

## **НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СТАРОЙ ТЭС: КОТЕЛ С ЦИРКУЛИРУЮЩИМ КИПЯЩИМ СЛОЕМ; СИСТЕМА ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ**

Старобешевская ТЭС расположена на юго-востоке Украины в Донецкой области и снабжает электроэнергией потребителей Донбасса. Электростанция возводилась в три очереди. Сначала были установлены 3 турбины ВКТ-100 мощностью по 100 тыс. кВт и котлоагрегаты ТП-12 паропроизводительностью по 220 т/ч (первая очередь). Затем были введены в эксплуатацию 10 турбин К-200-130 по 200 тыс. кВт и котлоагрегаты ТП-100 паропроизводительностью 640 т/ч (вторая и третья очереди). Строительство первой очереди начали в 1954 г., главного корпуса - в 1956 г. Первый агрегат введен в эксплуатацию в декабре 1958 года, второй - в июне 1959 года, третий - в декабре 1959 года. Сооружение второй очереди электростанции началось в 1959 г. Первый блок введен в эксплуатацию в ноябре 1961 г., второй - в марте 1962 г., третий - в декабре 1962 г., четвертый - июле, пятый - в декабре 1963 г., шестой - в сентябре 1964 г. Первый блок третьей очереди пущен в июле, второй - в декабре 1965 г., третий - в сентябре 1966 г., четвертый - в сентябре 1967 г.

Основными сооружениями ТЭС являются главный корпус, объекты топливного хозяйства, мазутохозяйство, химводоочистка, золоулавливание и золошлакоудаление, а также сооружения электрической части. Главный корпус электростанции возведен в две очереди. Здание первой очереди (для трех турбин ВКТ-100 и шести котлов ТП-12) выполнено с отдельными деаэрационной и бункерной этажерками, расположенными между машинным залом и котельной. Турбоагрегаты установлены вдоль машинного зала. Турбины и оборудование, установленные в 1981-83 гг., выведены из эксплуатации в связи с физическим и моральным износом. Компоновка главного корпуса второй и третьей очередей - трехпролетная, с совмещенной бункерно - деаэрационной этажеркой. Схема второй и третьей очередей блочная: котел - турбина - генератор - трансформатор. В котельном отделении блочной части главного корпуса установлены 10 котлов типа ТП-100 Таганрогского котельного завода проектной производительностью 640 т пара в час с давлением 130 *ата* перед турбиной и температурой 545 °С. Система золошлакоудаления гидравлическая. Впервые в Украине на шлакопроводах гидрозолоудаления была смонтирована установка для извлечения из золошлаковой пульпы ценного сырья для металлургической промышленности - ферросилиция. Система технического водоснабжения включает пруд - охладитель с зеркалом испарения 9 км<sup>2</sup>, который образован на р. Кальмиус, трех железобетонных градирень площадью орошения по 4000 м<sup>2</sup> каждая.

Сооружения электрической части первой очереди электростанции представлены закрытым распределительным устройством (ЗРУ) 35 кВ и открытым (ОРУ) - 110 - 220 кВ. Для блочной части электростанции предусмотрены ОРУ 110 и 220 кВ. Трансформаторы

связи 35 - 110 кВ, трансформаторы собственных нужд первой очереди, автотрансформаторы связи 110 - 220 кВ и трансформатор энергоблока № 4 расположены на территории ОРУ. Остальные расположены на расстоянии 30 м вдоль стены машинного зала. Выдача мощности предусмотрена на напряжениях 35, 110 и 220 кВ.

Электростанция за время работы выработала 424 млрд. кВт·ч электроэнергии. Старобешевская ТЭС по среднему возрасту оборудования - старейшая блочная электростанция Украины. На сегодня она вполне работоспособна и является одним из лидеров по выработке электроэнергии среди тепловых электростанций Украины. Однако запас прочности оборудования, работающего с большими тепловыми и механическими напряжениями из-за высоких температур и давления, близок к исчерпанию. Проблема восстановления работоспособности электростанции путем обновления изношенного оборудования стоит очень остро. Последние реконструкции проводимые на турбинах блоков 200МВт(станционный №4,5,6,7,8,11) включали замену ЦВД, передней части ЦСД, роторов высокого и среднего давления, стопорных и защитных клапанов. На турбинах была проведена замена диафрагм ЦНД на модернизированные. Результат реконструкции ТГ - продление срока эксплуатации, увеличение КПД ЦНД. В 1985 году произведена замена генератора блока №5 с водородно-водяным охлаждением статора. На котлах ТП-100 выполнена реконструкция по замене 16-ти проектных горелок на 12 с установкой треугольником вершиной вниз. В результате реконструкции топки увеличилась надежность работы котлоагрегата, улучшились условия работы оперативного персонала. К настоящему времени оборудование электростанции отработало более 200 тысяч часов. Проводится реконструкция котлоагрегата энергоблока № 4 с установкой котлоагрегата АЦКС-670 паропроизводительностью 670 т/ч с экологически чистой технологией сжигания отходов углеобогащения (шламов) в циркулирующем кипящем слое при атмосферном давлении. Модернизирован существующий турбоагрегат К-200-130.

### **Технология сжигания твердого топлива в котлах АЦ КС**

Система циркулирующего кипящего слоя (ЦКС) является высокоэффективным процессом сжигания угля (85 %-шлама, 15 %-антрацита) в слое, псевдооживленном с помощью воздуха. Основная часть воздуха вдувается в топку вентиляторами первичного и вторичного дутья.

Кипящий слой состоит из вводимого топлива, известняка, золы, инертного материала (донной золы или песка) и сульфата кальция.

Из-за высокой степени циркуляции золы в системе ЦКС, создающей прекрасные условия для тепло-и массообмена, сжигание происходит при температурах на уровне 880°С. В условиях работы при полной нагрузке по всей высоте топки ЦКС создается равномерная температура 880 °С. В диапазоне нагрузок примерно от 50 до 100% эта температура эффективно регулируется расходом золы в теплообменники кипящего слоя посредством пиковых клапанов, обеспечивая таким образом:

- оптимальное связывание серы известняковой присадкой;
- минимальный уровень образования NO<sub>x</sub>.

Конструкция устанавливаемого на Старобешевской ТЭС котла АЦКС базируется на опыте, полученном при проектировании, строительстве и эксплуатации котлов АЦКС большой мощности фирмы Лурги.

Котлоагрегат с циркулирующим кипящим слоем работает по принципу естественной циркуляции (барабанного типа).

Основными элементами котла являются:

- топка ЦКС;
- циклоны рециркуляции;
- теплообменники кипящего слоя (ТОКСы);
- тепловые затворы;
- пиковые клапаны;
- золоохладители;
- конвективная шахта;
- барабан;
- экономайзер;
- испаритель; пароперегреватель;
- промперегреватель;
- пароохладители;
- трубчатый воздухоподогреватель.

Топка ЦКС, циклоны, теплообменники кипящего слоя и соответствующие им тепловые затворы, пиковые клапаны, золоохладители образуют единую систему и представляют собой основные компоненты системы сжигания в циркулирующем кипящем слое.

Экономайзер, барабан, испаритель, пароперегреватели, промперегреватель, пароохладители образуют единую пароводяную систему котла АЦКС.

### Технические характеристики котельного агрегата

Наименование, размерность	Характеристика	Примечания
Котлоагрегат, тип	АЦКС 670	100% нагрузка
1. Паропроизводительность, т/ч		
2. Параметры острого пара:		На выходе из пароперегревателя
Давление, МПа	13,2	
Температура, °С	545	При температуре 540 °С на входе в турбину
3. Параметры пара промперегрева:		

Давление, МПа		
- на входе	2,67	
- на выходе	2,47	
Температура, °С		540°С на входе в турбину
- на входе	325	
- на выходе	542	
4. Температура питательной воды, °С	244	
5. КПД брутто (гарантированный) с учетом подогрева воздуха в калориферах	90,5%	100% нагрузка
6. Температура уходящих газов, °С	130	
7. Температура подогретого воздуха перед воздухоподогревателем, °С	41-55	После вентиляторов первичного воздуха
8. общий вес металла в котле, т	5400	Общая масса котла, включая массу опорной конструкции
9. Показатели надежности:		
- среднее время между аварийными остановками (СВМАО), ч	3000	
- период между текущими ремонтами, ч	8000	
- период эксплуатации, ч (годы)	50 000 (6)	1 капитальный ремонт / 6 лет
- полный период эксплуатации котла, ч (годы)	200 000 (25)	В зависимости от условий эксплуатации и обслуживания

### Сравнение технико-экономических показателей энергоблока №4 до и после реконструкции

Показатели	Единица измерения	До реконструкции	После реконструкции
Мощность	МВт	175	210
Паропроизводительность	т/ч	580	670
К.п.д. котла	%	82,5	90,5
Себестоимость электроэнергии	коп./кВт·ч	9,5	5,0
Расход газа-мазута на подсветку	% по теплу	12,0	0,0
Диапазон регулирования	%	80-100	50-100
Расход электроэнергии на собственные нужды	%	11,3	9,7

<b>Концентрации вредных веществ на входе в дымовую трубу</b>			
• Зола	мг/нм <sup>3</sup>	2500	50
• Сернистый ангидрид	мг/нм <sup>3</sup>	1500	200
• Оксиды азота	мг/нм <sup>3</sup>	900	200

Затраты на реконструкцию котла энергоблока № 4 в сумме 131,4 млн. \$ США включают: проект котла и вспомогательного оборудования, поставки оборудования, строительство, монтаж, ввод в эксплуатацию и обучение персонала.

На энергоблоке № 12 внедрена система шариковой очистки (СШО) конденсаторов. СШО предназначена для предупреждения образования отложений и очистки трубок конденсаторов паровых турбин ТЭС и АЭС.

Оборудование СШО состоит из двух автономных контуров, обеспечивающих предупреждение образования отложений на стенках труб двух конденсаторов. Каждый контур СШО состоит из идентичного набора технологического оборудования и отличается друг от друга тем, что в пределах одного из контуров предусмотрена возможность использования как электронасосного, так и эжекторного способов подачи очищающих шариков в систему циркуляции.

Эффект очистки трубок конденсаторов при помощи циркулирующих губчатых шариков основан на том, что шарики большего диаметра, чем внутренний диаметр трубок, проходя по трубкам, деформируются, принимают бочкообразную форму и, плотно прижимаясь к стенкам трубок, стирают откладывающиеся частицы и предотвращают образование отложений.

Пористые резиновые шарики, диаметр которых на 1 -2 мм больше внутреннего диаметра охлаждающих трубок, вводятся в контур циркуляционной системы в напорный водовод перед конденсатором. После прохождения через трубки конденсатора за счет имеющегося перепада давления шарики попадают в шарикоулавливающее устройство, установленное в сливном циркуляционном водоводе вблизи выходной водяной камеры конденсатора. Из выходных патрубков шарикоулавливающего устройства по внешним трубопроводам шарики с потоком воды подводятся к всасывающему патрубку электронасосного агрегата, который подает шарики в устройство загрузки, а из него через устройство ввода шарики снова подаются в напорный водовод, замыкая контур циркуляции. Первоначальная загрузка шариков в систему осуществляется через устройство загрузки шариков. Это устройство служит также для улавливания (вывода из системы циркуляции) шариков.

Как показывает опыт эксплуатации, обычная для электростанций защита от загрязнения конденсатора крупным мусором не достигает цели. В связи с этим обязательным элементом СШО является фильтр предварительной очистки, устанавливаемый в напорном водоводе перед конденсатором. Тонкая очистка воды предотвращает занос трубных досок мусором и исключает застревание циркулирующих шариков в трубках.

СШО обеспечивает два режима работы:

- эксплуатацию, при которой створки шарикоулавливающего устройства перекрывают сливной водовод и отделяют циркулирующие шарики от потока охлаждающей воды на выходе из конденсатора;
- промывку, при которой шарики выводятся из циркуляционного контура и удерживаются в камере устройства загрузки, а створки шарикоулавливающего устройства поворачиваются в положение, при котором они повернуты к потоку охлаждающей воды обратными сторонами, что позволяет потоку воды смывать накопившиеся на пластинах створок загрязнения.

По мере износа шариков производится их замена, для чего периодически они улавливаются загрузочным устройством, извлекаются из него, изношенные шарики отбраковываются и заменяются новыми.

## **Техническая характеристика оборудования СШО**

### 1. Фильтр предочистки:

- диаметр условный- 1600 мм;
- длина монтажная - 2000 мм;
- привод ротора обратной промывки – мотор - редуктор МПО2М;
- двигатель - 4АМХ80В4У3;
- частота вращения - 1400 об/мин;
- мощность- 1,5 кВт.

### 2. Устройство шарикоулавливающее:

- диаметр условный - 1600 мм;
- длина монтажная - 2000 мм;
- угол наклона створок - 25 град;
- привод поворота створок - ручной.

### 3. Устройство загрузки шариков:

- макс. количество загружаемых шариков - 900 шт;
- привод поворота сетки - ручной.

### 4. Агрегат электронасосный подачи шариков:

- тип-ЦСб3/14;
- всасывающий патрубок - Ду = 80 мм;

- напорный патрубок - Ду = 80 мм;
- подача - 63 м<sup>3</sup>/ час;
- напор— 14 м;
- двигатель - АИР 112М4У3;
- частота вращения — 1450 об/мин;
- мощность-5,5 кВт.

5. Насос водоструйный:

- всасывающий патрубок шариков - Ду = 80 мм;
- всасывающий патрубок рабочей воды – Ду = 80мм;
- напорный патрубок – Ду = 150 мм;
- подача- 130-160 м<sup>3</sup>/час;
- напор -9м.

Внедрение в эксплуатацию СШО позволило повысить мощность турбогенератора № 12 до 1 % (в зависимости от числа часов работы энергоблока).

**Показатели работы Старобешевской ТЭС за I квартал 2001-2002 гг. при улучшении качества твердого топлива**

Показатели	Ед.изм.	I квартал 2001	I квартал 2002	Отклонение
Калорийность твердого топлива	ккал/кг	4994	5293	299
Зольность	%	28,4	24,5	3,9
Удельный расход	г/кВт·ч	406,5	406,3	0,2
Доля твердого топлива	%	80,37	90,35	9,98
Доля топлива на подсветку	%	19,63	9,65	9,98
Потери тепла с мех. недожогом	%	5	4,55	0,45
Расход тепла на собственные нужды	%	2,51	2,01	0,5

**Показатели работы Старобешевской ТЭС за I квартал 2000-2002 гг. после ввода в работу СШО блока №12**

Показатели	Ед. изм.	I квартал 2000	I квартал 2002	Отклонение
Вакуум	%	95,78	96,80	1,02
Средняя нагрузка	МВт	151	158	7
Удельный расход тепла брутто	ккал/кВт·ч	2039	1999	40
Удельный расход тепла нетто	ккал/кВт·ч	2146	2113	33
Расход тепла на собственные нужды	%	0,42	0,4	0,02