

Член-корреспондент АН СССР М. А. СТЫРИКОВИЧ и Я. Г. ВИНОКУР

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ К ИССЛЕДОВАНИЮ УНОСА СОЛЕЙ С ПАРОМ

Увлекаемые с паром соли, отлагаясь на лопатках паровых турбин, снижают проходные сечения каналов и искажают их профиль, что приводит уже при отложении нескольких килограммов солей к заметному уменьшению коэффициента полезного действия и развиваемой турбиной мощности. Это обстоятельство требует всемерного ограничения содержания солей в паре. В настоящее время допустимое суммарное содержание солей в паре оценивается величиной 0,05—0,15 мг/кг. Эти отложения состоят из десятка различных солей, в разной степени отлагающихся в турбине. В связи с этим ясно, что для надежного исследования состава солей, содержащихся в паре, и зависимости его от различных факторов необходимо располагать методами измерения отдельных солей чувствительностью порядка тысячных миллиграмма на килограмм пара. Естественно, что обычные химико-аналитические методы для этой цели непригодны.

За последнее время значительный успех был достигнут путем применения предложенных Всесоюзным теплотехническим институтом^(1, 2) методов концентрирования солей в пробе за счет пропуска больших количеств конденсата (200—500 л) через ионитовые фильтры. Однако этот метод очень сложен, громоздок, дает возможность получать только средние пробы за длительный промежуток времени (8—20 час.) и пока мало применим для ряда важных составляющих (в частности, для анионов слабых кислот). Кроме того, чувствительность этого метода в ряде случаев оказывается недостаточной. Поэтому до настоящего времени в основном ограничивались данными о границах области резкого ухудшения качества пара; в зоне же нормальной работы современных котельных агрегатов даже основные зависимости, определяющие унос солей с паром, не установлены достаточно надежно.

Исключительная чувствительность метода радиоактивных изотопов побудила нас в последние годы провести работы по использованию этого метода для исследования качества пара. Опыты были начаты на небольшой барботажной колонке атмосферного давления с водяным объемом около 1 л, высотой парового пространства около 600 мм и расходом пара от 0,5 до 6 кг/час. Соль, содержащая тот или иной радиоактивный изотоп (использовались P^{32} , S^{35} , Ca^{45} , Na^{24}), вводилась в водяное пространство колонки. Весь пар конденсировался и определялась активность проб как конденсата пара, так и разбавленной дистиллятом воды из колонки. Соотношение этих величин давало коэффициент выноса данной соли. Определение активности проб проводилось двумя методами — высушивания и осаждения.

В первом случае 0,5—1,0 мл конденсата наносились по каплям на лист фильтровальной бумаги, вложенной между двумя слоями кальки. Затем лист высушивался и обертывался вокруг цилиндрической счетной трубки. В случае применения изотопов с малой энергией излучения

(S^{35} , Ca^{45}) проба накапливалась в чашечку из алюминиевой фольги, которая после высушивания пробы прижималась к торцу колоколообразного счетчика со слюдяным дном. При малой активности проб приходилось повторять накапливание и высушивание несколько раз, что позволяло увеличить пробу до 5 мл и более.

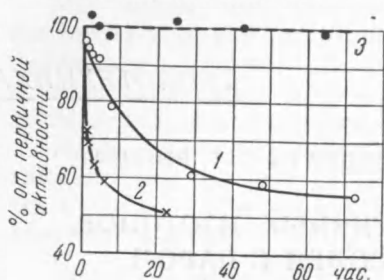


Рис. 1. Адсорбция $Na_2HP^{32}O_4$ стеклом посуды из раствора. 1 — первичная активность 254 отсч/мин; 2 — первичная активность 34 отсч/мин; 3 — то же с добавкой нерадиоактивной соли

При использовании метода осаждения в большую пробу (0,1—0,2 л) добавлялось значительное количество одноименной нерадиоактивной соли, и затем смесь солей осаждалась обычными методами. Осадок переносился на такую же чашечку из фольги, и активность определялась по колоколообразной трубке. Количество добавляемой соли бралось с таким расчетом, чтобы вес осадка не превышал 2 мг/см², хотя, ввиду ничтожного содержания активной соли и постоянства количества добавляемой неактивной, толщина слоя соли практически не менялась.

Опыты показали, что имеет место значительная сорбция активных препаратов на стенках посуды, ввиду чего в дальнейшем посуда предварительно промывалась раствором одноименной неактивной соли, и некоторое количество этого раствора оставлялось в посуде до отбора в нее пробы. Этим путем сорбция активного препарата была сведена к минимуму (рис. 1).

Как видно из рис. 2, оба метода дали близкие значения коэффициента выноса во всей практически важной области содержания солей в паре. При весьма низких содержаниях солей, менее 0,001 мг/кг, метод высушивания начинает давать заметно меньшие величины по сравнению с методом осаждения, причем с уменьшением содержания солей разница и разброс точек увеличиваются. Повидимому, в этой области точность метода высушивания уже недостаточна. Как видно из графика (рис. 2), метод осаждения позволяет достаточно уверенно фиксировать даже весьма малые содержания солей в паре — порядка 0,00001 мг/кг, т. е. дает чувствительность примерно на 2 порядка выше практически требуемой.

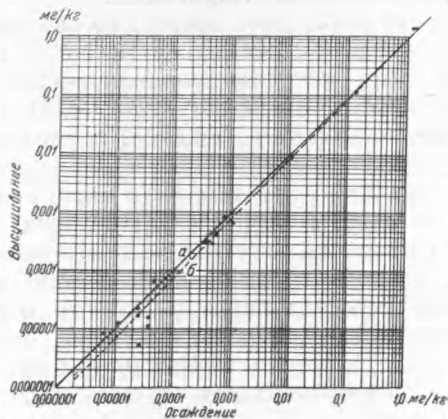


Рис. 2. Содержание солей в паре, определенное методом высушивания (а) и методом осаждения (б)

После разработки методики в Энергетическом институте АН СССР было проведено исследование зависимости уноса солей с паром атмосферного давления от ряда факторов.

На рис. 3 показано изменение коэффициента выноса в зависимости от содержания соли (Na_2SO_4) в котловой воде при весьма низких нагрузках зеркала испарения (100 кг/м² час.). Как видно из графика, коэффициент выноса меняется слабо, несмотря на весьма широкий диапазон изменения содержания Na_2SO_4 в воде (от 1 до 50 000 мг/кг).

Для сравнения интересно отметить, что ионитовый метод давал уже при содержании соли в котловой воде ниже 100—200 мг/кг практически постоянное значение содержания солей в паре (0,03—0,04 мг/кг). В связи с этим снижение содержания солей в котловой воде ниже ука-

занных величин рассматривалось как по меньшей мере бесполезное и практически не применялось.

Установление факта неуклонного и резкого улучшения качества пара, вплоть до ничтожных содержаний солей в котловой воде, позволило предложить мероприятия по снижению содержания солей в котловой воде на мощном котле одной из конденсационных электростанций. При осуществлении этого предложения было получено значительное улучшение качества пара (в 2—3 раза).

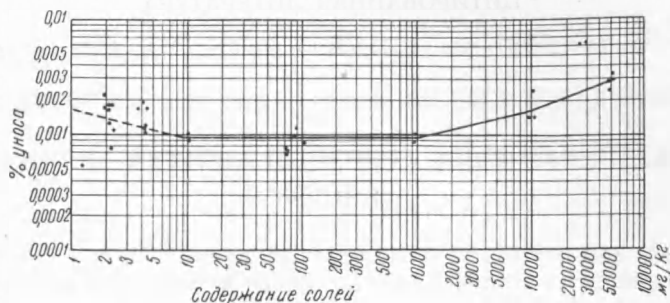


Рис. 3. Изменение коэффициента выноса в зависимости от содержания соли $\text{Na}_2\text{S}^{35}\text{O}_4$ в котловой воде

В дальнейшем методика ЭНИН'а была применена в лаборатории котельных установок Московского энергетического института имени В. М. Молотова, где она была использована на установках полупромышленного масштаба — колонке атмосферного давления водяной емкостью около 700 л и полупромышленном котле МЭИ сверхвысокого давления с емкостью до 1000 л и паропроизводительностью до 1—2 т/час. На этих установках Т. Х. Маргуловой были проведены многочисленные опыты по исследованию зависимости качества пара от давления (в интервале до 200 ата) и нагрузки. В области значительных содержаний солей в паре проводилась сверка результатов обычных химико-аналитических методов с данными, полученными методом радиоактивных изотопов. Результаты сверки оказались вполне удовлетворительными (см. рис. 4).

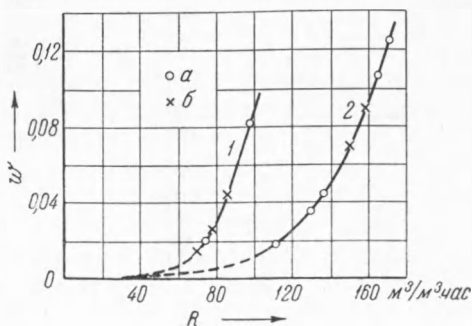


Рис. 4. Зависимость влажности пара от нагрузки зеркала испарения. 1 — $p = 185$ ата; 2 — $p = 155$ ата. *a* — опыты, проведенные с радиоактивным фосфором; *b* — опыты с определением фосфат-иона колориметрическим методом

На этих установках роль сорбции оказалась еще большей и добавка одноименной соли безусловно необходимой. Естественно, что в таких установках требуется значительно большее количество вводимого радиоактивного препарата. Однако опыты показали, что для исследования практически достаточно вводить около 100 м Си на 1 т котловой воды. Это позволяет надеяться на успешное применение данного метода и для исследования мощных котлов электростанций. Действительно, водная емкость таких котлов в рабочем состоянии обычно не превышает 30—50 т, что позволяет проводить серию исследований при расходе радиоактивного препарата порядка 3—5 Си. Для полупромышленных же и стендовых установок метод может считаться вполне апробированным и исключительно эффективным.

Важно отметить, что при помощи этого метода можно фиксировать не только средние данные за значительный промежуток времени, но и кратковременные изменения режима, что особенно важно при исследовании переходных процессов.

Энергетический институт
им. Г. М. Кржижановского
Академии наук СССР

Поступило
20 III 1953

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Ю. М. Кострикин, Изв. ВТИ, № 4 (1948). ² А. А. Кот, там же, № 10 (1948).