





## Инновационные решения для тепловых электростанций

# Содержание

- |         |  |
|---------|--|
| стр. 04 | 1. Повышение эффективности управления технологическими процессами тепловой станции                         |
| стр. 10 | 2. Моделирование и расчет показателей эффективности  |
| стр. 14 | 3. Системы сухого золошлакоудаления  |
| стр. 20 | 4. Плазменная технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах                               |
| стр. 26 | 5. Технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах с применением механоактивированного угля |
| стр. 30 | 6. Фильтрация промышленных газов от твердых частиц   |

Александр Буйдов,  
генеральный  
директор  
инжиниринговой  
компании Р.В.С.



## Инновации для бизнеса

Р.В.С. - инжиниринговая компания, реализующая инновационные проекты для промышленных энергоемких производств и энергокомпаний.

Компания Р.В.С. постоянно развивает свои отношения с зарубежными вендорами и привлекает инновационные решения для автоматизации технологических процессов энергетических и промпредприятий. Р.В.С. адаптирует для российской энергетики решения, показавшие высокий уровень эффективности в странах Европы, Азии и Америки.

Мы накопили значительный опыт и наблюдения, чтобы сделать вывод о том, какие решения и новшества позволят российским компаниям значительно сократить технологическое отставание от зарубежных коллег и повысить эффективность бизнеса.

Например, генерирующие компании, которые используют уголь в производстве энергии. В Китае, где 80% генерирующих компаний работают на угле, золоотвалы не проектируются и не строятся. В России

образуется около 30 млн. тонн золы и шлаков в год. Затраты на эксплуатацию системы удаления и хранения золошлакоотходов составляют до 10% от общих эксплуатационных затрат. Реконструкция систем золоудаления и оснащение котлоагрегатов станции автоматизируемой системой позволит реализовать сухую технологию удаления шлаков и золы. Подобное решение несет в себе очевидные преимущества: снижение экологических платежей, эксплуатационных затрат, уменьшение стоимости процесса золошлакоудаления и многое другое.

В этой брошюре Вы найдете обзор и доказательство эффективности использования инновационных решений для генерирующих компаний.

Мы надеемся, что они будут полезны Вашему бизнесу.



1.

## Повышение эффективности управления технологическими процессами тепловой электростанции

Одним из методов повышения эффективности управления технологическими процессами станций является метод модельного прогнозирующего управления MPC (model predictive control).

Модельное прогнозирующее управление позволяет совершенствовать эксплуатационные характеристики применительно к задачам управления различными системами, включая многомерные системы и системы с переменными параметрами при наличии ограничений на регулируемые и управляющие переменные. Изначально технология MPC была разработана для нефтеперерабатывающей отрасли.

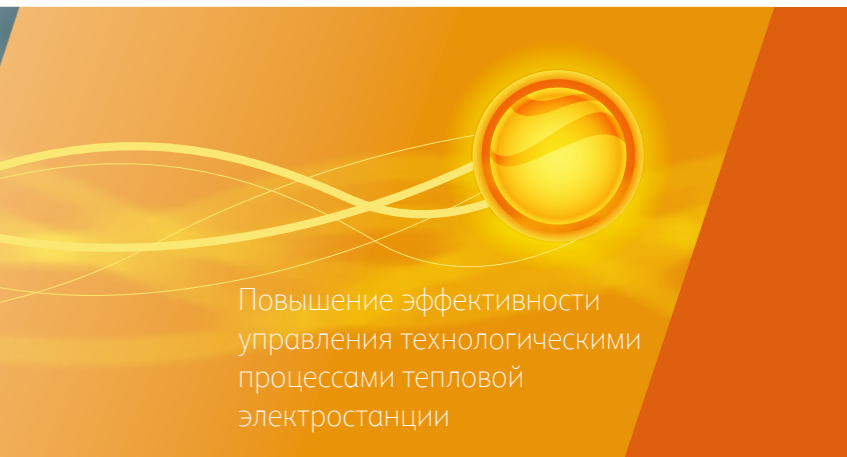
Экономическое преимущество внедрения технологии MPC становится значительным, особенно учитывая высокую стоимость энергоносителей и более жесткие требования к охране окружающей среды. Реализация MPC на объектах энергетического сектора позволяет достичь уменьшения эксплуатационных затрат от 2% до 6%

за счет снижения степени отклонения рабочих характеристик процесса от номинальных.

В настоящее время существует ряд коммерческих пакетов, которые дают промышленные робастные варианты алгоритмов MPC в области управления технологическими процессами в теплоэнергетике. Среди них можно выделить решения компаний Honeywell (AES – Advanced Energy Solutions), MathWorks (Model Predictive Control Toolbox), EUTech Scientific Engineering (EUcontrol).

### Преимущества использования решения:

- Увеличение КПД работы котлов за счет оптимизации процессов горения на 1-4%;
- Уменьшение удельного расхода топлива на 0,25-3,5%;
- Сокращение ремонтных расходов на 3-7%;
- Уменьшение выбросов NOx на 8-40%;
- Сокращение доли несгоревшего угля в золе до 1-5%;
- Эффективная стабилизация режимов при изменении качества топлива;
- Повышение общей эффективности производства на 2-3%;
- Повышение коэффициента готовности мощностей.



Повышение эффективности управления технологическими процессами тепловой электростанции

## Основные этапы реализации проекта

- Сбор технологической информации;
- Технико-экономический аудит;
- Построение математической модели процесса;
- Сопровождение модели;
- Исследование управляемости и наблюдаемости;
- Формирования и утверждение критериев оптимизации (методика расчета ТЭП);
- Формирование требований к функционированию процесса и выработка стратегии управления;
- Проектирование регулятора и наблюдателя;
- Инсталляция усовершенствованной системы управления;
- Мониторинг эксплуатационных характеристик на основе ТЭП и подтверждение результатов оптимизации;
- Сопровождение проекта.

## Использование решения в мире

Имеются данные о более чем 2000 применениях технологии MPC и число этих внедрений постоянно растет. Метод начинает все больше использоваться в энергетике. В России сообщений о реализации технологии MPC на объектах энергетического сектора пока нет.

Одним из самых показательных проектов, применяющих технологию MPC на энергетическом объекте является реализация проекта автоматизации крупнейшего в мире котла сверхкритического давления с циркулирующим кипящим слоем на ТЭС Lagisza (Польша) энергоблока мощностью 460 МВт, введенного в промышленную эксплуатацию в 2009 г.

Главным ядром системы управления в этом проекте является MPC контроллер, размерностью 8x8 (8 контролируемых параметров и 8 управляющих воздействий).

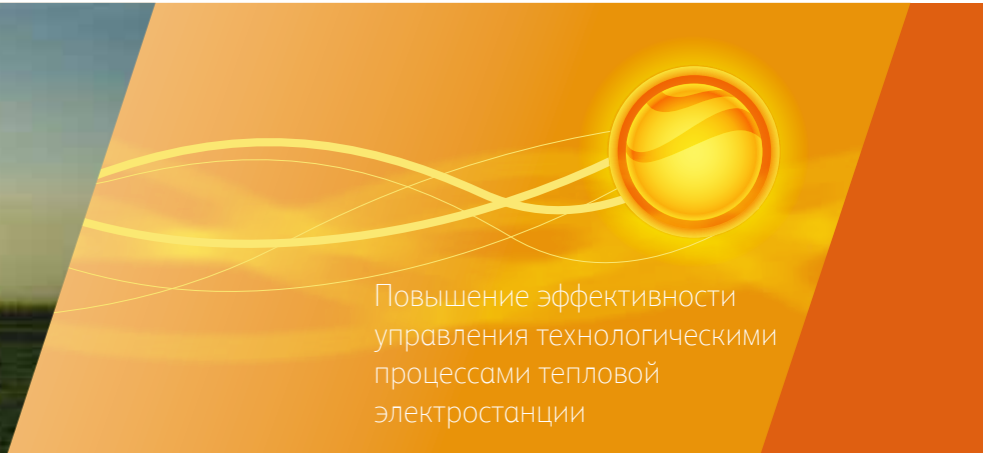
В результате удалось добиться следующих показателей: реальный КПД котла оказался даже выше проектного, отклонения температуры и давления острого пара составили  $\pm 3^\circ\text{C}$  и  $\pm 3$  бар соответственно; возможность использования широкого диапазона твердых топлив; надёжная работа котлов в диапазоне нагрузок 20-100 %; высокие экологические показатели; низкие затраты энергии на собственные нужды, простота обслуживания при эксплуатации.

## Российский опыт

На ТЭС России вырабатывается около 564,8 млрд кВт\*ч электроэнергии при среднем расходе удельного условного топлива 338,5 г/(кВт ч), в то время как среднемировой показатель 200-250 г/(кВт ч). В результате приходится сжигать 191,2 млн. т.у.т. ежегодно. Экономия условного топлива на 1 г/кВт\*ч (0,3%) в масштабах России дает экономию условного топлива 0,57 млн. т.у.т. в год, что составляет 3.9 – 4.2 млрд рублей экономии в год (при использовании мазута в качестве условного топлива).

65% затрат за срок службы базовых и полупиковых ТЭС приходится на стоимость топлива. В связи с этим, повышение их КПД является важнейшей задачей.

Лучшие пылеугольные энергоблоки ТЭС западных стран имеют КПД на уровне 45 %, в России – 36%. Даже если учесть некоторую некорректность сравнения средних показателей группы энергоблоков России и лучших западных ТЭС, разница в КПД составит не менее 5% (абс.), что дает разницу в расходе топлива в 10–12 %.



Повышение эффективности управления технологическими процессами тепловой электростанции

## Пример экономического расчета проекта

Технология MPC в мире уже достаточно отработана и показателем качества работы данной стратегии управления является тот факт, что контракты на реализацию таких проектов заключаются на условиях pay-for-performance, т.е. оплата по контакту осуществляется за достигнутые показатели производительности. Схема работы по такому контракту выглядит следующим образом: первым и обязательным этапом является технико-экономический аудит, в ходе которого определяются технические возможности повышения эффективности производства, критерии оценки эффекта и прогнозируемые показатели производительности, которые могут быть достигнуты в результате реализации проекта. Кроме этого определяются сроки и штрафы/премии за достижение/превышение уровня повышения производительности/экономии по сравнению с текущим базовым вариантом.

Ориентировочная стоимость решений по оптимизации показателей работы ТЭС определяется диапазоном от \$30 тыс. до \$100 тыс. (без учета оборудования КИПиА и аппаратной части) и зависит от существующей структуры АСУ станции и специфики технологического процесса производства тепла и электроэнергии.

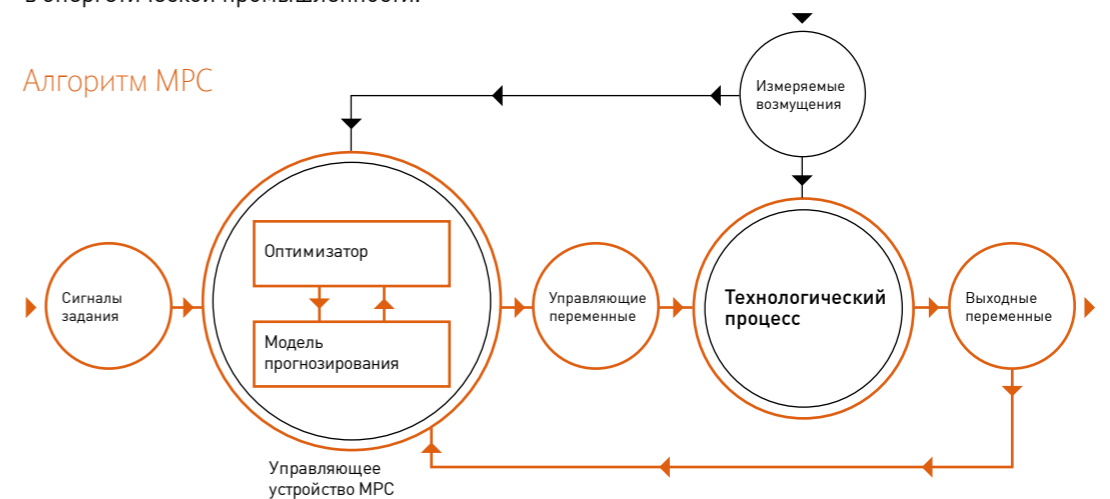
Срок достижения экономического эффекта, как показывает опыт, обратно пропорционален заложенному интеллекту в стратегию управления. Для сравнения, период окупаемости решения, заключающегося в переходе на современные средства автоматизации при сохранении существующей структуры управления, составляет около 7 лет (~14% в год от вложенных средств). Применение же усовершенствованных технологий управления позволит окупить вложения менее чем за 1 год.

Для приблизительной оценки экономического эффекта можно использовать следующий расчет: для ТЭС эффект составляет от 1,5 до 4,5% выручки от продажи электроэнергии. Типовая оценка – 2,0-2,5%.

## Технические особенности решения

Алгоритм MPC использует знания о динамических характеристиках технологического процесса. Все взаимодействия между переменными процесса рассчитываются на основе непрерывного решения в реальном масштабе времени системы уравнений, описывающей систему. Это является главным отличием от традиционного управления, например, такого как PID-управления, где каждый регулятор имеет один вход и один выход. Стратегия MPC позволяет учитывать ограничения, накладываемые на систему, и взаимодействия между переменными процесса, что позволяет обеспечивать оптимальное управление объектами в энергетической промышленности.

Алгоритм MPC



Типовая структура системы автоматизации энергоблока, основанная на модельном прогнозирующем управлении





## 2.

# Моделирование и расчет показателей эффективности

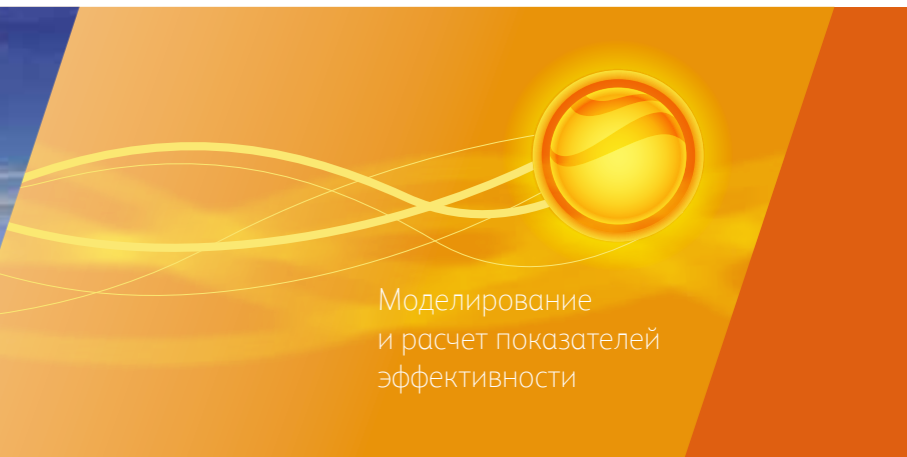
Основной целью расчёта показателей эффективности является формирование и предоставление информации, необходимой для обеспечения наиболее экономичной эксплуатации энергооборудования ТЭС, прогнозирование ремонта оборудования, оценки качества работы эксплуатационного персонала, проведения наладочных и эксплуатационных испытаний, составления отчётности о тепловой экономичности энергоблоков.

Расчёт технико-экономических показателей (ТЭП) базируется на технико-экономической модели ТЭС и информации, получаемой с аналоговых и дискретных датчиков, установленных на энергооборудовании.

Технико-экономическая модель ТЭС является базовой основой при принятии решений по режимам работы энергооборудования в рамках электростанции и на оптовом рынке электроэнергии, для управления, планирования, прогнозирования и контроля производства электроэнергии и тепла на ТЭС.

## Преимущества

- Расчёт оптимальных производственных планов по критериям минимизации себестоимости производства и выработка рекомендаций по несению электрической нагрузки;
- Оптимизация распределения загрузки работающего оборудования в соответствии с заданным диспетчерским графиком нагрузки по критерию минимизации затрат на топливо;
- Оптимизация режимов работы оборудования ТЭС в формате максимизации маржинального дохода станции или минимизации затрат на производство;
- Автоматическое формирование отчетной документации за смену, сутки, месяц, год в соответствии со списком и заданными формами, а также произвольной формы и за произвольный интервал;
- Моделирование энергетических характеристик отдельных видов оборудования и станции в целом с заданной точностью при производстве ими тепла и электроэнергии.



Моделирование  
и расчет показателей  
эффективности

## Технология

Основой решения является:

- Платформа для сбора технологических данных и информационного обмена со смежными системами.

На этом уровне интегрируются в одно информационное пространство, единую структуру баз данных все разнородные источники информации, в том числе инструментарий ручного ввода.

- Математическая платформа, являющаяся главным вычислительным ядром.

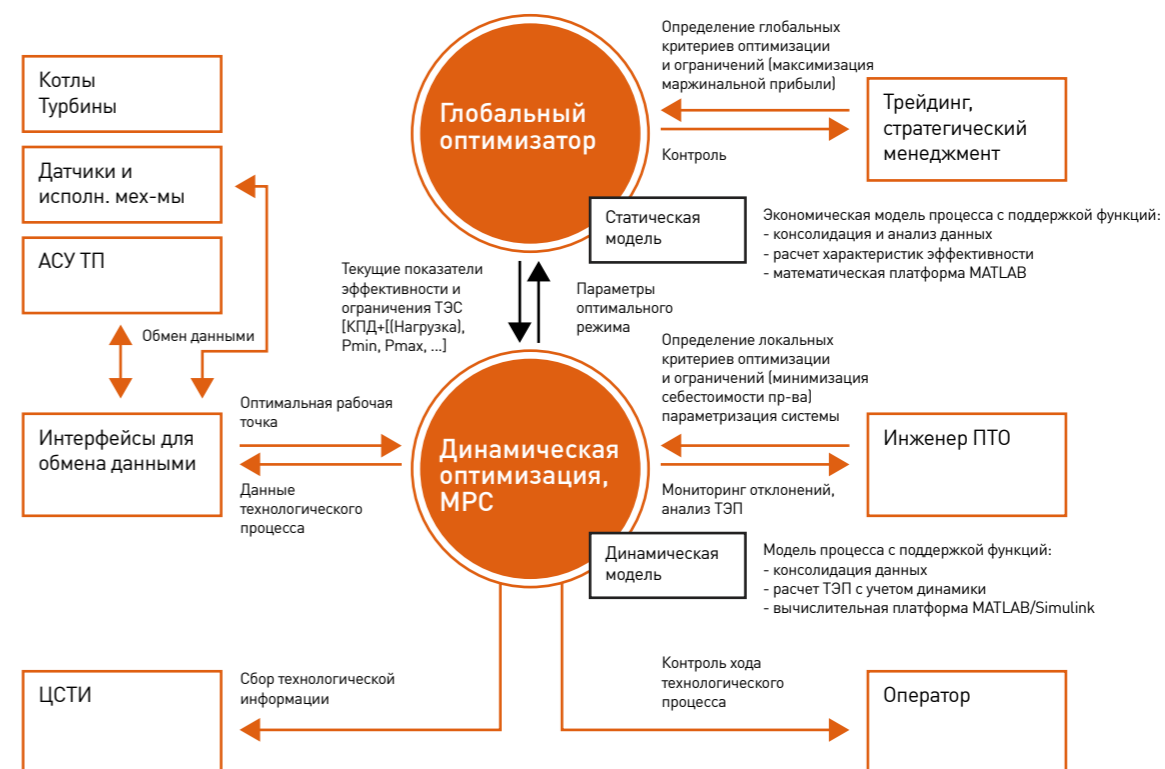
На данном уровне строится весь процесс расчета ТЭП, моделирования и оптимизационных расчетов, прогнозирования, формирования оптимальных заявок.

- Платформа для визуализации и управления технологическими и бизнес процессами.

В основе данного уровня лежит инструмент, позволяющий решать задачи интеграции с существующими информационными системами, организации взаимодействия с инфраструктурой компании, доступа к производственным данным, формирования оперативных отчетов.

Такая структура позволяет в едином инструментарии унифицировать задачи по сбору данных, реализации расчетных макетов и других математических задач. Все пользователи системы работают в едином интерфейсе, какой бы задачей они в конкретный момент времени не занимались. При этом развитие прикладного функционала комплекса не предусматривает увеличение программных продуктов в его составе, поскольку заложенные в решение платформы разработки моделей и человеко-машинного интерфейса позволяют решить фактически любую задачу, стоящую перед пользователем (трейдингом или производством).

## Функциональная схема системы оптимального управления



## Партнёры

Партнёрами по данному направлению являются ведущие научные коллективы, научно-исследовательские и проектные теплоэнергетические институты, а также зарубежные компании MathWorks, Iconics, Honeywell, OSISoft.

## Системы сухого золошлакоудаления

По оценкам экспертов затраты ТЭС с «мокрым» золошлакоудалением только на экологические платежи составляют 300 – 400 руб. за каждую тонну заскладированных золошлакоотходов. Под хранение золы и шлаков ТЭС в России отчуждено 20 тыс. км<sup>2</sup> земельных участков, на которых хранится 1,3-1,5 млрд. т золошлаков. Дополнительно к этому ежегодно электростанции производят до 30 млн. тонн, из которых всего 3 млн. тонн (10%) используются для собственных нужд, в стройиндустрии, промышленности строительных материалов, дорожном строительстве и других отраслях промышленности. Экологически вредные щелочные растворы из хранилищ попадают в грунтовые и поверхностные воды.

Другая ситуация в Европе, где большая часть произведенной золы используется в строительной индустрии и гражданском строительстве. Только около 2 % золы временно складировается для будущего использования и менее 9% размещается в отвалах.

Суть решения проблемы золошлакоудаления в России заключается в модернизации существующих систем золошлакоудаления

(ЗШУ) – оснащение котлоагрегатов электростанций, работающих на пылеугольном топливе, автоматизируемой системой, позволяющей реализовать сухую технологию удаления шлаков и золы. В паровых котлах, работающих на твердом топливе, значительное количество энергии содержится в золошлаковых отходах. В системах гидрозолоудаления эта энергия абсолютно теряется из-за гашения золошлаков водой. В результате удается повысить эффективность работы котла на 0,5-1%.

В России примеры сухого удаления и складирования золы и шлака на котельных и ТЭС единичны. Подобная система применена на Рефтинской ГРЭС, входящей в состав Энел ОГК-5.

«Сухой» вариант золошлакоудаления – естественный выбор для электростанций, где текущие золоотвалы близки к исчерпанию. Использование технологии сухого золоотвала на порядок более экологичное и экономически выгодное решение чем повсеместно действующее «мокрое» золоудаление. Кроме того, отпадает необходимость в строительстве ограждающих дамб для мокрых золоотвалов,

сведен к минимуму расход воды, а объем золы можно использовать для производства строительных материалов.

Идея использования золы в качестве строительного материала не нова. Более 2000 лет назад римляне использовали вулканическую золу для строительства величайших конструкций, доживших и до наших дней, например, Римского Пантеона.

Существуют несколько ведущих мировых производителей технологических циклов сухого ЗШУ: Magaldi Group (Италия), Clyde Bergemann Power Group (Германия), Claudius Peters (Франция), Lodige (Германия), Tenova Takraf (Германия), Tedo (Чехия), Alstom (Швейцария).

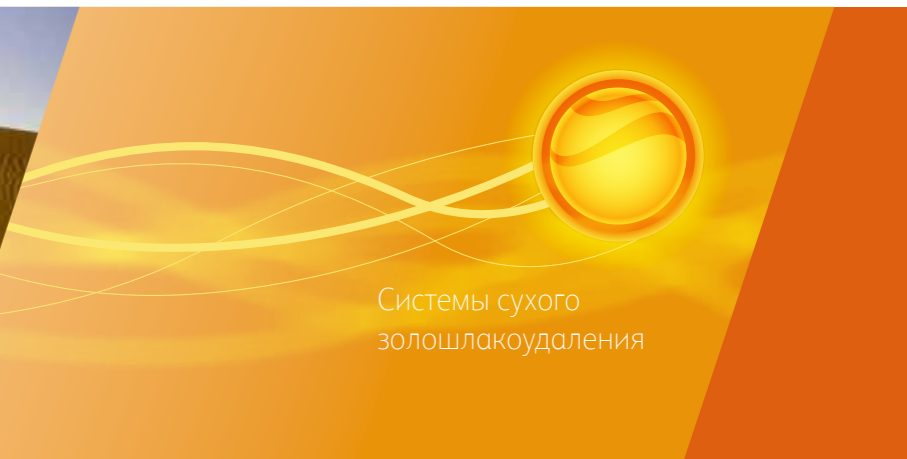
Развертывание решения по сухому золоудалению может рассматриваться в комплексе с вопросом строительства завода-спутника по производству силикатного кирпича и других строительных материалов.

## Эффект от использования решения

При переходе от традиционной системы гидрошлакоудаления к системе сухого шлакоудаления увеличение термического КПД котла составляет 0,35...0,50 %, а следовательно, снижается удельный расход топлива на производство энергии и выбросы CO<sub>2</sub>.

Внедрение системы сухого шлакоудаления позволит ощутимо снизить издержки на энергетическое производство, учитывая следующие факты:

- Затраты на создание и эксплуатацию системы сухого шлакоудаления можно полностью или частично учесть в цене поставляемого молотого шлака. Одними из лучших потребителей молотого шлака являются цементные заводы;
- Отсутствие затрат на использование технологической воды для транспортных целей в системе шлакоудаления;
- В системе сухого шлакоудаления не происходит коррозионный износ вследствие отсутствия в ней воды;
- Отсутствие платежей за использование земли для размещения гидротрубопроводов, багерных насосных станций, станций перекачки оборотного водоснабжения и гидрошлакоотвалов вне территории промплощадки ТЭС;
- Экологические платежи, связанные с системой шлакоудаления, будут практически отсутствовать и станут пренебрежимо малы.



Системы сухого  
золошлакоудаления

## Мировой опыт

Принципиальная идеологическая разница: в развитых странах золошлаки называются побочным продуктом ТЭС и электростанции осуществляют предпродажную подготовку продукта, доводя её характеристики до требований официальных строительных нормативных документов.

В России золошлаки официально называются отходами, и электростанции предлагают потребителям именно отходы, а не технологически доработанный продукт с соответствием его характеристик требованиям строительных нормативных документов.

В развитых странах Европы используется 70-95% золошлаков от их выхода, а в Нидерландах и Дании 100%. Особые условия развития электроэнергетики США, Германии, Канады и некоторых других стран, заключающиеся в высокой стоимости земли, дефиците водных ресурсов в районах размещения ТЭС, развитых сетей автомобильных дорог и транспорта, наличие жесткого природоохранного законодательства, стимулирующее замену природного сырья побочными продуктами различных производств, высокая степень научно-проектной и технической подготовленности предприятий строительной индустрии к использованию золошлаков ТЭС, а также

другие специфические технические и конъюнктурно-экономические условия predeterminedили широкое внедрение в электроэнергетике промышленно развитых стран с 50-х годов XX в. сухого удаления и складирования золошлаков.

В связи с очевидными преимуществами сухого способа складирования золы (улучшение экологических характеристик отвалов, низкий расход воды на ее удаление и складирование, практически полное исключение вымывания содержащихся в золошлаках вредных веществ и соответственно предотвращение загрязнения грунтовых вод, существенное сокращение площади территорий, отводимых под отвалы) практически на всех строящихся электростанциях США сооружаются сухие золоотвалы, а на большинстве действующих ТЭС, работающих на твердом топливе, гидравлический транспорт золошлаков заменен на автомобильный.

## Российский опыт

1. Проект: Система сухого золоудаления

**Заказчик:** Энел ОГК-5, Рефтинская ГРЭС.  
**Цель проекта:** снижение издержек на золоудаление.

Действующий золоотвал в ближайшей перспективе будет заполнен, а сохранение существующей системы гидрозолоудаления потребует в скором времени вырубку более 500 Га лесов под строительство нового золоотвала со сроком заполнения не более 12 лет и необходимостью поиска новых решений в будущем. Проект сухого золоудаления позволит продлить срок эксплуатации существующего золоотвала на срок до 40 лет и потребует отведения 45 Га земель под строительство вспомогательных объектов. Сухое золошлакоудаление даст снижение воздействия на окружающую среду в 5 раз. Снизится фильтрация воды из золоотвала, которая проникает в грунтовые воды, а в итоге – в водоемы.

**Результаты:** Система позволит избежать строительства новых мокрых золоотвалов, неблагоприятных с экологической точки зрения и использовать максимальный объем золы для производства строительных материалов.

**Стоимость проекта:** 5,9 млрд. руб. (без учета НДС)

## Данные

Затраты на сооружение систем гидрозолоудаления и отвалов достигают 12...17 % стоимости ТЭС, а затраты на их эксплуатацию — 7...10 % общих эксплуатационных затрат ТЭС. При этом стоимость сооружения непосредственно ГЗО (гидрозолошлакоотвала) составляет 60...70 % общей стоимости системы гидрозолошлакоудаления.

## Пример экономического расчета проекта

Основные интегральные показатели вариантов реконструкции системы золошлакоудаления  
(за основу взят проект реконструкции системы ЗШУ Рефтинской ГРЭС)

ПОКАЗАТЕЛИ	Гидро ЗШУ	Сухое ЗШУ
Площадь расширения золошлакохранилища, га	456,0	–*
Общая емкость золоотвала, млн. м <sup>3</sup>	137,2	185,3
Срок заполнения золоотвала, лет	20,6	36
Длина ограждающих дамб, км	49,4	–
Объем камня для строительства дамб, тыс. м <sup>3</sup>	4660,0	–
Стоимость дамбы (без НДС), млн. долларов	269,0	–
Оценка стоимости вариантов системы ЗШУ (без НДС), млн. долларов	448,0	241,0
Срок окупаемости инвестиционного проекта	никогда	В зависимости от объема реализации сухой золы и шлака**

\* – для строительства сухого золоотвала используются заполненные карты гидрозолошлакоотвала.

\*\* – средние общероссийские рыночные цены строительных материалов, которые могут заменить золошлаковые продукты:

- цемент – 1300 руб. за 1 т;
- песок – 170 руб. за 1 м<sup>3</sup>;
- щебень – 350 руб. за 1 м<sup>3</sup>;
- сухая смесь (кладочная и штукатурная) – 1500 руб. за 1 т.

## Прибыль для ТЭС от производства многопередельных золошлаковых продуктов:

- Замены клинкерного вяжущего (цемента) на смешанное малоклинкерное зольное вяжущее – 500 руб. на 1 т (опыт ОАО «Хакасстройматериалы» с использованием золы Абаканской ТЭЦ);
- Замены клинкерного вяжущего на бесклинкерное вяжущее на основе высокоосновных зол КАТЭКа (зол Канско-Ачинских бурых углей) – 800 руб. на 1 т;
- Производство золошлакового песка – 80 руб. на 1 т;
- Производство шлакового щебня (на основе опыта «Кузбассэнергострой») – 300 руб. на 1 т;
- Производство сухих смесей на основе малоклинкерного и бесклинкерного вяжущего, шлакового песка и щебня с сушкой отходящими газами – 1000 руб. на 1 т.

Прибыль от снижения расходов на собственные нужды ТЭС, связанных со складированием ЗШО в золоотвалах (экологические платежи, эксплуатационные затраты) за счет отгрузки многопередельных золошлакопродуктов потребителям – 300-400 руб. за 1 т.



4.

## Плазменная технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах

Ежегодно в РФ на поддержание горения пылеугольных котлов тратится более 5 млн. тонн мазута, при этом повсеместное снижение качества энергетических углей требует увеличения расхода мазута. Для растопки энергетического котла требуется в среднем 80-120 т мазута (при совокупной стоимости ~ 10 тыс. руб/тону).

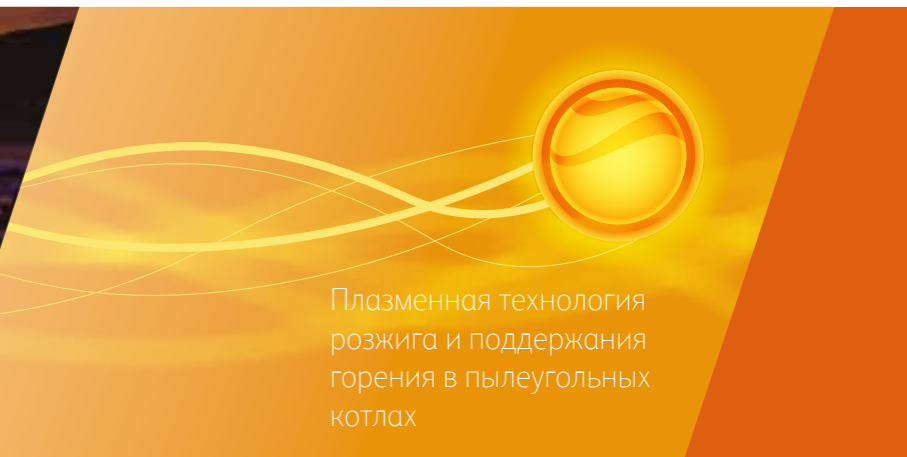
Одним из основных направлений развития энергетических компаний в Российской Федерации является повышение экономической эффективности и экологичности производственного цикла. В настоящее время масштабные проекты с долгосрочной окупаемостью труднореализуемы, поэтому приоритет отдается комплексным проектам, направленным на совместную оптимизацию экономических и экологических показателей работы энергетических предприятий.

Для розжига пылеугольных котлов и стабилизации процессов горения обычно применяют природный газ или мазут, стоимость которых постоянно растет, поэтому актуальным является использование в качестве растопочного топлива угольной пыли, которая по сравнению с газом и мазутом требует более высокой температуры

воспламенения и более длительного температурного воздействия, что связано с низким выходом «летучих» веществ по сравнению с газом и мазутом. Высокую ударную температуру способны развивать плазмотроны. Воздействие плазмы на угольную пыль приводит к ряду положительных изменений в ней, например: частицы угля дробятся на более мелкие части, происходит их интенсивная газификация, вследствие этого повышаются реакционные свойства топлива, горение протекает более устойчиво. Это актуально при сжигании низкосортных углей и позволяет осуществить растопку котла при кратковременной, необходимой для достижения растопочных параметров котла, работе плазмотрона. Плазменно-топливные системы уже испытаны на большом количестве энергетических котлов паропроизводительностью от 75 до 670 т/ч и оборудованных различными типами пылеугольных горелок (прямоточных, муфельных и вихревых горелок). При испытании плазменно-топливных систем сжигались угли всех сортов (бурый, каменный, антрацит и их смеси). Содержание «летучих» в них составляло от 4 до 50%, содержание золы – от 15 до 48%, и теплота сгорания была в интервале от 1600 до 6000 ккал/кг.

### Эффект от использования решения

- Повышение экономической эффективности, за счет уменьшения расходов на жидкое топливо;
- Повышение энергетической эффективности плазменно-топливных систем в 3-4 раза выше традиционных методов растопки котла (электрическая мощность плазмотронов составляет 0,5-2% от тепловой мощности пылеугольной установки);
- Снижение образования оксидов азота на 40-50% благодаря замещению стабилизирующего топлива (мазута или природного газа) углем;
- Снижение расходов на эксплуатационное обслуживание оборудования хранения, подачи жидкого топлива и систему жидкого топлива перед котлом;
- Повышение безопасности работы;
- Возможность автоматизации процесса розжига и стабилизации горения пылеугольного факела в котле;
- Освобождение производственных площадей при сокращении мазутохранилищ и снижение издержек на содержание мазутных хозяйств;
- Возможность растопки энергетических блоков ТЭС при потере собственных паровых нужд станции;
- Уменьшение в целом вредных выбросов в атмосферу.



Плазменная технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах

## Использование в мире

Технология плазменного розжига получила широкое распространение в течении последних лет на подавляющем большинстве угольных электростанций развитых стран мира. В Китае данной технологией оснащены более 470 угольных котлов, суммарной мощностью блоков более 200 млн. кВт, что составляет примерно 30% от общей установленной мощности страны. Плазменный розжиг используется также в Индонезии (6 блок Индонезийской ТЭС «Суналая» (600МВт); Монголии (Улан-Баторская ТЭС); Тайвани (1, 2 блоки Хопингской электростанции (2x660МВт); Словакии (ТЭС «Вояны»).

### 1. Проект: Дагуская ТЭС-2

**Описание:** На котлах 6x200 МВт были заменены 4 основных горелки в низком ярусе на 4 плазменные.

**Результаты:** Реализован полностью безмазутный метод растопки котлов.

### 2. Проект: Юйхуаньская ТЭС

**Описание:** На котле №2 блока мощностью 1000МВт применена плазменная технология зажигания и поддержания горения.

**Результаты:** Реализован полностью безмазутный метод растопки котла. КПД сгорания угольной пыли котла – высокое, состояние горения факела –устойчивое.

### 3. Проект: Samchonpo Thermal Power Station (Korea East-west Power Co., Ltd)

**Описание:** Производилась модернизация котла энергоблока 560 Мвт. Установка плазмотронов и пуско-наладка составили 20 дней.

**Результаты:** Реализован полностью безмазутный метод растопки котлов и подсветки пылеугольного факела, эмиссия NOx уменьшена на 50%.

## Возможности решения в России

В структуре производства электроэнергии в России преобладают тепловые электростанции, но при этом тепловые станции являются лидирующими по технологическому отставанию.

Структура производства электроэнергии в России\*



Уголь в качестве основного вида топлива используется на 96 станциях. На многих ТЭС он применяется наряду с газом или мазутом. В структуре использования топлива на теплоэлектростанциях уголь занимает 25%.

Впервые плазменная технология розжига была разработана российскими учеными и применена на Гусиноозерской ГРЭС на котлах типа ТПЕ- 215, БКЗ -640, БКЗ-420. Но к сожалению, данные разработки не получили промышленной реализации.

Успешным проектом в России является использование автоматизированной технологии плазменного розжига Китайской Янтайской электротехнической компании на Хабаровской ТЭС-3.

## Проект в России

Проект: Дальневосточная генерирующая компания, Хабаровская ТЭС-3 энергоблок №1

**Описание:** На Хабаровской ТЭС-3 установлен котельный агрегат ТПЕ-215 энергоблока №1 с естественной циркуляцией и сухим шлакоудалением и предназначен для получения пара высокого давления при сжигании смеси нерюнгринского угля. Используется прямоточная система пылеприготовления с 6 молотковыми мельницами ММТ-2000/2590/750К. Котел имеет 48 амбразур пылеугольных горелок и 16 мазутных горелок. При внедрении системы плазменного розжига, были заменены 8 основных горелок во втором ярусе на 8 плазменных.

**Результаты:** На каждый цикл растопки уходило до 70 тонн мазута. Стоимостью 800 тыс.рублей. Применение плазмотрона позволит сэкономить 5 млн. рублей на одном блоке. Срок окупаемости проекта – 5 лет.

Использование данной технологии в России только начинается и имеет огромный потенциал.

\* – по данным РАО ЕЭС России 2007 год



Плазменная технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах

## Технические особенности решения

Плазма – это ионизированный газ, в котором объемные плотности положительных и отрицательных электрических зарядов, образующих плазму заряженных частиц практически одинаковы, а концентрация этих частиц сравнительно велика. Плазма образуется при электрических разрядах в газах, при нагреве газа до температуры достаточно высокой для протекания интенсивной ионизации.

В настоящее время широко используется плазматрон, плазменный генератор, – газоразрядное устройство для получения «холодной» плазмы. В электродуговых плазматронах образуется локально-высокотемпературная зона в дуговом разряде между катодом и водоохлаждаемым анодом. Электроды обладают большим сроком службы и удобной конструкцией для замены. Выходные мощности плазматронов регулируются в пределах 50 кВт – 200 кВт.

## Технология плазменного розжига включает в себя следующие компоненты:

- Плазматроны;
- Плазменные горелки;
- Систему охлаждающей воды;
- Систему подачи сжатого воздуха;
- Систему пылеприготовления котла в холодном состоянии;
- Систему контроля температуры стенок;
- Систему контроля за аэросмесью с первичных воздухом;
- Систему источника питания постоянного тока;
- Систему видеоконтроля факела;
- Систему управления плазменного розжига котла.

## Пример экономического расчета проекта

Инвестиции в реализацию технологии плазменного розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах в среднем составят **от 0,5 до 1,5 млн. долларов на котел**, в зависимости от используемого типа угля и ряда технологических параметров котла. Срок возврата инвестиций на реализацию системы плазменного розжига и подсветки топлива – от одного до трех лет.

Сроки реализации проекта - **от 4 до 6 месяцев**. Работы по внедрению системы плазменного розжига включают в себя этапы:

1. Детальное предпроектное обследование, расчет технико-экономических обоснований;
2. Анализ образцов используемого типа угля на конкретном котле;
3. Изготовление плазматрона с учетом всех требований заказчика и условий эксплуатации;
4. Проектные работы;
5. Поставка оборудования;
6. Монтажные и пуско-наладочные работы;
7. Сдача системы в промышленную эксплуатацию.



5.

## Технология розжига и поддержания горения в пылеугольных котлах с применением механоактивированного угля

Для розжига пылеугольных котлов и стабилизации процессов горения российские энергетики обычно используют дорогостоящий мазут. Энергокомпании уже давно занимаются поиском технологий, которые помогли бы снизить долю мазута в топливном балансе электростанции и сократить статью расходов на жидкое топливо. Проблема его использования состоит в том, что содержать огромное мазутное хозяйство слишком дорого и нерационально – мазут доставляют железнодорожными цистернами, хранят в специальных хранилищах, мазутопроводы необходимо постоянно поддерживать в горячем состоянии. К тому же этот вид топлива постоянно дорожает, особенно в удаленных

и труднодоступных районах. Например, чтобы разжечь один котел средней мощности нужно в среднем около 80 тонн мазута и примерно 4-5 часов. Вместо мазута для розжига котлов можно использовать тот же уголь, который является основным топливом. Однако, вместо мазута для розжига пылеугольных котлов можно использовать уголь, который используется в качестве основного топлива. Одной из наиболее эффективных технологий снижения потребления мазута является использование механоактивированных углей микропомола.

### Преимущества

- Экономия при покупке и транспортировке мазута;
- Сокращение вредных выбросов в атмосферу;
- Повышение безопасности работы;
- Автоматизация процесс розжига и поддержания горения пылеугольного факела.



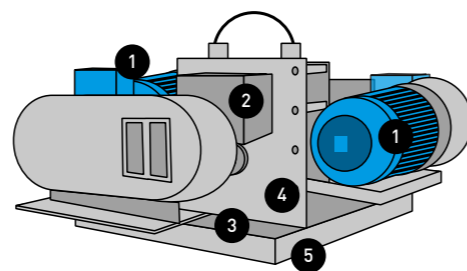
Технология розжига  
и поддержания горения  
в пылеугольных котлах  
с применением  
механоактивированного угля

## Технология

Суть метода в том, что уголь, используемый, как основное топливо измельчается с помощью мельниц - дезинтеграторов в угольную пыль микропомола.

Мельница-Дезинтегратор - оборудование для физико-механической обработки, представляющий собой помольно-смешивающий (дробильно-помольный) агрегат по измельчению твердых сыпучих материалов различного происхождения методом высокоскоростного свободного удара. Мельница состоит из рабочей камеры, к торцевым поверхностям которой присоединены два электродвигателя, являющихся приводами роторов. В кольцах роторов приварены пальцы-лопасти, являющиеся ударными элементами. Рабочая камера состоит из корпуса и крышки, соединенные шарниром.

Результаты по сжиганию механоактивированных углей микропомола показали, что предлагаемая энергоэффективная технология обеспечивает новые потребительские свойства угля – повышение их реакционной способности. При этом пылеугольный факел, за счет изменения физико-химических свойств угля, становится аналогом жидкому топливу (по размерам, теплоснапряженности и интенсивности выгорания), что и позволяет производить его замещение.



Мельница-дезинтегратор

1. Электродвигатели
2. Загрузочный бункер
3. Разгрузочный фланец
4. Корпус
5. Подставка

## Область применения

Технология использования механоактивированных углей микропомола может быть использована для следующих задач:

- Переоборудования угольных котлов с цепной решеткой на сжигание механоактивированных углей микропомола;
- Замещения используемого жидкого топлива (мазута, дизельного) на газомазутных котлах в «малой» энергетике;
- Замещения используемого мазута при розжиге и стабилизации горения пылеугольного факела на пылеугольных котлах в «большой» энергетике.

## Внедрение

Внедрение технологии сводится к переоснащению котла/котельной, использующей жидкое топливо (мазут, дизельное топливо) новыми технологическими узлами для их замещения – устройствами механоактивации углей микропомола и дополнительным оборудованием хранения, подачи и сжигания угля, а также системами золоулавливания и золоудаления.

Технические решения на дополнительное оборудование являются стандартными, применительно к конкретным решениям, потребуется только их модификация.

Проведенные расчеты коммерческой эффективности показывают, что проекты по применению механоактивированных углей микропомола для ряда котельных характеризуются короткими сроками окупаемости от 1 года до 3 лет, а в «большой» энергетике для замещения мазутного розжига и подсветки на пылеугольных котлах – порядка от 2-х до 5-ти лет.

## Фильтрация промышленных газов от твердых частиц

Необходимость очистки промышленных газов от твердых частиц, оксидов серы  $SO_2$ , оксидов азота  $NO_x$  и тяжелых металлов возникает при эмиссии этих газов в атмосферу на таких производствах как угольная энергетика, черная и цветная металлургия, цементная и химическая промышленность. Применение наилучших доступных технологий (НДТ) позволяет достигнуть показателей очистки удовлетворяющих как российским нормативам, так и нормативам ЕС. Компания Р.В.С. предлагает ряд НДТ технологий в области газоочистки:

- Очистка от твердых частиц:
  - o ESP - Electrostatic precipitator (Электрический фильтр);
  - o FF - Fabric filter (Рукавный фильтр);
- Очистка от оксидов азота  $NO_x$ :
  - o SCR - selective catalytic reduction (Селективное каталитическое восстановление);

- o SNCR – selective non catalytic reduction (Селективное некаталитическое восстановление);
- Очистка от оксидов серы:
  - o Wet FGD - Wet Flue Gas Desulfurization (Мокрая очистка от оксидов серы);
  - o Dry FGD - Dry Flue Gas Desulfurization (Сухая очистка от оксидов серы).

Наиболее распространёнными технологиями очистки промышленных газов в России являются электрический и рукавный фильтр.

## Преимущества внедрения НДТ

- Улучшение экологической ситуации в регионе;
- Снижение выплат за выбросы вредных веществ в атмосферу;
- Улучшение имиджа компании;
- Увеличение капитализации компании;
- Снижение финансовых рисков;
- Повышение рейтинга компании и инвестиционной привлекательности у иностранных инвесторов;
- Возможность получения льготных кредитных программ европейских банков на модернизацию производства.

## Технология – Электрический фильтр

Электрический фильтр относится к НДТ технологиям и рекомендованы к внедрению в России и странах ЕС.

Компания Р.В.С. предлагает электрические фильтры, имеющие следующие особенности:

- Остаточная запыленность менее 20 мг/нм<sup>3</sup>;
- Температура очищаемых газов до 400°С;
- Объем очищаемых газов до 2 000 000 м<sup>3</sup>/ч;
- Входная запыленность до 200 г/нм<sup>3</sup>;
- Уникальная индукционная система встряхивания осадительных и коронирующих электродов, расположенная сверху электрического фильтра;
- Применение современных агрегатов питания;
- Система управления агрегатами питания 3-го поколения;
- Имеется обратная связь по выходной запыленности;
- Возможность сборки укрупненными частями.

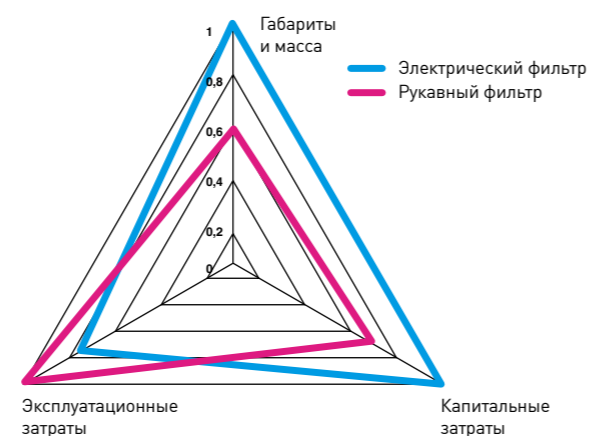
## Технология – Рукавный фильтр

Рукавный фильтр относится к НДТ технологиям и рекомендованы к внедрению в России и странах ЕС.

Компания Р.В.С. предлагает рукавные фильтры, имеющие следующие технические особенности:

- Остаточная запыленность менее 5-10 мг/нм<sup>3</sup>;
- Температура очищаемых газов до 280°С;
- Объем очищаемых газов до 4 000 000 м<sup>3</sup>/ч;
- Входная запыленность до 1000 г/нм<sup>3</sup>;
- Исполнение, как с импульсной, так и обратной регенерацией;
- Имеется обратная связь по выходной запыленности;
- Использование фильтровальных элементов длиной до 10 м.

Рациональность применения электрического или рукавного фильтра в первую очередь определяется параметрами технологического процесса в результате которого необходима очистка газов.



Сравнение технологий фильтрации электрического и рукавного фильтра можно провести по габаритам установки, капитальным и эксплуатационным затратам. Электрический фильтр как правило обладает большими габаритами, массой и капитальными затратами по сравнению с рукавным фильтром, но меньшими эксплуатационными затратами. Соотношение габаритов и затрат той или иной технологии в первую очередь определяется технологическим процессом, для которого подбирается техническое решение по очистке газов. Отметим лишь некоторые основные особенности:

- Эффективность очистки рукавных фильтров, как правило, выше, чем у электрических. Можно добиться уровня остаточной запыленности после рукавного фильтра в 1 мг/нм<sup>3</sup>, в то время как в электрическом фильтре с трудом достигается уровень в 20 мг/нм<sup>3</sup>. С другой стороны электрофильтры могут работать при температуре в 400°С, в то время как для рукавных фильтров уровень температуры в 280°С является предельным.

- Рукавные фильтры не чувствительны к удельному электрическому сопротивлению золы (УЭС) и улавливают одинаково хорошо как низкоомные, так и высокоомные пыли, но фильтровальные элементы подвержены серьезному абразивному износу, в то время как в электрическом фильтре абразивный износ практически отсутствует.

- Другим преимуществом рукавных фильтров является, то, что их эффективность практически не зависит от дисперсности улавливаемых частиц и определяется нижней границей размеров частиц. Эффективность работы электрических фильтров напротив очень сильно зависит от дисперсного состава улавливаемых частиц.

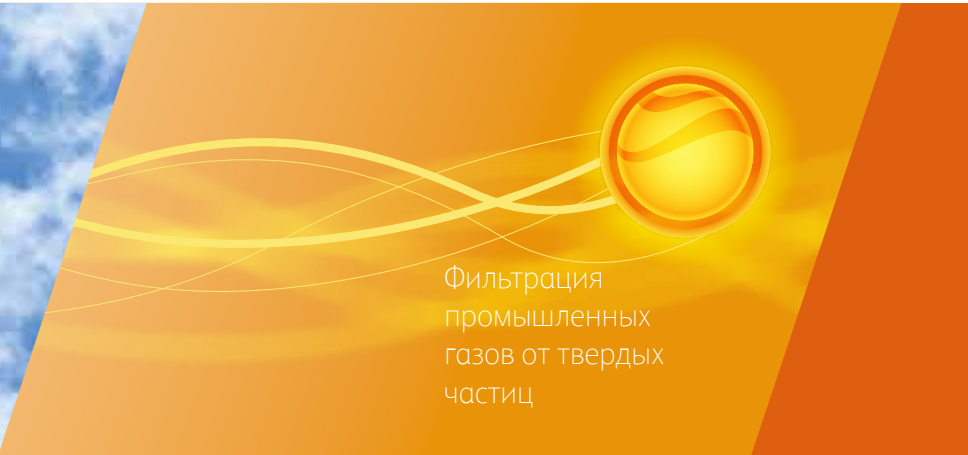
## Комплексная интеграция технологий

При реализации проектов в области промышленной очистки газов, как правило, приходится решать целый спектр связанных инженерных задач:

- Обследование и сбор данных необходимых для решения задачи подбора оптимального технического решения;
- CFD Моделирование аэродинамики всего газового тракта;
- Подбор тягодутьевых механизмов;
- Оптимизация газового тракта путем минимизации аэродинамических потерь;
- Система транспортировки уловленного материала;
- Автоматизация комплекса газоочистки и интеграция в АСУ ТП предприятия.

Все эти задачи тесно связаны между собой, и получить оптимальное техническое решение возможно только рассматривая данный комплекс задач в целом.

Мы предлагаем не просто оборудование газоочистки как отдельную единицу, а стараемся предлагать заказчику оборудование, которое наиболее оптимально будет встроено в существующую технологическую схему производства.



Фильтрация  
промышленных  
газов от твердых  
частиц

## Использование в мире

В Европе применение электрических и рукавных фильтров для очистки промышленных газов является практически повсеместным. Это обусловлено экологическими европейскими нормами. В странах ЕС действует директива Евросоюза, которая обязывает обеспечивать эффективность фильтрации, при которой остаточная запыленность не превышает 20 мг/нм<sup>3</sup>. 40% фильтровальных установок на электрических станциях в ЕС являются рукавными фильтрами. 60% приходится на электрические фильтры, но доля последних год от года снижается в силу удешевления фильтровальных материалов и удорожания стали.

## Возможности в России

Согласно планам министерства энергетики РФ, современные системы очистки от твердых частиц должны быть внедрены к 2015 году на:

- Рефтинская ГРЭС;
- Троицкая ГРЭС;
- Новочеркасская ГРЭС;
- Черепетская ГРЭС;
- Каширская ГРЭС.

- Верхне-Тагильская ГРЭС
- Остаточные выбросы загрязняющих веществ не должны превышать: NO<sub>x</sub><200 мг/м<sup>3</sup>, SO<sub>2</sub><200 мг/м<sup>3</sup>, твердые частицы<10-30 мг/м<sup>3</sup>. В России на сегодняшний день работают порядка 600 энергоблоков использующих в качестве основного топлива уголь очистные сооружения, которых необходимо реконструировать в 95% случаев. Огромное количество предприятий черной и цветной металлургии, порядка 80%, также нуждаются в реконструкции систем промышленной очистки газов.

## Проекты в России

В настоящее время первый в России рукавный фильтр за энергетическим котлом строится на Рефтинской ГРЭС, энергоблок № 5 мощность 300 МВт.

Краткая характеристика энергоблока:

- Электрическая мощность бока 325 МВт;
- Котлоагрегат ПК-39;
- Паропроизводительность 950 т/час;
- Топливо - Экибастузский уголь.

Планируемая остаточная запыленность – 20 мг/нм<sup>3</sup>.

## Лабораторная база

Компания P.B.C. обладает лабораторной базой для проведения полного комплекса обследований существующих систем газоочистки, разработки технического задания на подбор газоочистного оборудования. Наша лаборатория позволяет выполнять следующие исследования:

- Прецизионные замеры запыленности и поверка стационарных пылемеров;
- Анализ химического составов газа;
- Химический анализ улавливаемых частиц;
- Дисперсный анализ улавливаемых частиц;
- Замеры расходов газа в газоходах;
- Определение давления/разряжения в газоходах;
- Определение УЭС улавливаемых частиц;
- Обследование фундаментов;
- Обследование корпусов электрических фильтров.

## Партнеры

Компания P.B.C. работает с мировым лидером в области производства оборудования газоочистки компанией Babcock & Wilcox.



инжиниринговая  
компания

## Контактная информация

Варшавское шоссе, д. 25А, стр. 6  
Москва, Россия, 117105

телефон (495) 797-96-92  
факс (495) 797-96-93

[www.rvSCO.ru](http://www.rvSCO.ru)  
[mail@rvSCO.ru](mailto:mail@rvSCO.ru)

[www.rvSCO.ru](http://www.rvSCO.ru)