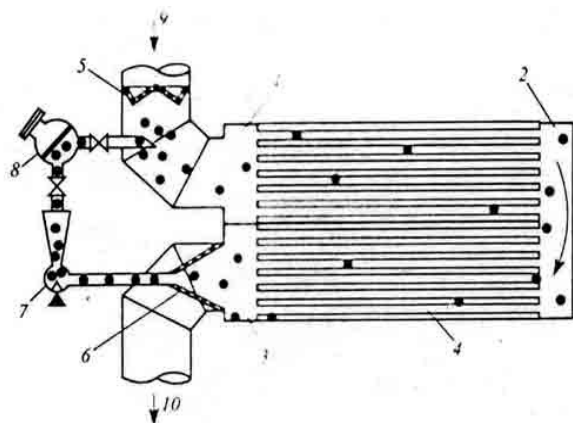


## Исследование качества отечественных шариков для очистки конденсаторных трубок, их характеристики и рекомендации по использованию

Шипилев С. Г., инж., Ефимочкин Г. И., доктор техн. наук, Блинов В.С., канд. хим. наук,  
Стихин Д. В., инж. АО ВТИ - ЗАО Уралэластотехника

В последние годы, несмотря на финансовые трудности, активизировалось внедрение на всех типах турбин систем шариковой очистки (СШО) конденсаторных трубок с дополнительными автоматизированными фильтрами. Это связано с быстрой окупаемостью таких систем (в течение 1 года) за счет стабильного поддержания максимального вакуума в конденсаторе и исключения трудоемких работ по его очистке от загрязнений с водяной стороны. Оборудование для СШО изготавливается на ГРЭС-24 АО Мосэнерго по лицензии ВТИ. Институт для каждого объекта разрабатывает оптимальную схему и компоновку оборудования, выдает заказы на его изготовление и закупку шариков, проводит наладку, авторский надзор и сдачу систем в эксплуатацию [1]. Одним из главных условий обеспечения эффективной работы СШО является поддержание высокого качества пористых резиновых шариков (ПРШ), изготавливаемых на ЗАО Уралэластотехника (УЭТ) в г. Екатеринбурге по лицензии немецкой фирмы "Тапрогге". Поэтому ВТИ совместно с УЭТ проводит постоянную работу по исследованию их качества, на основании чего вносятся изменения в технические условия на их изготовление. Первые результаты таких исследований на стендовой установке были приведены в [2].



**Рис. 1.** Система шариковой очистки турбины типа К-300-240 ЛМЗ Каширской ГРЭС:

1, 2, 3 – соответственно входная, поворотная и выходная камеры конденсатора; 4 – конденсаторная трубка длиной 9 м; 5 – фильтр дополнительной очистки воды; 6 – шарикоулавливающая решетка; 7 – эжектор отсоса шариков; 8 – загрузочная камера; 9, 10 – подвод и отвод охлаждающей воды

Далее представлены результаты сравнительных испытаний ПРШ производства ЗАО Уралэластотехника и немецкой фирмы "Тапрогге" на промышленных конденсаторах турбин мощностью 300 МВт Каширской ГРЭС, проведенных в последнее время. Внедрение СШО на этой электростанции привело к снижению удельных расходов топлива на 1,2 г/(кВт·ч) и позволило отказаться от кислотных промывок [3]. При этом использовали выпускаемые по ТУ 38.105.1978-90 отечественные ПРШ пяти ступеней твердости и диаметром 28 мм и ПРШ фирмы "Тапрогге" марки 28-8160-3.

На рис. 1 показаны основные элементы системы шариковой очистки одной половины двухходового конденсатора типа 300-КЦС-3. В каждом ходе содержится около 5 тыс. трубок диаметром 28/26 и длиной 9 м. При работе СШО шарики циркулируют по контуру: эжектор - загрузочная камера - входная водяная камера конденсатора - трубки первого хода - поворотная камера - выходная камера - шарикоулавливающая решетка - эжектор. Для прекращения циркуляции перфорированная заслонка загрузочной камеры устанавливается поперек потока воды и все шарики

собираются в камере. Протяженность контура циркуляции составляет около 30 м. При расходе охлаждающей воды 5 м<sup>3</sup>/с (18000 м<sup>3</sup>/ч) и средней скорости воды в трубках 2 м/с шарики обходят контур за 18 - 20 с, проходя по конденсаторным трубкам путь, равный 18 м.

Согласно ТУ 38.105.1978-90 отечественные шарики изготавливаются из пористой резины на основе натурального каучука диаметром 24, 25, 28 и 30 мм. Предельное отклонение размера диаметра ±1 мм. По твердости шарики подразделяются на шесть категорий: сверхтвердые (СТ), твердые (Т), среднетвердые (НТ), нормальные (Н), мягкие (М) и сверхмягкие (СМ). Каждой категории твердости соответствует условная плотность (в килограммах на кубический метр): 320-400 для СТ; 290 - 320 для Т; 260 - 290 для НТ; 240 - 260 для Н; 230-240 для М и менее 230 для СМ. Набухаемость шариков не должна превышать 10% (по объему) после пребывания в воде в течение 24 ч, рабочий интервал 0-90 °С.

Шарики должны храниться в сухом помещении при температуре от минус 5 до +35°С и быть защищены от воздействия солнечных лучей, теплоизлучающих приборов и веществ, разрушающих резину. Гарантийный срок хранения 1 год. Под сроком службы шарика обычно понимают время его циркуляции по контуру, за которое его средний диаметр, т.е. полусумма минимального и максимального размеров, становится равным внутреннему диаметру трубки. На чистых трубках срок службы должен составлять не менее 300 - 400 ч непрерывной циркуляции, что соответствует примерно 400 км пути трения. На загрязненных отложениями трубках с большой степенью шероховатости срок службы, как показывает практика, значительно уменьшается.

В таблице приведены размеры испытывавшихся на износостойкость шариков до и после испытаний на конденсаторе № 5.

Тип ПРШ	Перед испытанием			В конце испытания				Δ V, %
	(сухие шарики)			(Lпробега=132 км; tцирк=44 ч)				
	$D_0^{мн}$	$D_0^{ма}$	$D_0^{ср}$	$D_1^{мн}$	$D_1^{ма}$	$D_1^{ср}$		
мм	мм	мм	мм	мм	мм			
М	27, 68	28,1 0	27,8 9	25,4 8	27,7 0	26,59	13,4	
Н	27, 72	28,0 8	27,9 0	25,5 0	27,0 0	26,25	16,7	
НТ	27, 70	28,0 3	27,8 6	25,7 0	26,5 0	26,10	17,7	
Т	27, 92	28,0 4	27,9 8	25,6 6	27,4 0	26,53	14,7	
СТ	28, 01	28,2 5	28,1 3	25,7 0	26,9 0	26,30	18,2	
28- S160-3	28, 00	28,6 0	28,3 0	25,6 0	27,8 0	26,70	16,0	

Форма испытываемых шариков была близка к сферической, а поверхность имела однородную пористую структуру без видимых дефектов.

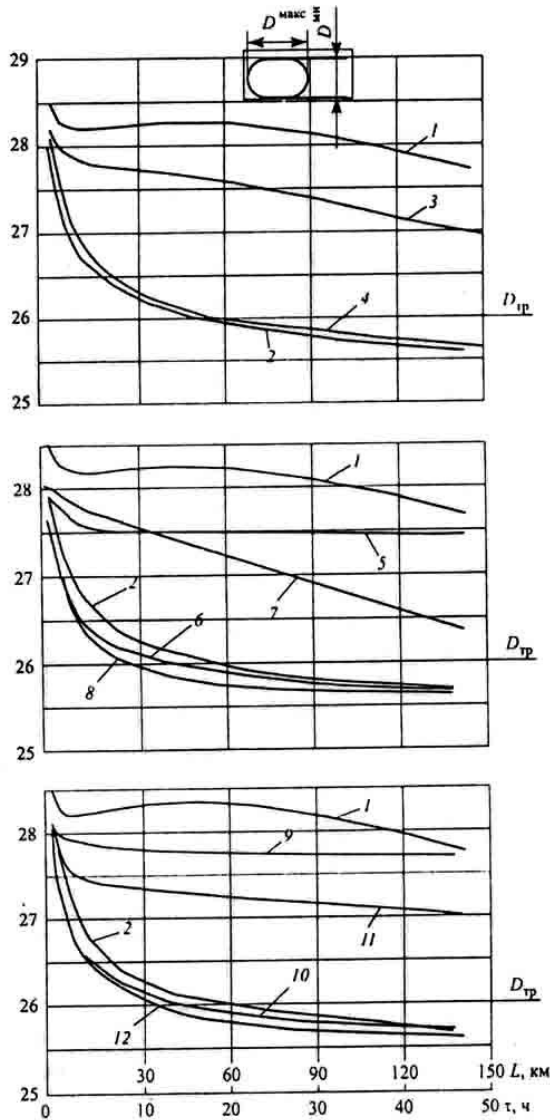


Рис. 2. Изменение максимального и минимального диаметров шариков при циркуляции по трубкам конденсатора № 5 Каширской ГРЭС:

1, 2 – соответственно  $D^{\max}$  и  $D^{\min}$  для шариков фирмы "Тапрогге"; 3, 4 – то же для шариков типа СТ; 5, 6 – то же для шариков типа Т; 7, 8 – то же для шариков типа НТ; 9, 10 – то же для шариков типа М; 11, 12 – то же для шариков типа Н

условиях будут иметь меньшую начальную скорость износа. Наибольший износ, вычисленный по уменьшению объема, имеют шарики типа СТ, а наименьший - шарики типа М. Уменьшение объема ( $\Delta V$ ) шариков типов НТ и Н практически такое же, как у шариков фирмы "Тапрогге". Для обеспечения перемещения шарика по трубке необходимо, чтобы перепад давления воды на входе и выходе на 15-20% превышал значение, при котором шарик останавливается

$$P_{вх} - P_{вых} > P_{ДВ}^{\min} = (1,15 \div 1,2) \Delta P_{ост}$$

На рис. 3 дана номограмма для выбора типа и диаметра шариков. Например, для перемещения шарика диаметром 28 мм типа Т по трубке с внутренним диаметром 26 мм

На графиках (рис. 2) показано изменение минимального и максимального диаметров шариков при их движении по контуру в течение 44 ч, за которые ими было пройдено около 132 км. Значения  $D^{\min}$  и  $D^{\max}$

и определялись как средняя величина линейных размеров всех отлавливаемых шариков данного типа. Испытания показали, что наиболее интенсивный износ наблюдается в первые часы циркуляции. При этом шарики приобретают форму цилиндра со сферическими вершинами. Быстрое уменьшение диаметра цилиндрической части вызвано износом шариков при движении внутри трубок с шероховатой поверхностью, а также микрорезанием об острые кромки входных и выходных концов трубок. По мере уменьшения диаметра цилиндрической части интенсивность износа уменьшается и шарик приобретает форму сливы. Максимальный линейный размер шарика уменьшается в меньшей степени, а у шариков фирмы "Тапрогге" он даже возрастает из-за набухания резины. Все остальные типы шариков по истечении 44 ч циркуляции еще не исчерпали свой ресурс.

Сравнение степени износа шариков следует производить при условии равенства их исходных размеров. Шарики, имеющие меньший диаметр, при прочих равных

$\Delta P_{ДВ}^{мин} = 18$  кПа. Поскольку перепад давления зависит от расхода охлаждающей воды, в случае сезонного изменения расхода необходимо иметь шарики минимум двух типов твердости. Для летнего режима работы при большом гидравлическом сопротивлении конденсатора предпочтительно применение твердых шариков типа Т и НТ, а в зимний период, при снижении расхода охлаждающей воды и соответствующем уменьшении перестановочного усилия, следует использовать более мягкие шарики типа Н и М.

Режим работы СШО, число и тип загружаемых шариков, периодичность работы СШО должны уточняться наладочной организацией на основании сезонных испытаний с контролем теплотехнических показателей конденсатора, состояния внутренней поверхности конденсаторных трубок, вида отложений в трубках, режима работы турбины, интенсивности загрязнения и других особенностей эксплуатации.

## ВЫВОД

Практика показала, что предложенное фирмой "Тапрогге" использование ПРШ для поддержания чистоты конденсаторных трубок, а при наличии корундового пояса и для их очистки от твердых отложений, оказалось весьма эффективным техническим решением, которое широко используется во всем мире. Проведенные ВТИ исследования показали, что качество отечественных шариков, изготавливаемых ЗАО Уралэластотехника, находится на уровне мировых стандартов и примерно в 2 раза дешевле, чем у фирмы "Тапрогге".

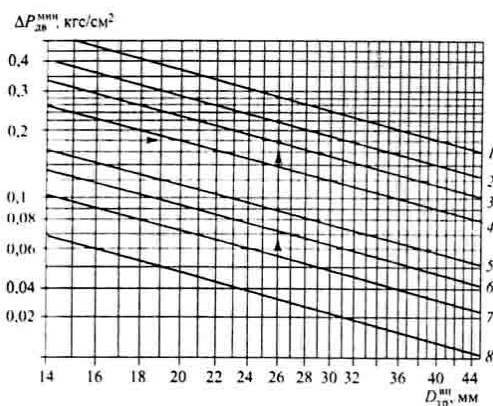


Рис. 3. Номограмма для выбора типа и диаметра шариков ( $D_{ш}$ ):

1, 2 – соответственно тип Т, НТ,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 3мм$ ; 3 – тип Т,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 2мм$ ; 4 – тип НТ,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 2мм$ , тип М,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 3мм$ ; 5 – тип М,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 2мм$ ; 6, 7, 8 – соответственно тип Т, НТ, М,  $D_{ш} = D_{тр}^{мин} + 1мм$

При оформлении электростанциями заказа на покупку шариков следует с помощью внедряющей организации (ВТИ, ОРГРЭС, Мосэнергоналадка) провести анализ условий работы СШО, чтобы правильно определить необходимое число и подходящий для данного объекта тип шарика, его диаметр и показатель твердости, а также выбрать оптимальный режим эксплуатации с учетом качества охлаждающей воды, типа загрязнений, сезонных изменений расхода и др.

## Список литературы

- 1 Информационное письмо Департамента науки и техники РАО "ЕЭС России" от 02.04 / 97 № 02-3 / 10 ИП-06.02.97 (ТП). О внедрении на турбинных ТЭС систем шариковой очистки конденсаторов.
- 2 Испытания на стенде ВТИ пористых резиновых шариков для очистки конденсаторных трубок / Шипилев С. Г., Ефимочкин Г. И., Мутыгуллин Х. С. и др. - Энергетик, 1990, №5.
- 3 Опыт освоения и эксплуатации оборудования для предупреждения загрязнения конденсаторов паровых турбин / Шипилев С. Г., Сергеев А. И., Свяцкий И. М. и др. - Энергетик, 1999, №6.