цитату из статьи «Еще раз о золах-уносе ТЭС для производства цемента и бетона», опубликованной в журнале «ЦЕМЕНТ» №3-2009, авторы: З.Б.Энтин – один из наиболее авторитетных профессионалов с полувековым опытом и Н.Стржалковская – ведущий специалист ОАО «Лафарж-Цемент-Россия»:

"Большое влияние на долговечность бетона на основе зольных цементов оказывает содержание остатков несгоревшего топлива в золе.

Морфология кислых зольных частиц такова, что частички коксика в них вплавлены в алюмосиликатное стекло. Поэтому при затворении цемента углерод первоначально изолирован силикатным стеклом от цементной матрицы.

Однако после двух-трех лет службы бетона стеклообразная алюмо-силикатная оболочка вокруг углеродного включения зольных частиц корродирует, вследствие чего в бетоне образуется большое число микроэлементов, состоящих из пары углерод-металл и электролита - жидкой фазы бетона. Возникновение микропотенциалов и микротоков от таких элементов ведет к депассивации арматуры и, как следствие, к возникновению язвенной коррозии арматуры, особенно при работе бетона в воздушно-влажных условиях.

Опасность возникновения коррозии стальной арматуры в бетоне вынуждает ограничивать содержание несгоревшего угля (ППП) в золе, используемой в качестве активной минеральной добавки к цементу. Поэтому нормативы по предельному значению ППП золы содержатся во всех стандартах на золу-унос, используемую в качестве добавки к цементу, и обычно составляют 3-5%.

Таким условиям по содержанию несгоревшего топлива удовлетворяют золы молодых бурых углей, а также газовых и частично - длиннопламенных. В золах тощих углей содержание углерода достигает 18-20%, антрацита - 26-28%. Эти золы могут быть использованы только после сепарации.

Например, зола Луганской ГРЭС с общим значением ППП 28% сепарацией была разделена на две фракции - тонкую с ППП 5,8% и грубую с ППП 55%. В золе Волгоградской ТЭС при валовом значении ППП около 8% содержание угля в тонкой фракции составляло 3%, в крупной фракции достигало 35%. Первая в основном удовлетворяет требованиям к добавкам, вторая может быть использована в качестве топлива, либо сырьевого материала, содержащего топливо. Теплотворная способность крупных фракций золы тощих углей и антрацитов достигает от 7-10 до 14-15 тыс. кДж/кг.

Мировой опыт показывает, что для массового применения в качестве добавки к цементу необходима предварительная переработка или обогащение золы-уноса для превращения отхода от сжигания углей в полезный продукт, пригодный для дальнейшего применения.

Фракционирование с отделением крупной фракции золы может осуществляться с помощью воздушной сепарации. Это позволяет в несколько раз снизить содержание остаточного углерода в золе и повысить стабильность ее свойств." – конец цитаты.

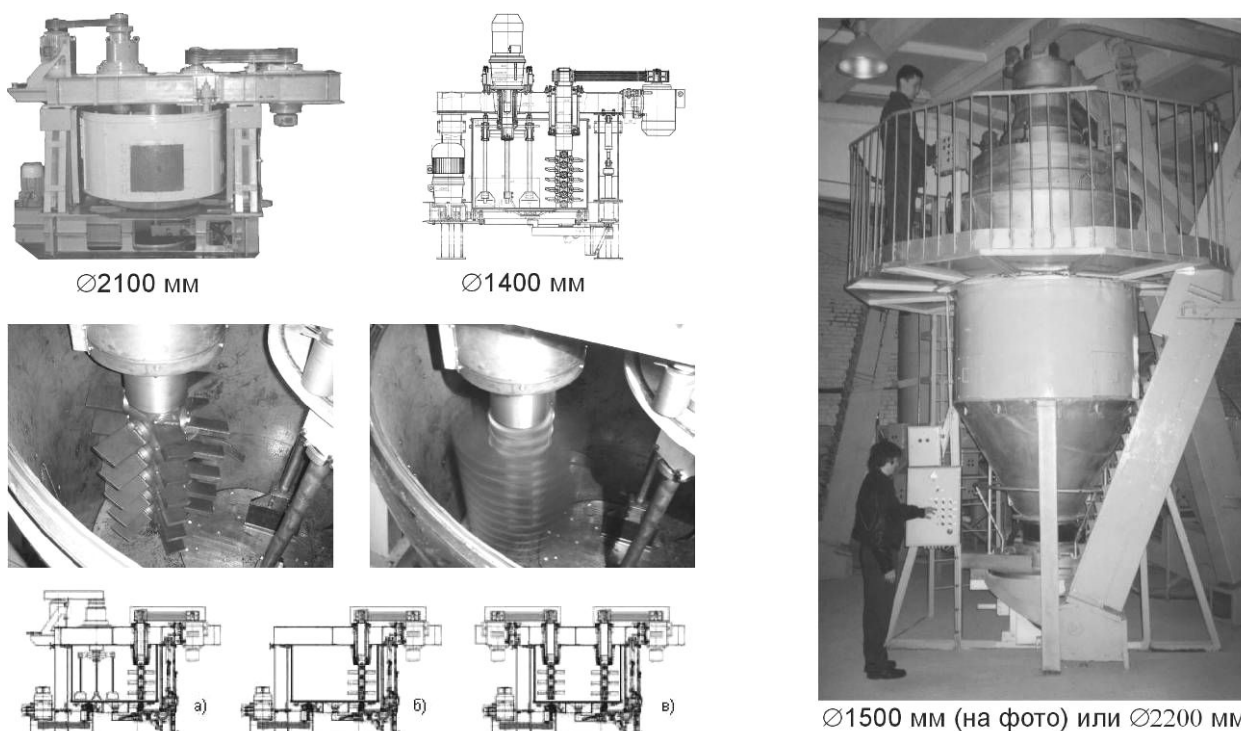
Остается добавить, что на крупных энергоблоках ТЭС зола с определенным содержанием невыгоревшего углерода выделяется на соответствующих полях электрофильтров (уже сепарируется по С на ЭФ). Минимальные инвестиции обеспечивают возможность отбора золы определенных фракций и содержания углерода в силос до того как все фракции золы со всех полей ЭФ будут перемешаны между собой, с водой и шлаком и отправлены ТЭС на золоотвал как токсичный и непригодный к использованию отход. Выше были указаны оптимальные направления модернизации пылеугольных котлов ТЭС, оснащенных сейчас мокрой газоочисткой, для обеспечения сухого отбора золы.

ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ для создания систем и производств

Для создания систем DALSICA для ТЭС и предприятий стройиндустрии (программы Госстроя и Минэнерго Украины) было организовано и освоено проектирование и производство тепловых агрегатов, интенсивных смесителей с вращающейся емкостью (типоразмеры $\varnothing 700, 900, 1400, 2100\text{мм}$) и другого перерабатывающего, теплового и газоочистного оборудования различных типоразмеров и производительности.

Оборудование разработано на отечественной базе комплектующих. В системах автоматики (ПЛК, датчики, ЧР) используются в основном импортные комплектующие или узлы. По желанию заказчика системы комплектуются импортным оборудованием.

Оборудование широкого применения для различных отраслей и направлений: интенсивные смесители с вращающейся емкостью, грануляторы, другое перерабатывающее оборудование, а также сушилки и печи взвешенного слоя с малым расходом воздуха/газов на псевдоожижение. Преимущество интенсивных смесителей с вращающейся емкостью – гарантия получения однородных смесей любой консистенции и влажности: сухих, полусухих, жестких, литевых. Например, завод газобетона с таким смесителем позволяет экономично (с экономией вяжущих и добавок) производить, в дополнение к газобетону, также другие материалы и изделия: сухие строительные смеси, в том числе для кладки выпускаемых этим заводом газобетонных блоков и отделки стен из них; бетонные изделия, крупные и мелкоштучные. Это повышает устойчивость производства при изменениях рыночной ситуации.

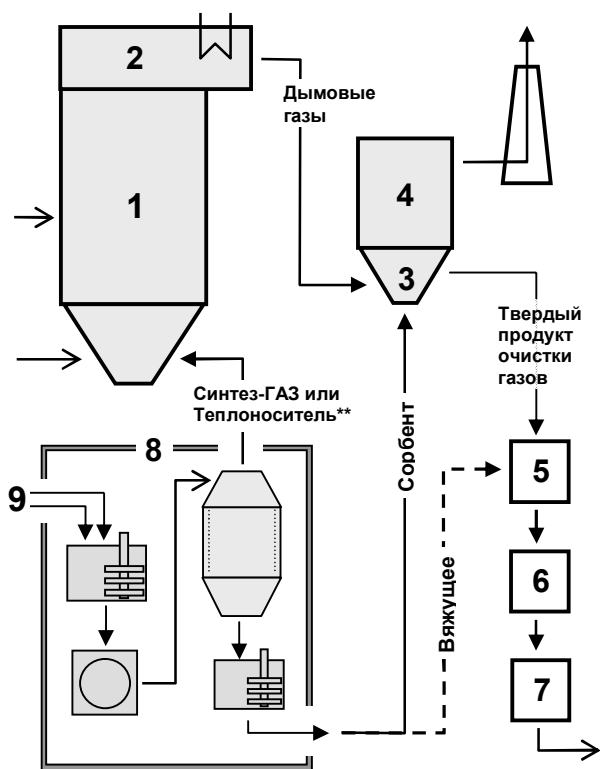


Слева – наши интенсивные смесители с вращающейся емкостью: основные типоразмеры; ротор $\varnothing 500\text{ мм}$: $\omega=0$ и $\omega=50$ об/сек. Варианты исполнения для разной производительности и влажности: а) с высокооборотным ротором и малооборотной мешалкой, б) с одним высокооборотным ротором, в) с двумя роторами, работающими в разных режимах.

Справа – заводская промышленная производственная установка средней мощности в работе (газификация и самообжиг зольно-известняковых гранул с получением сорбентов, вяжущих, извести без топлива). Более высокая производительность обеспечивается увеличением количества дополнительных цилиндрических секций шахтного теплового агрегата. Установки большой производительности имеют рабочий диаметр $\varnothing 2200\text{мм}$ или $\varnothing 2600\text{мм}$.

Привязка систем DALSICA к производствам и потребностям различных отраслей

Продукт DALSICA является и сорбентом, и вяжущим, эффективным в обоих применениях.



Принципиальная схема базового варианта комплексной привязки системы DALSICA к источникам выбросов токсичных дымовых газов: (ТЭС, ТЭЦ, металлургические, нефтехимические, мусоросжигательные, цементные, кирпичные и другие заводы и объекты):

1. Тепловой агрегат объекта привязки (котел ТЭС, печь металлургии, мусоросжигательный завод,...)
2. Теплообменник объекта привязки (теплоутилизатор-газоохладитель)
3. Узел ввода и взаимодействия газов и сорбента
4. Многозонный модуль с рукавными фильтрами
5. Смеситель твердых продуктов очистки дымовых газов (с возможностью добавления вяжущего)
6. Гранулятор
7. Узел выдержки (при необходимости)
8. Линия DALSICA
9. Подача отсевов известняка и золы (если нет золы – любой углеродсодержащий материал)

** отбор синтез-газа или теплоносителя – при необходимости

Сравнительные характеристики горючих газов

Газ	Теплота Сгорания _n , МДж/нм ³	Объем воздуха для горения, нм ³ /нм ³	Объем продуктов сгорания, нм ³ /нм ³	Пределы воспламеняемости, % газа в смеси с воздухом (от - до)	
СО оксид углерода	12,6	2,38	2,88	12	74
СН ₄ метан (≈природный)	36	9,52	10,5	5	14
Н ₂ водород	10,8	2,38	2,88	4	74

Из этих данных следует, в том числе: **а)** относительная плотность энергии $CO:CH_4=1,25:1$; **б)** при сжигании СО (чистого или в смеси с CO_2 или N_2) не образуются канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) благодаря отсутствию H_2 или радикалов H ; **в)** широкие пределы воспламеняемости позволяют эффективно сжигать СО при большом разбросе или нестабильности избытка воздуха.

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОЕКТОВ

В условиях стабилизирующихся на высоком уровне цен на основные энергоносители очевидна целесообразность создания экологичных и топливосберегающих систем на объектах энергетики и стройиндустрии путем реализации отдельных проектов. Это сократит сроки модернизации объектов в целях предотвращения их коллапса. Возможна разработка и запуск реализации межотраслевой программы в развитие Программ Минэнерго и Госстроя по технологии DALSICA, при наличии целесообразных инициатив.

Для создания систем серозолоочистки DALSICA на ТЭС предварительная проработка (предТЭО), как правило, не потребуется – основные компоненты, свойства углей, мощности и т.д. известны, открытая информация изложена в публикации. Система должна включать по меньшей мере базовый комплект узла получения сорбентов. Реализация проекта может быть начата с заказа ТЭО. Целесообразно разработку ТЭО и привязку компоновки узла очистки к ТЭС выполнять одновременно с началом изготовления базового узла получения сорбента.

Для создания производств стройматериалов, газоочистных, теплогенерирующих, утилизирующих установок и других систем DALSICA вне ТЭС, может потребоваться предварительная проработка основных параметров системы (заказ предТЭО до или с рТЭО).

В соответствии с действующими нормативами (ЮНИДО), стоимость предТЭО/рТЭО как правило составляет от 1-3% предполагаемой стоимости проекта.

Для обеспечения конфиденциальности в отношении технологической и другой информации, как на этапах ТЭО, так и реализации проектов, – лицензиями предусмотрено привлечение специалистов заказчика по отдельным договорам в качестве консультантов.

Основные источники:

1. Долгополов В.Н. Описание к паспорту экспортной лицензии № 2651. М. ГКНТ. 1991.
2. Долгополов В.Н. Патенты США US5830394, КНР CN1035172, ЕвроПатент EP0507945.
3. Долгополов В.Н. Материалы доклада приемочной комиссии Минэнерго Украины. 1998.
4. Долгополов В.Н. Материалы отчета о деятельности Института "АкадемРесурсо-ЭнергоПроект" Президиуму Академии строительства Украины. 2010.
5. Сябер М.О. Використання відходів спалювання вугілля на ТЕС – нагальна потреба часу // Енергетика та електрифікація. 2010. №3.
6. Дворников А.Г., Кирикилица С.И. Ртутоносность углей Донецкого бассейна. – М.: Недра, 1987. 155 с.
7. Руденский А.В. Возможности экономии энергоресурсов при строительстве и ремонте автомобильных дорог // Строительные материалы. 2010. №10.
8. Manual for the Industrial Feasibility Studies. UNIDO. Vienna. 1991. 386p. = Руководство по обоснованию эффективности инвестиций. Пер. с англ. ЮНИДО. М. 1995. 528 с.

© В.Долгополов 1989-2012

(info@dalsica.com)