

Испытания на стенде ВТИ пористых резиновых шариков для очистки конденсаторных трубок

ШИПИЛЕВ С. Г., инж., ЕФИМОЧКИН Г. И., доктор техн. наук, МУТЫГУЛЛИН Х. С., ДЕВАЛЬД И. О., ИОНОВ В. Ю., инженеры, ВТИ им. Ф. Э. Дзержинского - Свердловский завод эбонитовых изделий

С 1988 г. на Свердловском заводе эбонитовых изделий (СЗЭИ) по заказу Минэнерго СССР началось производство пористых резиновых шариков (ПРШ), предназначенных для поддержания чистоты внутренней поверхности конденсаторных трубок. Производство организовано по лицензии фирмы "Тапрогге" (ФЗГ), поставившей основное оборудование для поточной линии производительностью 5 млн. шариков в год. Опытная партия шариков была изготовлена по временным техническим условиям, разработанным Свердловским филиалом НИИРП и ВТИ.

Высокие требования к качеству ПРШ, связанные с влиянием механических нагрузок, водной среды, износом за счет трения, определили необходимость применения высококачественных материалов для изготовления резиновой смеси при производстве ПРШ и тщательного межоперационного контроля технологического процесса их изготовления. Рецептурный фактор во многом определяет основные свойства ПРШ – набухание в воде, а также характер пористой структуры, от которой зависит скорость погружения и способность ПРШ противостоять износу.

В настоящее время изготавливаются ПРШ диаметром от 23 до 31 мм шести категорий твердости с корундом и без него. При составлении резиновой смеси используется импортный натуральный каучук. Для повышения прочности шариков в смесь вводится в качестве наполнителя сульфат бария. В качестве порообразователя применен порофор ЧХЗ-5 в комбинации со специальными химическими добавками, регулирующий равномерность распределения пор и их размер. Полуфабрикаты подвергаются тщательному межоперационному контролю.

На заводе проводятся также исследования возможности применения синтетических каучуков при производстве ПРШ для придания им новых свойств, например, устойчивости в водной среде, загрязненной нефтепродуктами, и повышенной теплостойкости (однако для продажи электростанциям шарики изготавливаются строго по рецептуре, установленной фирмой "Тапрогге").

В связи с отсутствием опыта оценки качества ПРШ в ВТИ и СЗЭИ были разработаны методика испытаний шариков и способы определения основных показателей. Учитывая предстоящее широкое использование ПРШ, используемые способы оценки качества ПРШ представляют интерес для эксплуатационного персонала электростанций.

Согласно техническим условиям ПРШ должны обеспечивать поддержание чистоты конденсаторных трубок в течение установленного срока службы. По данным фирмы "Тапрогге" минимальный срок непрерывной циркуляции равен 400 ч. Шарики с корундовым пояском предназначены для очистки поверхности трубок от небольшого слоя отложений. Шарик считается отработавшим после того, как его средний диаметр станет равным внутреннему диаметру конденсаторной трубки.

Исследования процесса износа шариков при их циркуляции в потоке воды по замкнутому контуру при условиях, максимально приближенных к реальным условиям их эксплуатации в промышленных конденсаторах на электростанциях, проводились на экспериментальном стенде в ВТИ (рис. 1). На нем устанавливались сменные образцы конденсаторных трубок, общая длина которых составляла 12,4 м. В процессе исследований измерялись расход, давление и температура воды; перепад давления на образцах трубок, использовался автоматический счетчик шариков, проводились визуальные наблюдения через смотровые окна. В качестве побудителя циркуляции применялся водо-водяной эжектор.

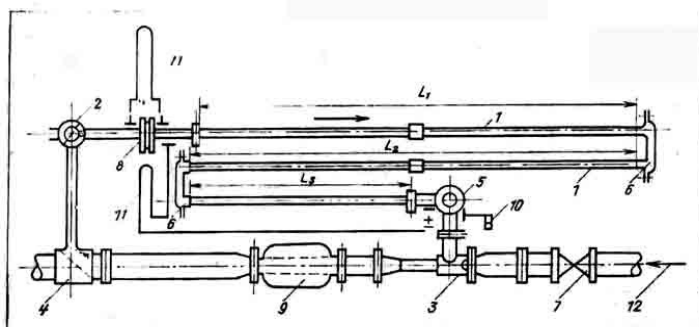


Рис. 1. Установка для исследования пористых резиновых шариков: 1 — образцы конденсаторных трубок; 2 — загрузочная камера; 3 — водяной эжектор; 4 — шарикоулавливающая сетка; 5 — смотровые окна; 6 — прозрачные участки; 7 — задвижки; 8 — измерительная диафрагма; 9 — индукционный расходомер; 10 — счетчик шариков; 11 — дифференциальный манометр; 12 — подвод рабочей воды к эжектору

В соответствии с разработанной ВТИ методикой показатели качества испытываемых образцов шариков оценивались путем сопоставления с эталонными шариками фирмы "Тапрогге". В ходе испытаний измерялись размеры шариков, их твердость и набухание, погружаемость. По этим показателям определялось изменение формы и размеров шариков при их циркуляции по контуру, содержащему трубки с

умеренно шероховатой поверхностью, оценивалось время эффективной работы (долговечность). При этом фиксировалось состояние образцов конденсаторных трубок.

Отобранные для испытаний шарики должны иметь правильную шарообразную форму без заметных дефектов пористой поверхности (рис. 2). После сжатия или растяжения их исходная форма должна восстанавливаться. Диаметр шарика измеряется штангенциркулем или специальными калиброванными шаблонами в трех взаимно перпендикулярных плоскостях, после этого вычисляется среднеарифметическое значение этого параметра.

Погружаемость отобранной партии шариков (не менее 20 шт.) определяется в прозрачном сосуде (вакуум-эксикаторе) с металлической сеткой для погружения шариков, соединенным с вакуумным насосом. Шарики опускают в воду, наполняющую сосуд на $2/3$ объема, и создают в нем с помощью насоса вакуум до кипения воды в течение 10 мин. Затем, примерно через 10 мин после отключения насоса определяют долю шариков, опустившихся на дно сосуда. Для вычисления скорости погружения пропитанный водой шарик из эксикатора помещают на поверхность в мензурке и фиксируют время, за которое он погружается на глубину 300 мм.

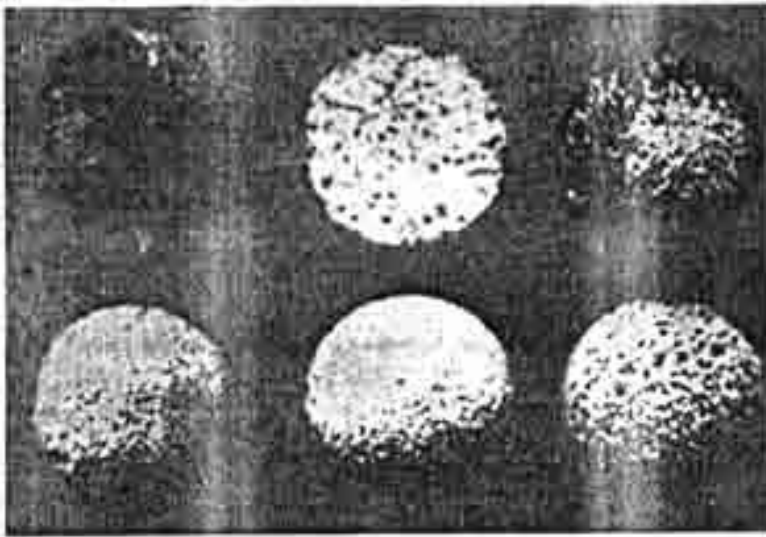


Рис. 2. Пористые резиновые шарики

Для более точного вычисления скорости погружения, исключая влияние трения и соударения со стендами мензурки, разработана установка, состоящая из прозрачного сосуда диаметром 300 мм. На ней фиксируется время прохождения шарика через контрольные отметки, расположенные на расстоянии 1 м по длине сосуда. Пропитанные водой ПРШ погружаются, в сосуд строго по центру и извлекаются из него с помощью специального устройства. Скорость

погружения составляет 10 - 14 см/с.

Степень набухания ПРШ, как уже отмечалось, во многом определяется рецептурным фактором, т. е. видом и количеством ингредиентов и каучуков, входящих в состав материала ПРШ, но также зависит от состава и свойств охлаждающей поды, от содержания в ней различных примесей. На СЗЭИ показатель набухания в воде нормируется.

Для выражения показателя твердости шарика в условных количественных единицах использовалось рычажное устройство со сферическим индентором диаметром 12 мм. Этот показатель определялся по относительной деформации шарика при сжатии. Шарик устанавливался в сферическую лунку и рычаг подводился так, чтобы индентор слегка касался поверхности шарика. Проводился отсчет по шкале и записывался результат ℓ_1 .

Второй отсчет ℓ_2 выполнялся спустя 15 с после приложения к шарикау нагрузки, определяемой массой рычага и груза. За показатель твердости шарика H в одном

направлении принималось отношение $\frac{\ell_1}{\ell_1 - \ell_2}$. Эта величина, усредненная по трем взаимно перпендикулярным направлениям, характеризовала твердость и позволяла сопоставить этот показатель для сухих шариков с одинаковым диаметром.

Определение долговечности (срока службы) шариков, являющейся его основной характеристикой на стендовой установке проводилось следующим образом.

После отбора шариков с одинаковыми диаметрами они пропитывались водой и вводились в контур циркуляции. В каждой серии испытаний вместе с шариками СЗЭИ загружались по два контрольных шарика типа S фирмы "Тапрогге". Скорость шариков в трубках на стенде поддерживается на том же уровне, что и в реальных конденсаторах, т. е. примерно 2 м/с. В период испытаний производились контрольные выгрузки шариков через 0,5; 1; 1,5; 2; 4 и 7-8 ч. При этом их обмеряли и осматривали для определения степени износа и состояния поверхности. Испытание прекращали при обнаружении механических повреждений поверхности шарика или при уменьшении его диаметра до значения внутреннего диаметра установленного образца конденсаторной трубки.

Из каждой партии для испытаний отбирается не менее 10 шариков. После прохождения заданного расстояния по трубкам средний диаметр шариков из данной партии не должен отличаться более чем на 2%. В противном случае испытания повторяются.

Шарики с корундовым пояском выгружаются и осматриваются периодически через 10 проходов по трубке.

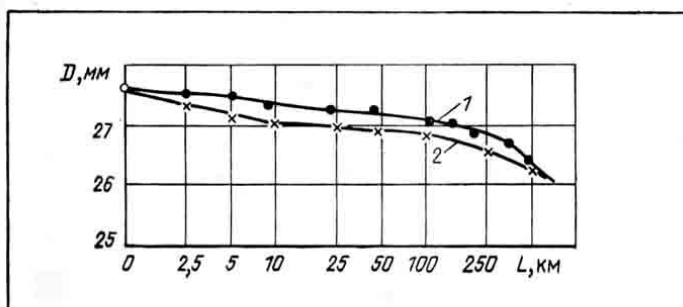


Рис. 3. Изменение среднего диаметра шариков типа S фирмы «Тапрогге» (1) и шариков типа СТ СЗЭИ (2) в зависимости от пути трения о стенку трубки

Для лабораторных исследований СЗЭИ представил 200 шариков диаметром 28 мм шести типов твердости: М - мягкие, МН - умеренно мягкие, Н - нормальные, НТ - умеренно твердые, Т - твердые и СТ - супертвердые. Измерение твердости с помощью самодельного рычажного твердомера показало, что относительное изменение

твердости рассматриваемой партии шариков находилось в пределах 85 - 155%, а партии производства фирмы "Тапрогге" трех типов твердости (S, N и H) - в пределах 100 - 125%. Шарики из закупленной в Болгарии партии имели твердость 76%, т. е. были самыми мягкими.

Измерения показали, что объем исследуемых шариков СЗЭИ при нахождении их в сосуде под уровнем воды ("набухаемость") увеличивается на 10 - 15%. Наибольшая скорость увеличения объема наблюдается в первые 5 - 8 ч пребывания в воде. В дальнейшем она снижается, а через 400 - 500 ч практически прекращается.

Все исследованные типы шариков производства СЗЭИ и фирмы "Тапрогге", кроме шариков из Болгарии, после пропитки водой имели отрицательную плавучесть. Скорость погружения при этом составляла от 15 до 40 мм/с, что вполне приемлемо с точки зрения равномерного распределения шариков в объеме воды.

Исследование шариков на износ показало, что при движении по новой конденсаторной трубке с хорошо обработанным под колокольчик входом износ поверхности шарика, т. е. уменьшение его среднего диаметра практически не наблюдается. При движении шариков по загрязненной трубке с умеренно шероховатой поверхностью в начальный период циркуляции происходит интенсивный износ, а затем он постепенно замедляется (рис. 3). Опыты показали, что шарики имели правильную сферическую форму в начале и в конце эксплуатации после прохождения по трубке 500-700 км, т.е. через 70 - 100 ч работы, и их диаметр срабатывался до внутреннего диаметра трубки. На промежуточных этапах они принимали цилиндрическую форму.

Из рис. 4, на котором приведено изменение объема исследуемых шариков СЗЭИ и шарика S фирмы "Тапрогге" при прохождении по конденсаторной трубке 200 и 400 км видно, что все типы шариков СЗЭИ, кроме СТ, изнашивались меньше, чем шарики S фирмы "Тапрогге". Это свидетельствует о хорошем их качестве.

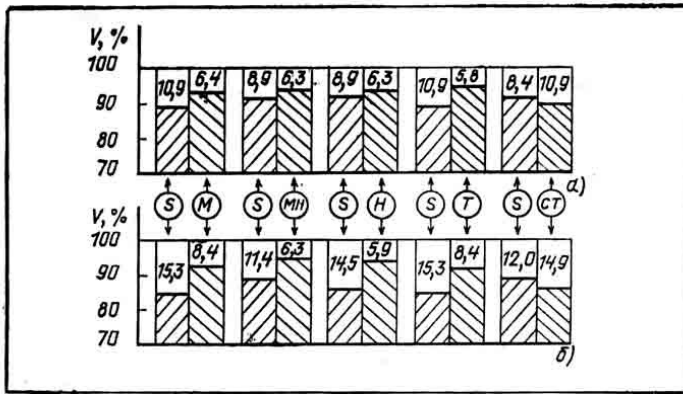


Рис. 4. Уменьшение объема шариков типа М, МН, Н, Т, СТ и S при длине пути трения 200 (а) и 400 км (б)

Износ шариков резко увеличивается при движении по загрязненной трубке, с покрытой твердыми отложениями с шероховатой поверхностью. Например, при установке, на стенде трубки, вынутой из промышленного конденсатора, с толщиной твердых отложений всего 0,075 мм в начальный период циркуляции интенсивность износа увеличивалась в 30 раз. Это свидетельствует о необходимости перед

использованием ПРШ (без корундового пояса) в конденсаторах, бывших в эксплуатации, предварительной тщательной очистки трубок от твердых отложений. При использовании в упомянутом случае шариков с корундовым поясом отложения были ликвидированы через 60 проходов. При увеличении числа проходов на поверхности очищенной трубки появились повреждения оксидной пленки, защищающей трубку от активной коррозии. Это свидетельствует о необходимости принятия мер предосторожности от "перечистки" трубы при использовании шариков с абразивным покрытием.

При установке на стенде новой конденсаторной трубки с поврежденным входным участком (прогнутом на 2 мм внутрь трубки краем стенки) шарик производства СЗЭИ типа М, имевший хорошее исходное состояние, полностью разрушился через 50 км пути. Это свидетельствует о необходимости перед применением ПРШ для очистки трубок конденсаторов тщательно обработать их концы под колокольчик, освободиться от заусенцев и вмятин и произвести полную очистку внутренней поверхности от отложений.

При проведении исследований на стенде некоторые шарики быстро разрушались, не пройдя положенного расстояния. Осмотр показал, что это результат наличия на поверхности шариков крупных пор размером 5-7 мм, которые и явились исходным местом его разрушения. Преждевременное разрушение шариков, кроме увеличения эксплуатационных затрат, приводит к загрязнению водоема. Поэтому к наружной поверхности шариков, предъявляются особые требования.

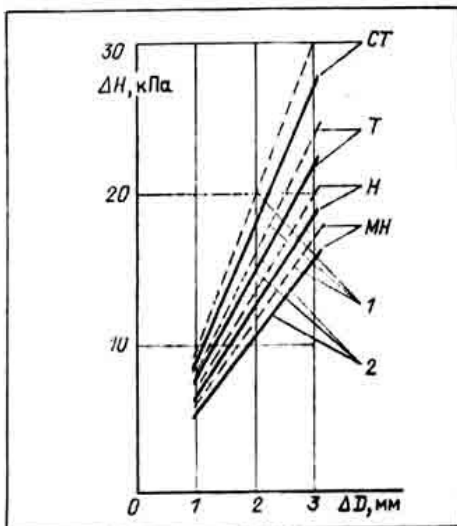


Рис. 5. Минимальные перепады давления ΔH , при которых обеспечивается перемещение шариков по трубкам диаметром 24 мм (1) и 26 мм (2)

Для обеспечения движения шарика по трубке необходимо поддерживать определенный перепад давления воды. С увеличением этого перепада скорость движения шарика растет, с уменьшением - соответственно уменьшается, а при каком-то минимальном для данных условий значении шарик останавливается в трубке. Опыты показали, что это значение перепада прямо пропорционально твердости шарика, разности диаметров шарика и трубки $\Delta D = D_{ш} - D_{тр}$, а также степени загрязнения трубки. Для приведения шарика в движение необходимо увеличение перепада давления на 15-20%.

На рис. 5 приведены полученные на стендовой установке минимальные значения перепадов давлений, при которых происходит перемещение шариков различных твердостей и размеров в трубке с умеренно загрязненной внутренней поверхностью. Например, из графика следует, что для беспрепятственного перемещения шарика диаметром 28 мм нормальной твердости по трубке диаметром 26 мм требуется перепад давления не менее 13,4 кПа. Поэтому твердость шарика следует выбирать по значению перепада давления между водяными камерами конденсатора.

Завод гарантирует сохранение исходных свойств шариков в течение года при соблюдении правил хранения. При ухудшения характеристик и показателей работы шариков или возникновении других проблем, связанных с их эксплуатацией, следует обратиться на СЗЭИ или в ВТИ, готовых оказать практическую помощь

Обращаем внимание электростанций на необходимость оформления предварительных заказов на поставку шариков. В настоящее время СЗЭИ не обеспечен заказами и работает с неполной загрузкой проточной линии, в силу этого стоимость шариков повышена (56 коп. без абразива и 63 коп. с абразивным пояском). При увеличении количества заказов стоимость шариков существенно уменьшится, при уменьшении - производство придется законсервировать.