

## Приборы и оборудование

УДК 581.55:332.31:001.981.57

**Мирошниченко Е.С.****Дирекция по генерации электроэнергии ООО «ДТЭК», Запорожье***ул. Добролюбова, 20, 69006 Запорожье, Украина, e-mail: miroshnichenkoes@dttek.com*

### Реконструкция пылеугольных систем при модернизации котлоагрегатов ТЭС и ТЭЦ

Состояние имеющегося парка котельного и вспомогательного оборудования требует замены, так как из-за низкого КПД, ежегодного увеличения объема средств, необходимых для восстановления работоспособности и ремонта оборудования, в ближайшей перспективе его эксплуатация станет нерентабельной по сравнению с импортом электроэнергии. Отказ Украины от использования импортного газа, необходимость переориентирования части мощностей на сжигание каменного угля взамен антрацита и другие проблемы топливообеспечения ТЭС и ТЭЦ обуславливают модернизацию котлов и вспомогательного оборудования не только с продлением ресурса эксплуатации, а с применением действительно новых технологий. Предложен перспективный путь развития пылеугольных мощностей с заменой морально и физически устаревших, взрывоопасных и не всегда удачно спроектированных пылесистем на новые. Такая замена значительно расширяет возможности топливообеспечения котлоагрегатов, существенно повышает безопасность их эксплуатации. Экономический эффект, кроме увеличения КПД котла, достигается экономией электроэнергии на собственные нужды и снижением ремонтных затрат. *Библ. 5, рис. 8, табл. 1.*

**Ключевые слова:** реконструкция пылесистем, модернизация котлоагрегатов.

Развитие тепловой энергетики в Украине практически остановилось в начале 1990-х гг., редкие примеры применения современных технологий, созданные отечественными институтами на промышленных площадках ТЭС, не получили широкого распространения. Спроектированные в 1940–1960 гг. оборудование и технологии не решают проблем эффективности отрасли.

В настоящее время основу тепловой генерации электроэнергии в Украине составляют пылеугольные энергоблоки 150, 200 и 300 МВт с котлами высокого и сверхкритического давления. Анализ показателей их текущей эксплуатации, технических результатов реконструкций

показывает практическое отсутствие резерва повышения эффективности существующих котлов. За последние 10 лет модернизировано или реконструировано около 20 пылеугольных энергоблоков. В большинстве случаев реконструкции энергоблоков выполняется капитальный ремонт с продлением службы котла, а повышение эффективности блока предполагается осуществлять за счет замены определенных цилиндров турбины либо турбины полностью.

Существенно повысить КПД котла при сохранении параметров пара, питательной воды и температуры уходящих газов затруднительно. Устранение сверхнормативных присосов в топ-

ку и газоходы котла, составляющее заметную долю в затратах на реконструкцию, — это задача даже не капитального ремонта, а постоянного технического обслуживания и эксплуатации котла [1]. Подавляющее большинство существующих пылесистем имеет в своем составе шаробарабанные мельницы (ШБМ), циклоны и промежуточные бункеры пыли. Из-за большой поверхности уплотнения ШБМ ненадежны, поэтому пылесистемы работают под разрежением, создаваемым мельничными вентиляторами, которые расположены в слабо запыленном потоке за циклонами и быстро изнашиваются. В качестве сушильного агента для антрацита и тощего угля используется горячий воздух, для углей марок Г и ДГ (газовая группа) — смесь воздуха с дымовыми газами с объемной долей кислорода не более 16 %. Нормативные присосы холодного воздуха в пылесистеме составляют 20–32 % расхода сушильного агента и на практике достигают 50 % и более, что сопоставимо с общим объемом присосов холодного воздуха в котел.

Работа пылесистем под разрежением — это постоянный риск самовозгорания или взрыва в местах накопления пыли и присосов воздуха, последствия чего, как показывает опыт пожара на Углегорской ТЭС в марте 2013 г., могут быть очень серьезными. Однако до последнего времени применение ШБМ мотивировалось их низкой чувствительностью к наличию в топливе крупных кусков породы и сторонних включений: металла, дерева, пластика.

Анализ работы котлов зарубежных фирм с аналогичными параметрами показывает иные подходы к организации размола и подготовки к сжиганию угольной пыли, к организации уплотнений регенеративных вращающихся воздухоподогревателей со снижением перетоков между воздухом и уходящими газами с 20–25 до 8–12 %, а также более широкое применение частотных приводов оборудования. Это дает повышение КПД за счет снижения потерь тепла с уходящими газами, существенную экономию электроэнергии на разمول, сушку и транспорт пыли, на привод тягодутьевых машин. Наиболее перспективной и доступной в наших условиях сохранения существующих котлов является замена пылесистем энергоблока: переход на схемы с вертикальными среднеходными мельницами с прямым вдуванием под давлением и сушкой горячим воздухом, с сокращением расхода электроэнергии на разمول, вентиляцию и транспорт пыли, снижением затрат на ремонт, замену мелющих тел, повышением показателей надежности и безопасности.

Мельница ШБМ представляет собой барабан, загруженный большим количеством шаров диаметром 40 мм, вращающийся вокруг горизонтальной оси. Вращение барабана увлекает шары вверх, разمول происходит за счет их падения и удара по частицам. Поскольку часть энергии тратится на соударение шаров между собой, потери энергии большие, велик и износ шаров. Корпус вертикальной среднеходной мельницы неподвижен, а мелющее устройство представляет собой неподвижную горизонтальную плиту с периферийной кольцевой дорожкой, к которой вращающейся верхней плитой прижат шар или ролик диаметром 600–1200 мм. Конструкция значительно компактнее, производит на порядок меньше шума, разمول происходит за счет раздавливания частиц накатывающимся шаром с гораздо большим КПД [2]. На «мгновенной фотографии» в ШБМ находится 15–25 т угля и пыли, в вертикальной среднеходной мельнице — несколько сотен килограммов, в связи с чем инерционность последней гораздо меньше. В обоих типах мельниц вынос готовой пыли осуществляется сушильным агентом, но из-за того, что корпус ШБМ подвижен, сепаратор, который должен возвращать на домол более крупные частицы, приходится размещать отдельно. В вертикальных среднеходных мельницах сепаратор, как правило, интегрирован с корпусом и находится в его верхней части. Необходимости в бункере пыли нет благодаря более высокой надежности мельниц, возможности быстрого регулирования расхода пыли расходом сырого угля и разводки аэросмеси с одной мельницы на несколько горелок.

В результате внедрения пылесистем с вертикальными среднеходными мельницами можно получить следующие преимущества:

1) пожаровзрывобезопасность — по причине малых объемов мельниц, высоких скоростей аэросмеси и отсутствия в пылесистеме промежуточных бункеров не создаются условия для самовозгорания и взрыва пыли;

2) существенная экономия электроэнергии на разمول топлива — 18–22 кВт/т сырого угля против 38–45 кВт/т при работе с ШБМ;

3) РД 34.03.352–89 «Правила взрывобезопасности топливоподач и установок для приготовления и сжигания пылевидного топлива» разрешает применять при размолу углей газовой группы в пылесистемах с прямым вдуванием и среднеходными мельницами в качестве сушильного агента горячий воздух. Это дает явное преимущество при организации топочного режима по сравнению с применением дымовых газов в схемах с ШБМ;

4) отсутствие присосов холодного воздуха (пылесистемы находятся под давлением) и, как следствие, повышение экономических показателей котла в целом;

5) экономия эксплуатационных затрат в связи с отсутствием необходимости частой замены шаров (расход металла на размол составляет 8–12 г/т топлива против 450–500 г/т при работе ШБМ);

6) отсутствие необходимости периодической замены рабочих колес мельничных вентиляторов, а также внештатных ситуаций, связанных с ремонтом, наплавкой и балансировкой мельничных вентиляторов (в данной схеме они работают не на запыленном воздухе после циклона, а на чистом воздухе до мельниц);

7) снижение ремонтных издержек в связи с отсутствием в конструкции дорогостоящих быстроизнашивающихся деталей и резким сокращением объемов оборудования пылесистем (исключение выносных сепараторов, циклонов, бункеров пыли, пылепитателей);

8) возможность оперативного измерения расхода угля на котел (конвейерными весами по сырому углю), практически отсутствующая в схемах с ШБМ и бункером пыли в связи с отсутствием надежных расходомеров пыли.

Однако для этого надо вначале решить такие проблемы: повышение качества подготовки топлива перед мельницей; адаптация мельниц под украинские энергетические угли и антрациты; разработка сопряжения систем прямого вдувания с горелочными устройствами; разработка оптимальных вариантов количества, размещения мельниц и разводки аэросмеси на горелки.

Повышение качества подготовки топлива во многом уже произошло благодаря повышению качества топлива в поставках на ТЭС за последние 10 лет. Основное место в поставках заняли классы угля от 0–6 до 0–25 мм. Однако в некоторых случаях экономически целесообразнее поставлять малозольный рядовой уголь класса 0–200 мм или класса 0–100 мм с выбранной породой. В связи с этим на ТЭС необходимо восстановление дробилок. Нужно также восстановление или дооборудование линий подачи сырого угля грохотами, металло- и щепоуловителями. Опыт эксплуатации вертикальных среднеходных мельниц фирмы FPM S.A. (Польша) на Добротворской ТЭС показал возможность исключения аварийных остановов мельниц из-за недостаточного качества топлива [3].

Применение вертикальных среднеходных мельниц до недавнего времени ограничивалось котлами, на которых используется угольное топливо газовой группы с повышенной размоло-

способностью [2]. В настоящее время в Силезском политехническом институте (Польша) с использованием проб топлива с ТЭС Украины экспериментально подтверждена возможность применения среднеходной шаровой мельницы для размола антрацита. Фирмой FPM S.A. разработаны эффективные решения по размолу антрацита в вертикальных среднеходных шаровых мельницах. За счет меньшей размолоспособности антрацита размер мельницы может быть больше и расход электроэнергии будет несколько большим — примерно 21–25 кВт/т. Необходимость более тонкого помола пыли антрацита (до 4–8 % остатка на сите 90 мкм) обуславливает применение более сложного динамического сепаратора с отдельным электродвигателем. Основное отличие технологического решения при использовании антрацита связано с условиями воспламенения в горелках при прямом вдувании аэросмеси. При подводе пыли к горелкам температура аэросмеси за мельницей 120–140 °С недостаточна для надежного воспламенения антрацита (обычно требуется температура аэросмеси не менее 240 °С), поэтому необходимо смешение пыли с горячим воздухом с температурой 380–400 °С, что возможно при применении пылеконцентратора с эжекционным смесителем для варианта прямого вдувания антрацитовых пыли в существующие горелки (рис.1).

Актуальность схемы с прямым вдуванием под давлением наиболее высока для каменных углей, так как в этом случае будет достигнут наибольший экономический эффект. Для антрацита схема является новой, ее реализация стала возможной вследствие появления новых материалов для изготовления размольных тел раздавливающего типа. Представляется, что наибольший эффект она может дать при переводе антрацитовых котлов на сжигание газового угля. Дело в том, что сохранение при таком переводе

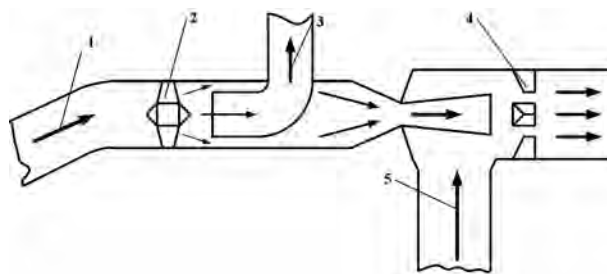


Рис.1. Схема пылеконцентратора с эжекционным смесителем: 1 — поток пылевоздушной смеси от мельницы ( $t = 120\text{--}130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ); 2 — лопаточный аппарат пылеконцентратора; 3 — отвод сушильно-вентилирующего агента на сбросные горелки; 4 — рассекатель смесительного устройства; 5 — воздух от вентилятора горячего дутья.

схемы с ШБМ и бункером пыли требует серьезных необратимых переделок пылесистемы, которые не позволят вернуться к сжиганию антрацита. Предлагаемое решение делает пылесистему универсальной, так как при переходе на другое топливо понадобится только регулировка сепаратора и прижимного усилия верхней плиты.

Основная проблема на пути внедрения данной высокоэффективной технологии состоит в том, что поставщики оборудования отвечают собственно за мельницу и ее обвязку, а разработка технического решения полностью, с разработкой схем размещения мельниц, разводки аэромеси на горелки и сохранением режимов работы существующего котлоагрегата, не входит в их зону ответственности. Поставщики котлов, которые заинтересованы в замене собст-

венно котла, а не устаревшей пылесистемы, не работают в данном направлении.

Задача включает в себя следующие этапы:

- 1) выбор количества, мощности и типа мельниц, проверка соответствия их характеристик параметрам и условиям компоновки котельной установки;
- 2) выбор оптимальной схемы резервирования, питания топливом, распределения пылевоздушной смеси от мельниц к горелкам котла;
- 3) аэродинамический и тепловой расчет пылесистем с организацией проектных параметров пылевоздушной смеси перед горелками котла;
- 4) поверочный расчет горелки, корректировка конструкции при необходимости;
- 5) в случае изменения конструкции горелок, типа сжигаемого топлива или параметров

### Типовые решения по применению схем прямого вдувания с вертикальными среднеходными мельницами для котлов ТЭС и ТЭЦ большой мощности

Энергоблок, котел	Состав пылесистем	Эскиз	Предлагаемые решения	Расположение мельниц (вид сверху)
Котлы ТЭЦ и ТЭС с поперечными связями 220, 170, 110 т/ч	2 пылесистемы с Ш-12, Ш-16 с промбункером, или 2 МВС-125 с прямым вдуванием, или газовое топливо		3 или 4 пылесистемы с прямым вдуванием с мельницами по 7, 10, 14 т/ч	
Энергоблоки 150 МВт с котлами ТП-90, ТП-92, ТП-87	2 пылесистемы с промбункером, мельницы Ш-50, производительностью 40-45 т/ч каждая или газ	Рис.2, а	4 или 6 пылесистем с прямым вдуванием, производительность мельницы 16-27 т/ч	
Энергоблоки 200 МВт с котлами ТП-100, ТП-100А, ТП-109	2 пылесистемы с промбункером, мельницы Ш-50, Ш-50А, Ш-50М производительностью 50-45 т/ч каждая	Рис.2, а	4 или 6 пылесистем с прямым вдуванием, единичная производительность мельницы 20-35 т/ч	
Энергоблоки 300 МВт с котлами ТПП-312, 312А и газомазутные ТППМ-314, 324, 344	2 пылесистемы с промбункером, мельницы Ш-50, Ш-50А, Ш-50М производительностью 75-79 т/ч каждая или газовое топливо	Рис.2, а	4 или 6 пылесистем с прямым вдуванием, единичная производительность мельницы 30-45 т/ч	
Энергоблоки 300 МВт с котлами ТПП-110, ТПП-210, ТПП-210А, П-50	3 (2) пылесистемы с промбункером, мельницы Ш-50, Ш-50А, Ш-50М производительностью 50-45 (75-79) т/ч каждая	Рис.2, б	6 или 8 пылесистем с прямым вдуванием, единичная производительность мельницы 20-35 т/ч	
Энергоблоки 800 МВт с котлом ТГПМ-204	Газообразное топливо		8-12 пылесистем с прямым вдуванием, единичная мощность мельницы 30-35 т/ч	

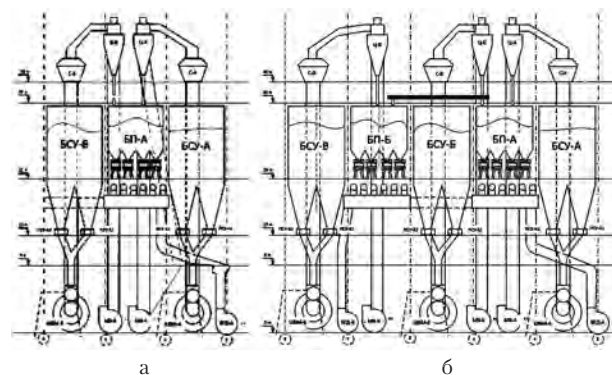


Рис.2. Компоновка пылесистем с двумя (а) и тремя (б) мельницами Ш-50(А) (к таблице).

пылевоздушной смеси перед горелками котла проводится поверочный тепловой расчет котла, позонный тепловой расчет топки, а в случае необходимости разрабатываются мероприятия для устранения несоответствий режима работы котлоагрегата (перенастройка впрыскивающих пароохладителей, корректировка конструкции конвективных поверхностей нагрева, регулирование горелок, регулирование избытка воздуха);

6) конструктивные компоновочные решения и расчеты.

Анализ существующих норм проектирования и эксплуатации пылесистем [4], опыта эксплуатации пылесистемы с вертикальными сред-

неходными мельницами и прямым вдуванием пыли в горелки на Добротворской ТЭС, мирового опыта, а также консультации с научно-исследовательскими, конструкторскими, пуско-наладочными организациями (Институт угольных энерготехнологий НАН Украины, ОАО НИПИИ «Львовтеплоэлектропроект», ОАО «Львов ОРГРЭС») позволили разработать ориентировочные типовые решения по применению схем прямого вдувания с вертикальными среднеходными мельницами для котлов ТЭС и ТЭЦ большой мощности (таблица, рис.2).

Рассмотрим некоторые из них подробнее.

**ТГМП-204** (ДТЭК Запорожская ТЭС – 3 шт.; Углегорская ТЭС ОАО «Центрэнерго» – 3 шт.). Паровой котел ТГМП-204 Таганрогского котельного завода – водотрубный, прямоточный, однокорпусный, с промежуточным перегревом пара, П-образной компоновки, номинальной паропроизводительностью 2650 т/ч, предназначен для работы на мазуте или природном газе в блоке с турбиной 800 МВт. Параметры пара: давление – 25,5 МПа, температура – 545 °С.

Долгое время перевод газомазутных блоков 800 МВт на сжигание угля считался нереализуемой задачей. Обустройство традиционных пылесистем с ШБМ, бункерами пыли и прочим громоздким оборудованием не возможно в стесненных условиях ячейки блока. Строительством отдельного пылезавода не оправдано с экономической точки зрения. Компактность схемы с прямым вдуванием и универсальность условий размещения среднеходных мельниц дает возможность вернуться к разработке приемлемых решений для данных блоков. Исходя из того, что расход пылеугольного топлива на предполагаемую мощность составит до 300–310 т/ч, предполагается установка 8–12 мельниц производительностью по 30–45 т/ч. Подобные решения широко применяются на всех энергоблоках Великобритании мощностью 660–1600 МВт.

Реконструкция котла с переводом на сжигание пыли сопряжена с ожидаемым понижением его паропроизводительности до 1800–2000 т/ч по причине отказа от работы под наддувом, перехода на работу на уравновешенной тяге и недостаточного объема топочной камеры из условий позонного перерасчета точки на пылеугольное топливо. Кроме того, наряду с обустройством пылесистем потребуется реконструкция топки и горелок, установка газоочистного оборудования и гидрозолоудаления, устройств обдувки и очистки поверхностей нагрева котла.

**ТПП-312 и ТПП-312А, ТГМП-314, ТГМП-324, ТГМП-344** (ДТЭК Зуевская ТЭС, ДТЭК Запорожская ТЭС, Углегорская ТЭС ПАО

«Центрэнерго» – по 4 котла ТПП-312А на каждой; ДТЭК Ладыжинская ТЭС – 6 котлов ТПП-312; Трипольская ТЭС ПАО «Центрэнерго» – 2 котла ТГМП-314). Паровой котел ТПП-312 (ТПП-312А) Таганрогского котельного завода – пылеугольный, водотрубный, прямоточный, однокорпусный, с промежуточным перегревом пара, П-образной компоновки, с жидким шлакоудалением, номинальной паропроизводительностью 950–1000 т/ч, предназначен для работы на каменном угле марок Г и ДГ в блоке с турбиной 300–325 МВт. Параметры пара: давление – 25,5 МПа, температура – 545 °С. Каждый котлоагрегат имеет индивидуальные особенности, незначительные отличия в конфигурации поверхностей нагрева, горелочных устройств и в компоновке, которые приобрел в период реконструкций, модернизаций.

Котлы ТПП-312, 312А оборудованы двумя пылесистемами с ШБМ и промежуточным бункером пыли, сушильный агент – смесь дымовых газов с горячим воздухом. Данная схема не совсем подходит для размолва угля этих марок, и ее выбор при проектировании с ограничением доли кислорода в сушильном агенте не более 16 % был основан на возможностях и загрузке заводов тяжелого машиностроения. В настоя-

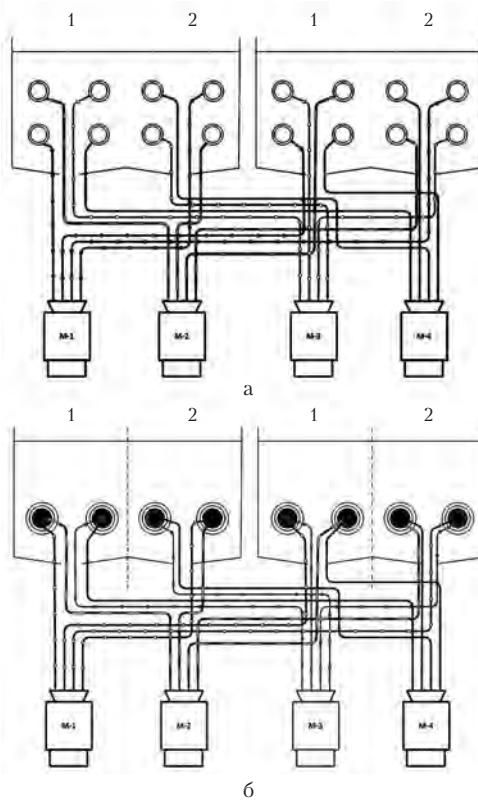


Рис.3. Разводка аэросмеси из вертикальных среднеходных мельниц по горелкам котлов ТПП-312 (а), ТПП-312А (б) : 1 – фронт топки, 2 – тыл топки.

щее время, с учетом опыта многочисленных технологических нарушений и случаев самовозгорания пыли, применение таких пылесистем является опасным, экономически затратным и не поддерживается специалистами. Предлагаемое решение перехода на пылесистемы с прямым вдуванием довольно простое, основано на применении нормативных материалов и опыта проектирования зарубежных фирм. Решение состоит в установке 4 вертикальных среднеходных мельниц (рис.3), каждая из которых имеет по 4 выхода с прямым вдуванием в горелки под давлением, рабочая среда — горячий воздух. Номинальный расход топлива для котлов ТПП-312, ТПП-312А составляет 146 т/ч. Производительность одной мельницы — 42–45 т/ч. Для котла ТПП-312А, где применены более мощные горелки (единичная тепловая мощность — более 75 МВт), применяется двуканальная система подключения пылепроводов для сохранения равномерного распределения тепла в топочной камере при отключении одной из мельниц в ремонт.

К газомазутным котлам ТГМП-314, ТГПМ-324, ТГПМ-344 паропроизводительностью 950–1000 т/ч относится то же, что сказано выше применительно к котлам ТГМП-204 касательно оборудования золоудалением и газоочистным оборудованием. В отличие от ТГМП-204 снижение нагрузки данных котлов после реконструкции на пылеугольное топливо будет меньше и составит 20–27 %.

**П-50, ТПП-110, ТПП-210, ТПП-210А** (ДТЭК Криворожская ТЭС — 4 котла П-50 и 6 котлов ТПП-210; ДТЭК Приднепровская ТЭС — 2 котла ТПП-210 и 2 котла ТПП-110; Трипольская и Змиевская ТЭС ПАО «Центрэнерго» — по 4 котла ТПП-210, ТПП-210А). Производитель котлов П-50 — Подольский котельный завод, ТПП-110, ТПП-210, ТПП-210А — Таганрогский котельный завод. Паровые котлы П-50, ТПП-210, ТПП-110 — пылеугольные, двухкорпусные, подсоединены к турбине по схеме дубль-блока, номинальная паропроизводительность — 950 т/ч. Котлы предназначены для работы на тощем угле в блоке с турбиной 300 МВт. Каждый корпус котла — это самостоятельный котел П-образной компоновки, водотрубный, прямоточный, номинальной паропроизводительностью 475 т/ч (кроме ТПП-110, где в одном корпусе пароперегреватель высокого давления, а во втором пароперегреватель низкого давления (промперегрева), что делает двухкорпусный котел равноценным однокорпусному). Параметры пара: давление — 25,5 МПа, температура — 545 °С. Каждый котлоагрегат имеет индивидуальные особенности и незначительные конструктивные отличия, которые приобрел в период ремонтов и модернизаций.

Котлы ТПП-210, 110, П-50 имеют по 24 горелки, то есть по 12 на корпус. Горелки расположены на фронтальной и тыловой стене топочной камеры в 2 яруса, по 6 на стену симметрично. Котел ТПП-210А имеет 12 более мощных горелок, по 6 на корпус, которые расположены в один ярус.

Проектным топливом для таких котлов является антрацит либо тощий уголь. Каждый котел оборудован тремя пылесистемами с ШБМ, промежуточными бункерами пыли, мельницы работают под разрежением, сушка осуществляется горячим воздухом со сбросом отработанного сушильного агента на сбросные горелки. В случае применения тощего угля котел оснащается только двумя пылесистемами. Транспорт аэросмеси от пылепитателей осуществляется горячим воздухом от вентилятора горячего дутья.

Задача перевода на прямое вдувание двухкорпусного котла является довольно сложной, но решаемой. На рис.4 представлены компоновка пылесистем до и после предлагаемой реконструкции, а также схема подключения мельниц к горелкам котлов. Возможны варианты с применением 6 или 8 пылесистем на блок. Предполагается установка мельниц производительностью 30 т/ч.

Проект внедрения прямого вдувания под давлением можно рассматривать в контексте перевода энергоблоков 300 МВт с антрацита на газовый уголь. Возможна работа такой пылесистемы и на тощем угле без каких-либо переделок. Вариант прямого вдувания с антрацитом будет несколько сложнее по причине применения центробежных сепараторов, специальных мельниц и пылеконцентраторов перед горелками.

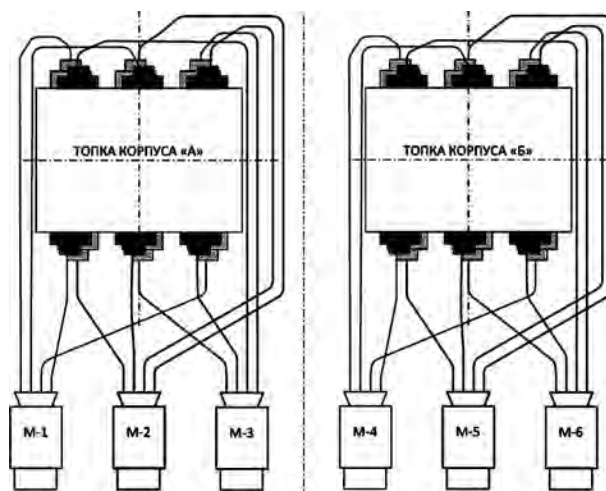


Рис.4. Разводка аэросмеси по горелкам котлов ТПП-110, ТПП-210 в схеме прямого вдувания при установке вертикальных среднеходных мельниц.

**ТП-100, ТП-100А** (ДТЭК Бурштынская ТЭС — 7 котлов ТП-100 и 5 котлов ТП-100А; ДТЭК Луганская ТЭС — 5 котлов ТП-100 и 2 котла ТП-100А; Змиевская ТЭС ПАО «Центрэнерго» — 6 котлов ТП-100; Старобешевская ТЭС ОАО «Донбассэнерго» — 9 котлов ТП-100 и ТП-100А). Паровой котел ТП-100 (ТП-100А) Таганрогского котельного завода — пылеугольный, водотрубный, барабанный с естественной циркуляцией, однокорпусный, с промежуточным перегревом пара, Т-образной компоновки, с жидким шлакоудалением, номинальной паропроизводительностью 640–670 т/ч, предназначен для работы на газовом угле (ДТЭК Бурштынская ТЭС) и антраците (остальные ТЭС)

в блоке с турбиной 200 МВт. Параметры пара: давление — 14 МПа, температура — 545 °С. Основное различие между котлоагрегатами Бурштынской и антрацитовых ТЭС — компоновка пылесистем и конструкция горелок (на Бурштынской ТЭС они прямоточные, на антрацитовых котлах — вихревые). Кроме этого, каждый котлоагрегат имеет индивидуальные особенности и незначительные отличия в конфигурации поверхностей нагрева, горелочных устройств и вспомогательного оборудования, которые приобрел в период реконструкций, модернизаций.

Позитивный опыт применения технологии прямого вдувания на Добротворской ТЭС, необходимость сжигания на Бурштынской ТЭС газовых углей и инициатива специалистов и руководителей Бурштынской ТЭС содействовали разработке решения прямого вдувания для энергоблоков 200 МВт. В настоящее время применение схемы для котла ТП-100 детально проработано и подготовлено для внедрения при реконструкции энергоблока № 9 Бурштынской ТЭС для сжигания газовых углей. Вариант компоновки и распределение пылевоздушной смеси от мельниц к горелкам показан на рис.5.

После демонтажа старого оборудования и подготовки площадки проводится монтаж 4 компактных пылесистем прямого вдувания под давлением на основе вертикальных средних производительностью по 30 т/ч. Производительность выбрана, согласно [4], с тем расчетом, что при выводе одной мельницы в ремонт 3 мельницы обеспечат 90 % тепловой нагрузки котла, а при незначительном угрублении помола — 100–110 %. В нормальных условиях в работе должны находиться все 4 мельницы.

Такая же схема пригодна для котлов **ТП-109** (ДТЭК Кураховская ТЭС — 7 котлов). Паровой котел ТП-109 Таганрогского котельного завода — пылеугольный, водотрубный, барабанный, с естественной циркуляцией, однокорпусный, с промежуточным перегревом пара, Т-образной компоновки, с твердым шлакоудалением, номинальной паропроизводительностью 640–670 т/ч, предназначен для работы на рядовом каменном угле марок Г, ДГ в блоке с турбиной 200 МВт. Он вырабатывает перегретый пар давлением 14 МПа и температурой 545 °С. Поскольку котел ТП-109 предназначен для сжигания каменных углей, имеет твердое шлакоудаление, на нем должна быть установлена пылесистема, приведенная выше для котлов ТП-100 Бурштынской ТЭС (единственное отличие — увеличенная на 20 % единичная мощность мельницы для обеспечения размольной производительности по горючей массе высокозольных рядовых углей). Получаемый эффект

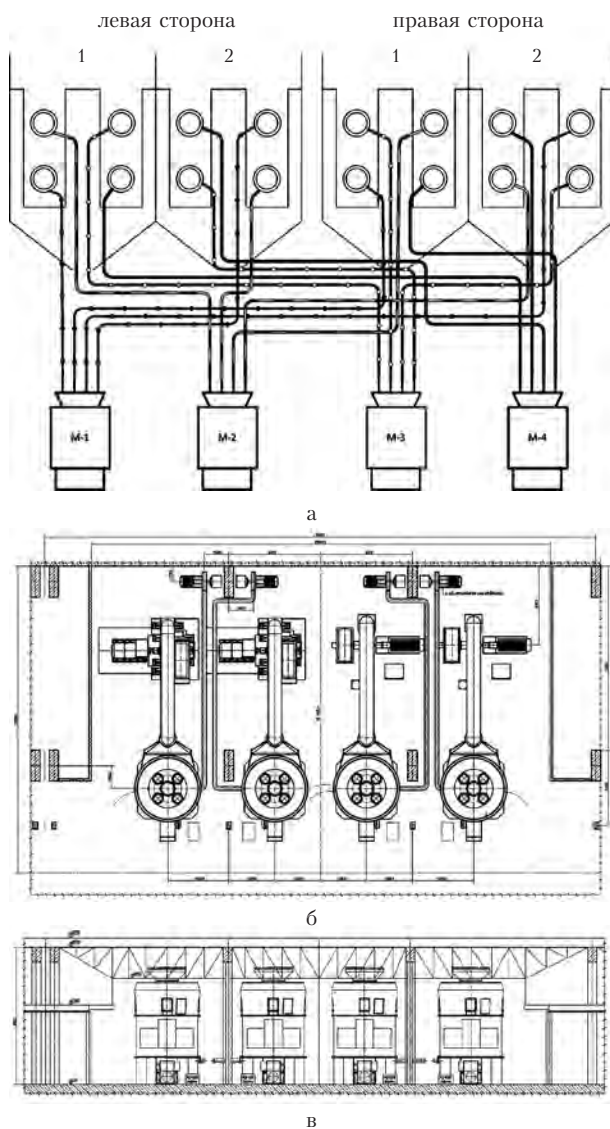


Рис.5. Схема распределения аэрозольной смеси по горелкам (а), компоновочные решения машзала (б — план; в — фронт) для котлов серии ТП-100 (ТП-100, ТП-100А, ТП-109, ТП-90): 1 — передняя полутопка; 2 — задняя полутопка.

будет на данных котлах выше, а котельная установка в целом сможет улучшить экологические показатели. В результате такой реконструкции котельная установка по типу и компоновке будет подобна оборудованию, применяемому на ТЭС европейских стран.

К антрацитовым котлам ТП-100, ТП-100А, где не предусмотрен переход на уголь марки Г, относится то же, что сказано выше применительно к котлам П-50, ТП-110, ТП-210 касательно выбора комплектов мельниц и оборудования под топливо марок Т и А.

**ТП-92** (ДТЭК Добротворская ТЭС – 2 котла). Паровой котел ТП-92 Таганрогского котельного завода – пылеугольный, водотрубный, барабанный, с естественной циркуляцией, однокорпусный, с промежуточным перегревом пара, П-образной компоновки, с твердым шлакоудалением, номинальной паропроизводительностью 500 т/ч, предназначен для работы на каменном угле марок Г, ДГ в блоке с турбиной 150–160 МВт. Параметры пара: давление – 14 МПа, температура 545 °С. Переход на прямое вдувание под давлением на энергоблоках 150 МВт Добротворской ТЭС уже реализован, на 1 котел работают 6 шарово-кольцевых среднеходных мельниц производства завода FPM (Микулов, Польша).

Отдельного рассмотрения требует задача реконструкции пылесистем котлоагрегатов ТЭС, которая может быть выполнена быстрее, с меньшими капитальными затратами, позволит решить задачу возвращения тех из них, что переведены на газ, на сжигание отечественного каменного угля.

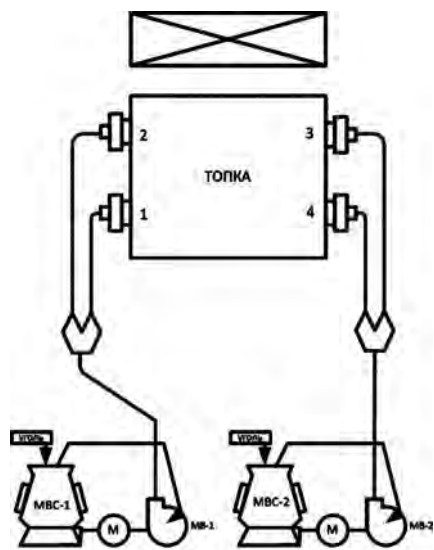


Рис. 6. Изначальная компоновка пылесистемы котлов ПК-19, ПК-19-2.

**ПК-19, ПК-19А, ПК-20, ПК-20А** (Черкасская ТЭС; ТЭС завода им. Петровского (Днепропетровск); ТЭС Краматорского металлургического завода). Паровой котел ПК-19 Подольского машиностроительного завода – вертикальный, водотрубный, с естественной циркуляцией, П-образной компоновки, с уравновешенной тягой номинальной паропроизводительностью 110 т/ч. Топливом для котлов ПК-19, ПК-19А является каменный уголь, для ПК-20, ПК-20А – бурый уголь. Параметры пара: давление – 10 МПа, температура – 540 °С.

Первичная схема пылесистем котла ПК-19 предусматривала установку 2 среднеходных мельниц советского производства МВС-125, привод которых осуществлялся совместно с мельничным вентилятором одним электродвигателем (рис.6). Пылесистема работала под разрежением.

Схема имеет недостатки, которые со временем обусловили отказ от их эксплуатации и перевода котлов на сжигание природного газа:

1) не имеет достаточного резервирования. В случае выхода одной из мельниц в ремонт тепловая мощность котла резко падает, горение становится нестабильным, резко снижаются параметры пара;

2) большое количество ненадежных элементов, требующих особого внимания и частых ремонтов. Подшипники валков нагружены силой прижимного механизма, и на них действуют усилия от неравномерности слоя топлива, из-за этого они требуют принудительной смазки и нуждаются в частой замене. Валки страдают от неравномерного износа. Редуктор, учитывая большую нагрузку, также был недостаточно надежным. В первой модификации мельниц были недостаточно надежными сам корпус и каркас;

3) из-за конструкции, которая предусматривала проход осей валков через корпус, в местах прохода создавались большие присосы в мельницу. Их величина была так значительна, что вызывала нарушение топочного режима;

4) по причине работы мельничного вентилятора на запыленном воздухе имел место постоянный износ рабочих колес, и, как следствие, была необходимость постоянной их наплавки, балансировки и замены.

Данная схема отвечала руководящим документам времени постройки ТЭС. Согласно [4], на котле паропроизводительностью 110 т/ч должно быть установлено не менее 2 пылесистем. Производительность каждой должна составлять не менее 60 % от номинального расхода пыли на котел, иметь возможность перегрузки и угрубления помола пыли и в таком режи-



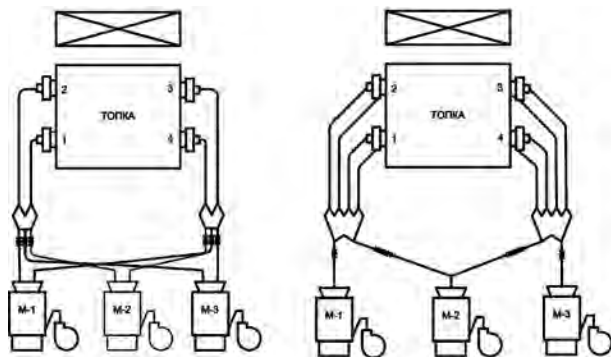


Рис.7. Разводка аэросмеси из вертикальных среднеходных мельниц по горелкам котлов ПК-19, ПК-19-2.

ме давать 75 % номинального расхода. Однако подобные схемы не зарекомендовали себя по причине нестабильной работы котла с одной включенной пылесистемой. В современных наставлениях по проектированию пылесистем [5] для котлов подобной производительности по схеме с прямым вдуванием рекомендуется установка не менее 3 мельниц.

Предлагается полностью демонтировать устаревшее, изношенное и неудачно спроектированное пылеприготовительное оборудование. Демонтаж не причинит неудобств при эксплуатации котлов, поскольку они работают в настоящее время на природном газе. Вместо 2 старых пылесистем, которые работали под разрежением и с ненадежными мельницами, необходимо установить три новых, приспособленных для работы под давлением, при этом применить шарово-кольцевые мельницы или мельницы с валками сложной формы, которые приспособлены для работы под давлением и имеют высо-

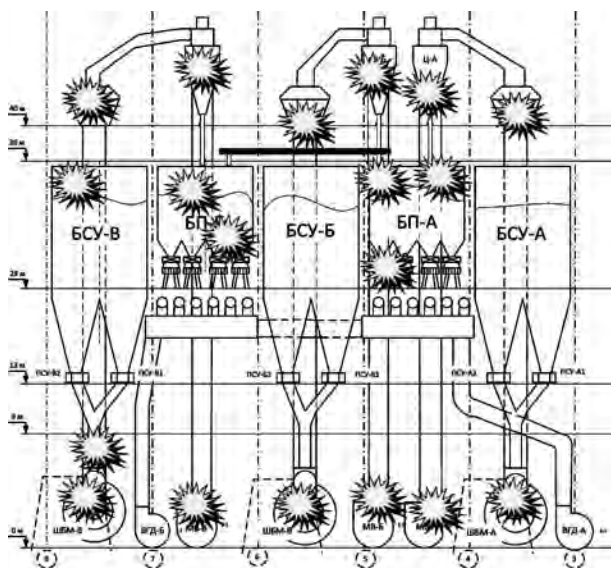


Рис.8. Локализация мест повышенной опасности в существующих пылесистемах с ШБМ и бункером пыли.

кие показатели надежности (по аналогии с Добротворской ТЭС).

Согласно правилу резервирования [5], производительность мельницы составит:

$$V_M = 0,8 V_K / (z_M - 1) = 0,8 \cdot 14 / (3 - 1) = 5,6 \text{ т/ч,}$$

где  $V_K$  — расход топлива на котел;  $z_M$  — количество мельниц на котел.

Как пример, можно взять современную и надежную мельницу 8M53 фирмы FPM. Мельница имеет производительность без ухудшения качества помола в диапазоне 5–9,8 т/ч. Альтернативным вариантом могут быть мельницы ALSTOM (Германия), Zenith (Китай). Отечественная промышленность, как и производители соседней России, не может представить надежную среднеходную мельницу требуемых параметров для работы под давлением. Выбор мельниц следует производить из соображений цены и логистики поставки самих мельниц и расходных материалов к ним.

Два варианта схемы подключения к горелкам котла представлены на рис.7. В первом варианте каждая мельница выдает пылевоздушную смесь на 2 пылераспределителя, каждый из которых подает пыль на 2 горелки. Второй вариант предусматривает установку двухканальных горелок для оптимальной организации сжигания ее в топке.

Выше описаны лишь несколько примеров решений, на самом деле подобные схемы возможны для любого парогенератора производительностью 60–2650 т/ч. На каждом из котлов ТЭС и ТЭЦ Украины возможно существенное улучшение технико-экономических и эксплуатационных показателей. Достижимые показатели реконструкции пылесистем на ТЭС и ТЭЦ:

- 1) снижение расхода электроэнергии на размол топлива на 18–25 кВт/т;
- 2) снижение расхода металла мелющих тел с 450–500 до 12 г/т угля;
- 3) уменьшение потерь  $q_2 + q_4$  на 1–3 %;
- 4) возможность перехода на другой вид топлива;
- 5) взрывобезопасность;
- 6) экономия ремонтных затрат группы мельница — вентилятор — 30–40 %;
- 7) отсутствие ремонтных затрат по газходам, циклонам, бункерам, питателям пыли и прочему оборудованию;
- 8) оптимизация режима горения топлива за счет отказа от вдувания дымовых газов вместе с топливом при размоле каменных углей;
- 9) срок окупаемости проекта (в условиях финансовой нестабильности) — 3,9–5,1 лет.

Кроме улучшения технико-экономических и эксплуатационных показателей, основная цель данных проектов — повышение взрывопожаробезопасности. При неграмотной организации сжигания газовых углей в устаревших системах с ШБМ и промбункером, а также при переводе антрацитовых котлов на сжигание газовых углей с сохранением схемы пылеприготовления образуются места отложения пыли, а также места, где происходит взвихривание пыли до взрывоопасной концентрации при пуске или останове мельницы с возникновением взрыва и пожара. На рис.8 показаны взрывоопасные места при сжигании каменных углей с выходом летучих веществ более 22 % на котле энергоблока 300 МВт, спроектированном под антрацит. В пылесистемах с прямым вдуванием под давлением эти риски отсутствуют: из-за малых объемов элементов и высоких скоростей аэросмеси просто не образуются взрывоопасные условия.

### Выводы

Системы пылеприготовления на ТЭС и ТЭЦ Украины не отвечают современным требованиям эффективности и надежности. Резерва для повышения экономичности котлов собственнорезервно заменой поверхностей нагрева фактически нет. В настоящее время доступны технологии и оборудование, которые позволяют повысить эффективность и безопасность эксплуатации систем пылеприготовления, существенно снизить расход электроэнергии, повысить КПД котла,

положительно повлиять на экологические показатели. Предложены типовые схемы реконструкции пылесистем с внедрением вертикальных среднеходных мельниц и с прямым вдуванием в горелки под давлением для парогенераторов производительностью 60–2650 т/ч. В Украине имеется научно-технический потенциал для разработки подобных проектов для котлов на лобом из отечественных энергетических углей.

### Список литературы

1. ГКД 34.20.661–2003. Правила організації технічного обслуговування та ремонту обладнання будівель і споруд електростанцій та мереж. — Київ : ГРІФРЕ, 2004. — 263 с.
2. Летин Л.А., Роддатис К.Ф. Тихоходные и среднеходные мельницы. — М. : Энергоиздат, 1981. — 358 с.
3. Мирошниченко Е.С. Совершенствование способов топливоподготовки и пылеприготовления на существующих ТЭС // Тез. докл. X Междунар. конф. «Угольная теплоэнергетика : Проблемы реабилитации и развития» (Київ, сент. 2014 г.). — Київ : Ін-т угольних енерготехнологій НАН України, 2014. — С. 48–51.
4. Кисельгоф М.Л. Расчет и проектирование пылеприготовительных установок котельных агрегатов — Л. : Центральный котлотурбинный институт, 1971. — 312 с.
5. Левит Г.Т. Пылеприготовление на угольных электростанциях. — М. : Энергоатомиздат, 1991. — 384 с.

Поступила в редакцию 20.07.15

### Мірошниченко Є.С.

*Дирекція з генерації електроенергії ТОВ «ДТЕК-Енерго»*

*вул. Добролюбова, 20, 69006 Запоріжжя, Україна, e-mail: miroshnichenko@dtok.com*

## Реконструкція пилувугільних систем при модернізації котлоагрегатів ТЕС та ТЕЦ

Стан наявного парку котельного та допоміжного обладнання потребує заміни, оскільки через низький ККД, щорічне збільшення обсягу коштів, необхідних для відновлення працездатності та ремонту обладнання, у найближчій перспективі його експлуатація стане нерентабельною у порівнянні з імпортом електроенергії. Відмова України від використання імпортного газу, необхідність переорієнтації частини потужностей на спалювання кам'яного вугілля замість антрациту та інші проблеми паливозабезпечення ТЕС і ТЕЦ ставлять завдання модернізації котлів і допоміжного устаткування не лише з подовженням ресурсу експлуатації, а й з застосуванням дійсно нових технологій. Запропоновано перспективний шлях розвитку пилувугільних потужностей із заміною морально та фізично застарілих, вибухонебезпечних та не завжди вдало спроектованих пилосистем на нові. Така заміна значно розширює можливості паливозабезпечення котлоагрегатів, що істотно підвищує безпеку їх експлуатації. Економічний ефект, крім збільшення ККД котла, досягається економією електроенергії на власні потреби та зниженням ремонтних витрат. *Бібл. 7, рис. 8, табл. 1.*

**Ключові слова:** реконструкція пилосистем, модернізація котлоагрегатів.

**Miroshnichenko Ye.S.**

**Directorate of Electricity Generation, DTEK Energy, Zaporizhzhia**

20, Dobrolybova Str., 69006 Zaporizhzhia, Ukraine, e-mail: miroshnichenkoes@dtek.com

## **Reconstruction of Coal-Pulverization Systems in the Modernization of Boiler Units of Thermal Power Plants**

The condition of the existing stock of boiler and auxiliary equipment requires replacement. Low efficiency, the annual increase in funds needed for recovery and repair of equipment, suggests that in the short term it will become unprofitable in comparison with power import. The vector of Ukraine's refusal to use imported gas, the need to redirect some part of the capacity for burning coal instead of anthracite and other problems of TPPs fuel supply set the task of modernization of boilers and auxiliaries not just for life extending, but with the use of really new technologies. The article offers a promising way of coal-fired capacities development with the replacement of morally and physically obsolete, explosible and not always well-designed coal-pulverization systems with new ones. This substitution significantly expands the possibilities of fuel supply to boilers, noticeably increases the safety of their operation. Economic impact, in addition to boiler efficiency increasing, is achieved by electricity own needs savings and by repair costs reducing. *Bibl. 7, Fig. 8, Table 1.*

**Key words:** reconstruction of coal-pulverization, modernization of boiler.

### **References**

1. GKD 34.20.661–2003. Pravila organizacii tehnicnogo obslugovuvannja ta remontu obladnannja budivel' i sporud elektrostancij ta mrezh, Kiev : GRIFRE, 2004, 263 p.(Rus.)
2. Letin L.A., Roddatis K.F. Tihohodnye i srednehodnye mel'nicy, Moscow : Jenergoizdat, 1981, 358 p.
3. Miroshnichenko E.S. Sovershenstvovanie sposobov toplivopodgotovki i pyleprigotovlenija na sushhestvujushhijh TJeS, Tezisy dokladov 10th Mezhdunarodnoj konferenzii «Ugol'naja teplojenergetika : Problemy reabilitacii i razvitija» (Kiev, Sent. 2014), Kiev : Institut Ugolnyh Jenergotehnologiy NAN Ukrainy, 2014, pp. 48–51. (Rus.)
4. Kisel'gof M.L. Raschet i proektirovanie pyleprigotovitel'nyh ustanovok kotel'nyh agregatov, Leningrad : Central'nyj kotloturbinnij institut, 1971, 312 p.(Rus.)
5. Levit G.T. Pyleprigotovlenie na ugl'nyh jelektrostancijah, Moscow : Jenergoatomizdat, 1991, 384 p.

Received July 20, 2015