

УДК 620.179.14

## КОНТРОЛЬ ОТЛОЖЕНИЙ НА ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ

А. А. СТОЛЯРОВ

«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»

Москва, Россия

Работа посвящена поиску способов определения параметров отложений, образующихся на внешней поверхности теплообменных труб парогенераторов АЭС, при проведении вихретокового контроля внутренним проходным параметрическим датчиком. Наличие отложений непосредственно влияет на отвод тепла, причём увеличение объёма отложений резко ухудшает теплопередачу. В связи с износом трубного пучка за последние десять лет на российских атомных станциях задача определения параметров отложений (главным образом, протяжённости, толщины и состава), непосредственно связанная с необходимостью принятия решения о глушении определённых трубок, стала актуальной из-за важности точного прогнозирования работы оборудования и периодичности проведения мониторинга (остановка реактора приводит к многомиллионным потерям).

В работе было применено моделирование процедуры контроля отложений на стенках теплообменных труб с помощью программы COMSOL методом конечных элементов и были получены сигналы от отложений с различными значениями протяжённости, толщины и химического состава. Был проведён модельный эксперимент по оценке влияния параметров отложений на сигнал дифференциального датчика. Полученные сигналы были сопоставлены с реальными сигналами, полученными на атомных электростанциях. К наиболее чувствительным параметрам сигнала были отнесены фаза и амплитуда абсолютного сигнала на 25 кГц, а также фаза дифференциального сигнала на той же частоте (рис. 1).

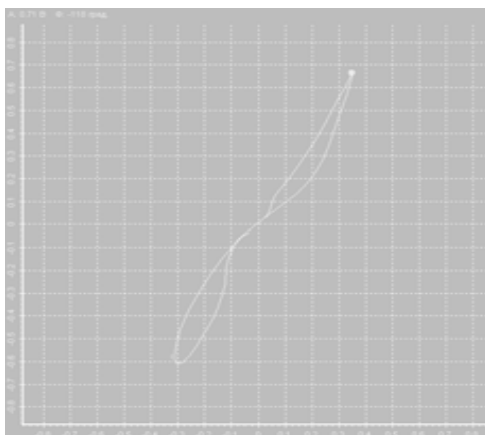


Рис. 1. Годограф сигнала от отложения на частоте 25 кГц

На основании исследований были сделаны следующие выводы.

Возможна оценка параметров отложений, содержащих не менее пятидесяти процентов магнитного оксида  $Fe_3O_4$ . В противном случае сигнал, получаемый от датчика, оказывается сильно искажённым и с малой величиной амплитуды. Параметры немагнитных отложений меди  $CuO$  и железа  $Fe_2O_3$  определить вихретоковым методом контроля представляется крайне сложным из-за слишком малого значения наводимого напряжения на датчике.

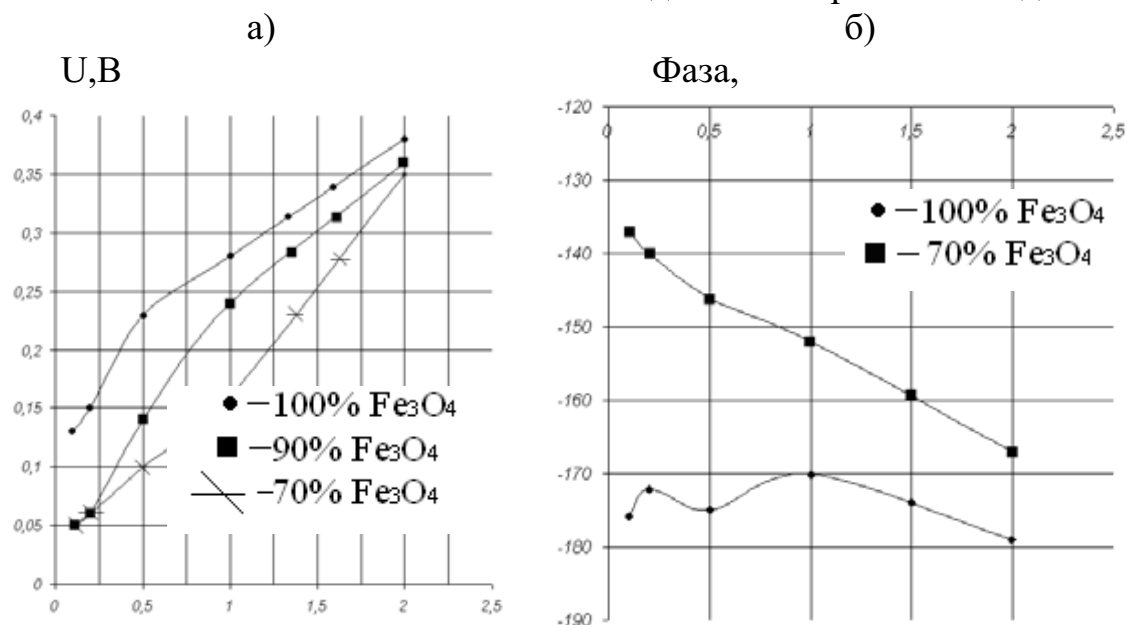


Рис. 2. Зависимость амплитуды (а) и фазы (б) отложения от его толщины при различном содержании  $Fe_3O_4$

При изменении содержания немагнитного оксида  $CuO$  в отложении происходит как изменение амплитуды сигнала (чем больше содержание  $CuO$ , тем меньше амплитуда), так и изменение наклона годографа к действительной оси (фазы сигнала). Стоит отметить, что влияние немагнитного оксида железа выглядит также. Контроль отложений малой толщины (0,1 мм и 0,2 мм) возможен лишь с большой погрешностью, особенно при содержании немагнитной составляющей свыше двадцати процентов, из-за сильной искажённости получаемого дифференциального или абсолютного сигнала. При этом фаза может принять и положительные значения, хотя в модельном эксперименте фаза сигнала от отложения на дифференциальном и абсолютном каналах является отрицательной при различных значениях протяжённости, толщины отложения, а также содержания оксида меди.

Амплитуда сигнала меняется как при изменении содержания немагнитной доли в отложении, так и при различии в толщине отложений на внешней поверхности теплообменных труб.

Определить объём и состав отложений можно, используя амплитудно-фазовый критерий оценки. Он заключается в сопоставлении фаз и амплитуд, полученных абсолютного и дифференциального сигналов на определённой

частоте, с имеющейся в базе данных информацией. За основу предлагается взять информацию, полученную на абсолютном и дифференциальном канале 25 кГц. Используя сочетание трёх параметров, а именно фазы сигнала на абсолютном и дифференциальном канале, а также амплитуды на абсолютном канале, можно получить данные о протяженности, толщине и составе отложения. Требуется создание базы данных, содержащей информацию о параметрах отложения и его состава, а также критерия нарушения процесса отвода тепла при наличии объёма отложений, превосходящего установленную норму.

Стоит также решить вопрос о разработке калибровочных трубок для каждой атомной электростанции. Это объясняется тем, что на каждой станции используют различные по содержанию добавки при проведении химических отмывок с целью предотвращения или замедления коррозии, что приводит к различному химическому составу отложения на конкретной станции.

Основными мешающими факторами при определении параметров отложений являются: наличие конструктивных элементов рядом с отложением, зашумлённость получаемого сигнала. При расположении отложения вблизи дистанционирующей решётки изменяются амплитуда и фаза сигнала. Изменения становятся тем больше, чем выше содержание  $\text{CuO}$  в отложении. Наличие гибов приводит к искажению траектории движения датчика, из-за этого отложение в районегиба определить невозможно.

В ближайшие годы актуальность контроля отложений на внешней поверхности теплообменных труб АЭС будет возрастать по причине запуска новых станций и увеличения доли атомной энергетики в России и мире. Ключевой задачей становится разработка соответствующего программного обеспечения для проведения автоматизированной обработки сигналов, для улучшения качества и увеличения скорости процедуры вихретокового контроля трубного пучка.

E-mail: [neron-neronov@mail.ru](mailto:neron-neronov@mail.ru)