

## ОПЫТ ОСВОЕНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ШАРИКОВОЙ ОЧИСТКИ КОНДЕНСАТОРОВ ПАРОВЫХ ТУРБИН НА ТЭС

В. П. Кузьминский, канд. техн. наук, заместитель директора по НИОКР

В. Ю. Кухарь, канд. техн. наук, директор - гл. конструктор

Д. В. Кудрявцев, начальник КБ

В. Г. Шумилин, заместитель директора

ООО "Океанмашэнерго", г. Днепропетровск, Украина

Для большинства ТЭС в Украине очистка конденсаторов от загрязнений остается актуальной проблемой.

В связи с увеличением в прудах-охладителях ТЭС количества загрязнений, особенно биологического характера (а колонии некоторых видов моллюсков, например, дрейсена, растут прямо в водоводах) происходит засорение трубных досок и входных отверстий трубок конденсаторов крупными включениями (водоросли, моллюски, рыба, листья, строительный мусор и др.). Кроме того, непосредственно в трубках конденсаторов образуются отложения взвешенных частиц (песок, глина, зола и др.), минеральные отложения карбонатов кальция и магния, происходит обрастание трубок, связанное с микроорганизмами, образующими на внутренних поверхностях слизистые отложения.

В результате возрастает давление в конденсаторе и уменьшается коэффициент теплопередачи трубок. И то, и другое приводит, в конечном счете, к снижению мощности турбины или, при сохранении мощности, к перерасходу топлива.

Наиболее эффективным средством предохранения конденсаторов от засорения, а трубок конденсаторов от зарастания различного рода отложениями, признана система шариковой очистки (СШО) конденсаторов. Принцип действия СШО заключается в обеспечении циркуляции через конденсатор пористых резиновых шариков, диаметр которых на 1 – 2 мм больше внутреннего диаметра трубки конденсатора. При движении по трубкам шарики удаляют с их внутренних поверхностей любые осадения в их начальной стадии, предотвращая тем самым их дальнейший рост. СШО, которая включает в себя фильтр предочистки циркуляционной воды и контур циркуляции через трубки конденсатора губчатых резиновых шариков, в большинстве случаев комплексно решает проблему.

В Украине на энергоблоках АЭС успешно используются СШО фирмы Tarrogge, в России десятки энергоблоков оснащены системами шариковой очистки ВТИ (Россия).

Несмотря на очевидную эффективность применения СШО, большинство энергоблоков ТЭС в Украине не оснащены такими системами. До сих пор применяются малоэффективные и трудоёмкие методы борьбы с засорением конденсаторов - остановка турбины и удаление загрязнений из конденсаторов вручную, периодическая термосушка, механическая или гидроструйная очистка трубок.

Согласно ПТЭ допускается повышение давления в конденсаторе не более чем на 0,5 кПа, после чего должна проводиться чистка конденсатора. Однако, эта норма, в связи с необходимостью частых остановок турбоагрегата для чистки, не всегда выдерживается. В результате идет недовыработка электроэнергии в среднем не менее чем на 2% на каждом, не оснащённом СШО, энергоблоке или соответствующий пережог топлива. ТЭС Украины несут огромные потери.

На Старобешевской ТЭС проблема засорения конденсаторов и зарастания трубок стала особенно острой в 90-х годах прошлого века, когда резко возросло биологическое засорение пруда-охладителя. В результате проведенного станцией анализа существующих средств борьбы с засорением конденсаторов и зарастанием трубок было выбрано направление на применение СШО.

Для практического применения была выбрана отечественная разработка специалистов ООО "Океанмашэнерго".

Справка. ООО "Океанмашэнерго" возникло на базе ведущего подразделения института НИПИОкеанмаш, преобразованного из созданного в Советском Союзе головного института по созданию роботизированных комплексов для освоения добычи полезных ископаемых в Мировом Океане из глубин около 6000 метров (освоение "гидрокосмоса"). Специалисты ООО "Океанмашэнерго" используют в проектах свои наработки в институте НИПИОкеанмаш, связанные с водой. ООО "Океанмашэнерго" поставляет оборудование по собственным запатентованным разработкам, выполняет весь комплекс работ от научных исследований до разработки, изготовления, монтажа, испытаний, сдачи в эксплуатацию и сервисного обслуживания оборудования.

В ноябре 2001 года первая опытно-промышленная СШО, смонтированная на 12-м энергоблоке (турбина К-200-130-ПР1), после наладки и испытаний была сдана в эксплуатацию [1].

Ввод СШО преобразовал обслуживание конденсатора и повлиял на работу блока в целом. Прекратились внеплановые остановки для чистки конденсатора, отпала необходимость выгрузки (иногда десятками ведер) дрейсены, водорослей, мусора из камер конденсатора, отпала необходимость в термосушке трубок.

Кроме того, вакуум и температурный напор с вводом СШО были доведены практически до нормативного уровня и поддерживаются на этом уровне на протяжении всего времени её эксплуатации. СШО энергоблока № 12 Старобешевской ТЭС окупилась менее, чем за один год. За 4 года эксплуатации под наблюдением специалистов Океанмашэнерго СШО наработала 21000 часов (данные на ноябрь 2005 г.). Сравнительные технико-экономические показатели (ТЭП) работы энергоблока до и после внедрения СШО представлены в таблице.

Показатель	Единица измерения	ТЭП до внедрения СШО	ТЭП после внедрения СШО
Температурный напор	С°	2,09	0,16
Вакуум (норма/факт)	%	95,44/ 93,96	95,21/ 95,05
Отклонение вакуума от нормы	%	1,48	0,16
Экономия топлива при повышении вакуума на 1%	Т.у.т./час	-	0,58
(в час и в год - при наработке 4500 часов в год)	Т.у.т./год	-	3445

Однако не всё в опытно-промышленном образце СШО устраивало разработчиков и эксплуатационников. При наладке СШО и на начальной стадии ее эксплуатации совместными усилиями были сделаны необходимые доработки. А опытная эксплуатация СШО на 12-м энергоблоке под наблюдением специалистов-разработчиков и специалистов станции дала ценные данные для дальнейшего совершенствования конструкции.

Результаты эксплуатации СШО на 12-м энергоблоке были учтены в конструкции новой СШО, которая смонтирована на 4-м энергоблоке. Эту

СШО Океанмашэнерго поставил в 2004-м году в результате выигранного тендера.

СШО Океанмашэнерго [2] является отработанной в результате длительной эксплуатации на ТЭС конструкцией. Она значительно дешевле зарубежной СШО и наиболее адаптирована к условиям работы ТЭС в Украине. Эти условия характеризуются повышенным количеством загрязнений, особенно органических, необходимостью применения, в силу ряда причин, относительно недорогих, надежных в работе и не требующих

"тонкого" обслуживания систем.



Рис. 1 Схема СШО Океанмашэнерго

СШО Океанмашэнерго (рис. 1) состоит из двух одинаковых комплексов оборудования, каждый из которых включает фильтр предочистки и контур циркуляции шариков, в который входят: насос перекачки шариков, устройство загрузки шариков, устройство ввода шариков в напорный

водовод и шарикулавливающее устройство, устанавливаемое в сливном водоводе.

Обязательным элементом СШО Океанмашэнерго является фильтр предочистки воды. Уже применение только фильтра дает существенный эффект, предохраняя конденсатор от засорения. Вместе с тем фильтр обеспечивает стабильную циркуляцию шариков, так как наличие в воде твердых включений размерами более 5 мм приводит к заклиниванию шариков в трубках конденсатора. Поэтому фильтр предочистки является обязательной и наиболее важной составной частью СШО.

Входящий в комплект СШО фильтр предочистки (рис. 2) работает на известном оправдавшем себя принципе промывки сеток обратным потоком воды в автоматическом режиме, но имеет ряд конструктивных особенностей, выгодно отличающих его от других систем [3].

Сетки фильтра установлены под острым углом к потоку, что обеспечивает немедленный смыв с сеток части загрязнений, которые затем при автоматической очистке сетки выводятся в сливной водовод. Это особенно важно при большом количестве загрязнений в воде.

В качестве привода ротора фильтра выбран, после испытаний других вариантов, серийный надежный в работе мотор-редуктор. Привод оснащен специально созданной для СШО муфтой предельного момента и современными бесконтактными датчиками, которые сигнализируют в систему управления о вращении (или остановке) ротора, о достижении предельного момента вращения, о необходимости перевода фильтра в реверсный режим фильтрации в случае попадания в фильтр удлиненных крупных предметов.

Ротор и элементы привода установлены на сконструированных для работы в грязной воде опорах скольжения из специальных пластмасс. Вращение от привода в фильтре последней конструкции передается ротору через специальную шарнирную связь. Такая конструкция обеспечивает надёжную работу фильтра в грязной воде.

Выходящий из корпуса фильтра вал привода имеет щелевое уплотнение с дренажом и разгруженное уплотнение, что обеспечивает долговечную работу узла в грязной воде практически без обслуживания.

Фильтрующий элемент фильтра, несмотря на то, что в целом он выполнен в виде удлиненного по потоку конуса, разделенного на секторы, интенсивно промывается обратным потоком воды по всей длине в каждом секторе, так как окно ротора-очистителя конструктивно приближено к очищаемым секторам и сетке. Фильтр устанавливается на горизонтальном участке напорного водовода вблизи конденсатора.

При номинальном расходе воды через конденсатор потери напора на чистом фильтре составляют около 3 кПа. Расход воды на промывку не превышает 3% от расхода воды в циркуляционном водоводе.

Эти конструктивные особенности фильтра, как показал опыт эксплуатации на Старобешевской ТЭС, обеспечивают надёжную эксплуатацию системы в условиях повышенных загрязнений воды.



Рис. 2 Фильтр предочистки ФПО-1600 Океанмашэнерго

Шарикоулавливающее устройство [4] выполнено в виде установленных под определенным углом к потоку воды двух сит, образованных тонкими скругленными пластинами из нержавеющей стали, установленными по потоку воды. Сита установлены на осях с возможностью их поворота для промывки.

Поворот осуществляется через редуктор вручную, так

как эта операция в связи с наличием фильтра на напорном водоводе выполняется крайне редко. Особенностью шарикоулавливающего устройства Океанмашэнерго является наличие специальных карманов по периферии сит, которые полностью исключают зависание шариков в шарикоулавливающем устройстве. Потеря напора на шарикоулавливающем устройстве при номинальном расходе составляет около 2 кПа.

Опытно-промышленный образец СШО на 12-м блоке был укомплектован свободновихревыми насосами, но с целью выбора лучшего варианта прокачки шариков в комплекте был поставлен и водоструйный эжектор, который был смонтирован на одном из контуров конденсатора параллельно свободновихревому насосу. Оба варианта, как и на стенде завода-изготовителя, показали одинаковые результаты в части выполнения функций прокачки шариков. В связи с лучшими экономическими показателями для комплектации СШО в дальнейшем был принят свободновихревой насос.

Устройство загрузки шариков имеет корпус в виде цилиндра с горизонтальной осью с подводом и отводом воды в радиальном направлении. Внутри корпуса установлен распределитель, который представляет собой вал с установленными на нем решетчатыми лопастями. Поворотом вручную с фиксацией в нужном положении распределитель устанавливается в необходимое положение: загрузки шариков, их вылавливания, выгрузки или временного удержания с последующим запуском в систему. Люк загрузочного устройства оснащен смотровым окном для наблюдения за циркуляцией шариков.

Работа СШО осуществляется в полуавтоматическом режиме. В заданном разработчиком порядке персоналом, обслуживающим турбоагрегат, производится загрузка и выгрузка шариков, осмотр оборудования. Остальные операции выполняются в автоматическом режиме с помощью программируемого блока автоматики и управления. По сигналу дифманометра фильтр предочистки после его засорения переводится без прекращения фильтрации в режим промывки, после чего - снова в режим фильтрации, при этом автоматически включается и выключается сливной клапан. Ведется учет работы фильтра предочистки, информация о работе СШО может быть вызвана на мини-дисплей блока автоматики и управления и отображена на центральном пульте.

В комплекте СШО применены пористые резиновые шарики, выпускаемые ООО "Монодит" (г. Днепропетровск) по ТУ У 19143179.001-98, не уступающие по своим качествам шарикам фирмы Tarrogge (Германия) или завода "Уралэластотехника" (Россия). ООО "Монодит" поставляет

шарики для СШО по заказам ТЭС.



Рис. 3. Фильтр ФСО-400 Океанмашэнерго

Параллельно с оснащением турбоагрегатов СШО на Старобешевской ТЭС проведена большая работа по замене устаревших, малоэффективных, требующих больших затрат ручного труда вспомогательных фильтров Ду 400

на самоочищающиеся автоматизированные фильтры ФСО-2-400 (рис. 3) разработки и поставки Океанмашэнерго [5]. На ТЭС установлено и успешно эксплуатируются 12 таких фильтров, первая пара фильтров работает с 2002-го года. Фильтры двухкамерные, с поочередной промывкой камер в автоматическом режиме по реле времени (предусмотрен вариант по сигналу дифманометра) с помощью программируемого блока автоматики и управления. В эксплуатации выявлено слабое место фильтров этого типоразмера – это примененный в конструкции покупной кулисно-винтовой задвижечный привод Б099036-03М, ТУ 26-07-198-81. Привод был модернизирован разработчиком фильтров Океанмашэнерго на всех 12 фильтрах, установленных на ТЭС (включая и те фильтры, срок гарантии

которых истек). В дальнейшем в модернизированном фильтре ФСА такого типа используется надежный серийный мотор-редуктор со специально разработанной предохранительной моментной муфтой и бесконтактными датчиками, дающими сигналы в блок автоматики и управления.

Следует отметить, что в Океанмашэнерго разработана и поставляется промышленности целая серия самоочищающихся автоматизированных фильтров различных типов [6]: осевые фильтры ФСБ (типа фильтров предочистки СШО), двухкамерные с двумя приводами типа ФСА, осевые многокамерные типа ФСВ [7], фильтры с вертикальной установкой типа ФСЦ [8]. Работая с заказчиками, Океанмашэнерго имеет возможность подобрать и рекомендовать к использованию фильтр, наиболее приемлемый для конкретных условий.

Фильтры Океанмашэнерго характеризуются небольшим перепадом давления, незначительным кратковременным расходом воды на промывку, возможностью фильтрации воды с твёрдыми включениями практически любых размеров, в том числе с органическими загрязнениями, водорослями и бытовым мусором. Фильтры хорошо вписываются в водоводы, практически не требуют текущего обслуживания.

С учетом опыта проектирования и эксплуатации СШО проработаны и подготовлены технико-коммерческие предложения на СШО для ряда ТЭС: Криворожская ТЭС (турбины мощностью 300 МВт), Приднепровская ТЭС (турбина мощностью 300 МВт), Славянская ТЭС (турбина мощностью 800 МВт), Бурштынская ТЭС (турбины мощностью 200 МВт). Предложения одобрены техническими руководителями станций. Имеются все возможности для внедрения в энергетике Украины отечественных конкурентоспособных СШО.

Следует подчеркнуть, что СШО является сложной установкой, создание её полноценного промышленного образца сопряжено с рядом серьёзных проблем, которые могут быть успешно решены только при сочетании опыта проектирования таких систем и их продолжительной эксплуатации. Поэтому попытки создания собственных систем, что практикуется на некоторых ТЭС, вряд ли можно признать целесообразными, тем более что освоенная отечественная СШО стоит значительно дешевле зарубежной и окупается менее чем за год.

## ВЫВОДЫ

Создана и отработана при многолетней эксплуатации на ТЭС отечественная система шариковой очистки конденсаторов турбоагрегатов. СШО разработана и поставляется по собственному патенту научно-



производственной организацией ООО “Океанмашэнерго” с выполнением всего комплекса работ от монтажа до наладки и сервисного обслуживания.

Опыт использования СШО на ТЭС показал её высокую эффективность, что позволяет рекомендовать её применение на других тепловых электростанциях Украины.

Учитывая эффект от применения СШО, – повышение выработки электроэнергии более, чем на 2% при сохранении неизменным расхода топлива и относительно невысоких затратах на её приобретение и установку, представляется целесообразным рекомендовать оснащение энергоблоков ТЭС отечественными системами шариковой очистки конденсаторов в качестве одной из первоочередных задач.

## *Список литературы*

- 1 Новые технологии старой ТЭС: котел с циркулирующим кипящим слоем; система шариковой очистки конденсаторов. Энергосбережение № 8 – 2002, редакционная статья, стр. 6 – 9.
- 2 Деклараційний патент на винахід № 51551 А України, Комплекс кулькового очищення конденсаторних трубок / Кузьмінський В.П., Кудрявцев;Д.В., Шумілін В.Г., Тіщенко О.Д., Петров В.В. // Промислова власність. – 2002. - № 11.
- 3 Заявка № а 2006 02100 на патент України. Фільтр / Кузьмінський В.П., Кудрявцев Д.В., Шумілін В.Г., Кухар В.Ю. // Пріоритет від 27.02.2006.
- 4 Деклараційний патент № 51553А України. Пристрій для вилучення кульок з потоку охолоджувальної води / Кузьмінський В.П., Кудрявцев Д.В., Шумілін В.Г., Тіщенко О.Д., Петров В.В. // Промислова власність. – 2002. - № 11.
- 5 Разработка и совершенствование автоматизированных фильтров технической воды для условий отечественных горнометаллургических предприятий. Материалы международной конференции "Форум горняков-2006", НГУ, г. Днепропетровск, 2006, стр.37-41.
- 6 Патент № 54133 Україна, МПК, / Кузьмінський В.П., Кудрявцев Д.В. // Промислова власність. – 2006. - № 10.
- 7 Патент № 75972 Україна, МКИ, Фільтр / Кузьмінський В.П., Кухар В.Ю., Шумілін В.Г., Кудрявцев Д.В. // Промислова власність. – 2006. - № 6
- 8 Заявка № а 2006 02147 на патент України. Фільтр / Кузьмінський В.П., Кухар В.Ю., Кудрявцев Д.В., Шумілін В.Г. // Пріоритет від 27.02.2006.