

Член-корреспондент АН СССР М. А. СТЫРИКОВИЧ и З. Л. МИРОПОЛЬСКИЙ
**О ВЛИЯНИИ УГЛА НАКЛОНА НА ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ
СТЕНКИ ПАРОГЕНЕРИРУЮЩЕЙ ТРУБЫ ПРИ ВЫСОКИХ
ДАВЛЕНИЯХ**

При исследовании влияния угла наклона на температурный режим парогенерирующей трубы диаметром 56/70 мм в опытах ВТИ⁽¹⁾ было установлено, что перегрев верхней образующей, вследствие расслоения паро-водяной смеси при малых скоростях циркуляции, наблюдался лишь в тех случаях, когда угол наклона трубы к горизонтали был меньше $9,5^\circ$. При больших наклонах расслоение отсутствовало при всех исследованных параметрах циркуляции. Тепловые нагрузки в этих опытах не превышали $75000 \text{ ккал/м}^2 \text{ час}$, давление менялось от 10 до 90 ата.

Так как в современных мощных паровых котлах тепловые нагрузки радиационных поверхностей нагрева зачастую значительно превышают указанную выше величину, а также в связи с тем, что внедрение в отечественную энергетику пара сверхвысоких параметров означает повышение давления в кипяtilьной системе котлов до 180—185 ата, возникает необходимость уточнить вопрос о предельном угле наклона при более высоких тепловых нагрузках и давлениях.

С этой целью на экспериментальном стенде ЭНИН были проведены опыты с трубой из хромо-молибденовой стали диаметром 56/70 мм, установленной под углом 10° к горизонтали. Исследуемая труба была включена в циркуляционную систему контура, описанного в работе⁽²⁾, и являлась продолжением горизонтальной трубы того же диаметра. Длина прямого участка наклонной трубы составляла 3300 мм. Обогрев производился на длине 620 мм электропечью с силитовыми стержнями, установленной на расстоянии 1640 мм от начала наклонного участка.

В среднем сечении обогреваемого участка близ верхней, боковой и нижней образующих в стенку трубы на глубину 1,0—1,5 мм зачеканены три платино-платинородиевые термомпары из проволоки диаметром 0,5 мм. Подводимая к электропечи мощность замерялась ваттметрами. Регулирование мощности производилось изменением схемы включения стержней (звезда или треугольник). Тепловая нагрузка трубы определялась по данным тарировки электропечи.

При проведении опытов измерялись следующие величины: скорость циркуляции W_0 , приведенная скорость пара W_0^* , тепловая нагрузка q и температуры стенки трубы в зоне обогрева. Опыты проводились при давлениях 36, 60, 112, 142 и 182 ата, скорость циркуляции менялась от 0,10 до 0,75 м/сек, приведенная скорость пара от 0 до 0,9 м/сек, тепловая нагрузка от 130 до 170 тыс. $\text{ккал/м}^2 \text{ час}$.

После проведения первой серии опытов электропечь была передвинута на 700 мм к выходному концу трубы, произведена перезакладка

термопар и проведена вторая серия опытов. Результаты обеих серий дали удовлетворительное совпадение.

При обработке опытных данных разность температур стенки трубы на верхней и нижней образующих Δt , замеренная при различных тепловых нагрузках, приводилась к расчетной, отвечающей средней тепловой нагрузке 150 000 ккал/м² час. Пересчет производился по формуле

$$\Delta t_{\text{расч}} = \Delta t_{\text{зам}} \frac{150\,000}{q_{\text{зам}}},$$

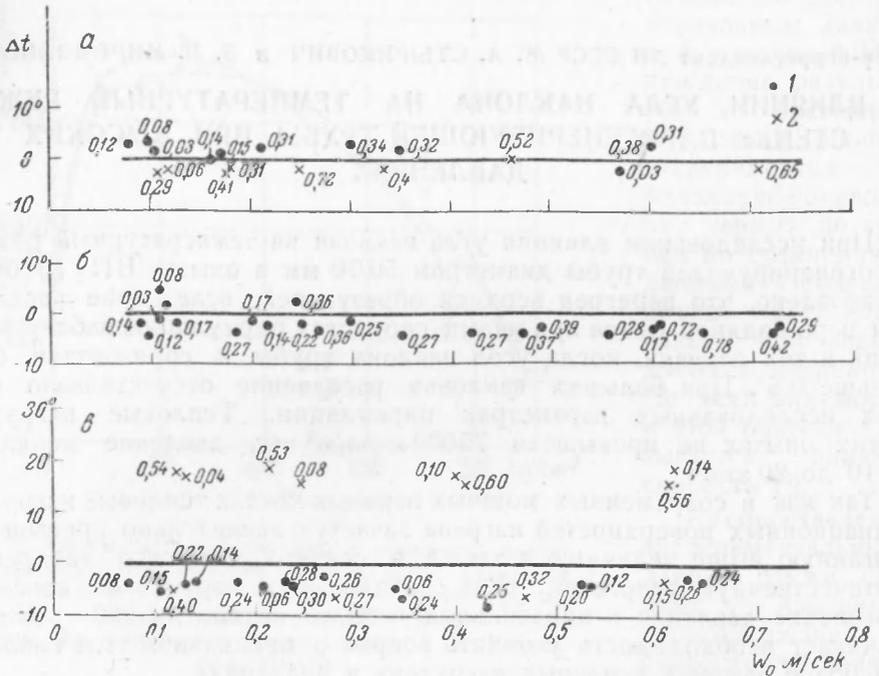


Рис. 1. Разность температур на верхней и нижней образующих наклонной трубы в зависимости от скорости циркуляции и приведенной скорости пара. $d = 56/70$ мм, угол наклона 10° , $q = 150\,000$ ккал/м² час. *а* — $p = 36$ ата, *б* — $p = 60$ ата, *в* — 112 ата. I — первая серия опытов, II — вторая

где $\Delta t_{\text{расч}}$ и $\Delta t_{\text{зам}}$ — расчетный и замеренный перегрев верхней образующей трубы, $q_{\text{зам}}$ — замеренная тепловая нагрузка.

На рис. 1 и 2 представлены результаты опытов при различных давлениях от 36 до 182 ата. По оси ординат отложены разности температур на верхней и нижней образующих, а по оси абсцисс — скорости циркуляции. Цифрами указаны приведенные скорости пара.

Из рассмотрения графиков следует, что при давлениях 36 и 60 ата при всех исследованных параметрах циркуляции не обнаружено признаков расслоения. При давлении 112 ата расслоение практически также отсутствует, хотя в некоторых опытах и отмечается небольшой перегрев верхней образующей до 20° .

При давлениях 142 и 182 ата четко обозначается наличие расслоения. При $p = 142$ ата перегрев верхней образующей увеличивался с ростом приведенной скорости пара и уменьшался с ростом скорости циркуляции. При $p = 182$ ата Δt вначале растет с увеличением W_0 , примерно, до 0,5 м/сек, а затем начинает убывать. С ростом скорости циркуляции Δt убывает медленнее, чем при $p = 142$ ата. Следует от-

метить, что и в опытах с горизонтальными трубами также отмечалось уменьшение влияния скорости циркуляции на Δt с ростом давления.

Так как при исследовании температурного режима горизонтальной трубы того же диаметра (2) было установлено, что при малых приведенных скоростях жидкости и пара и тепловых нагрузках порядка

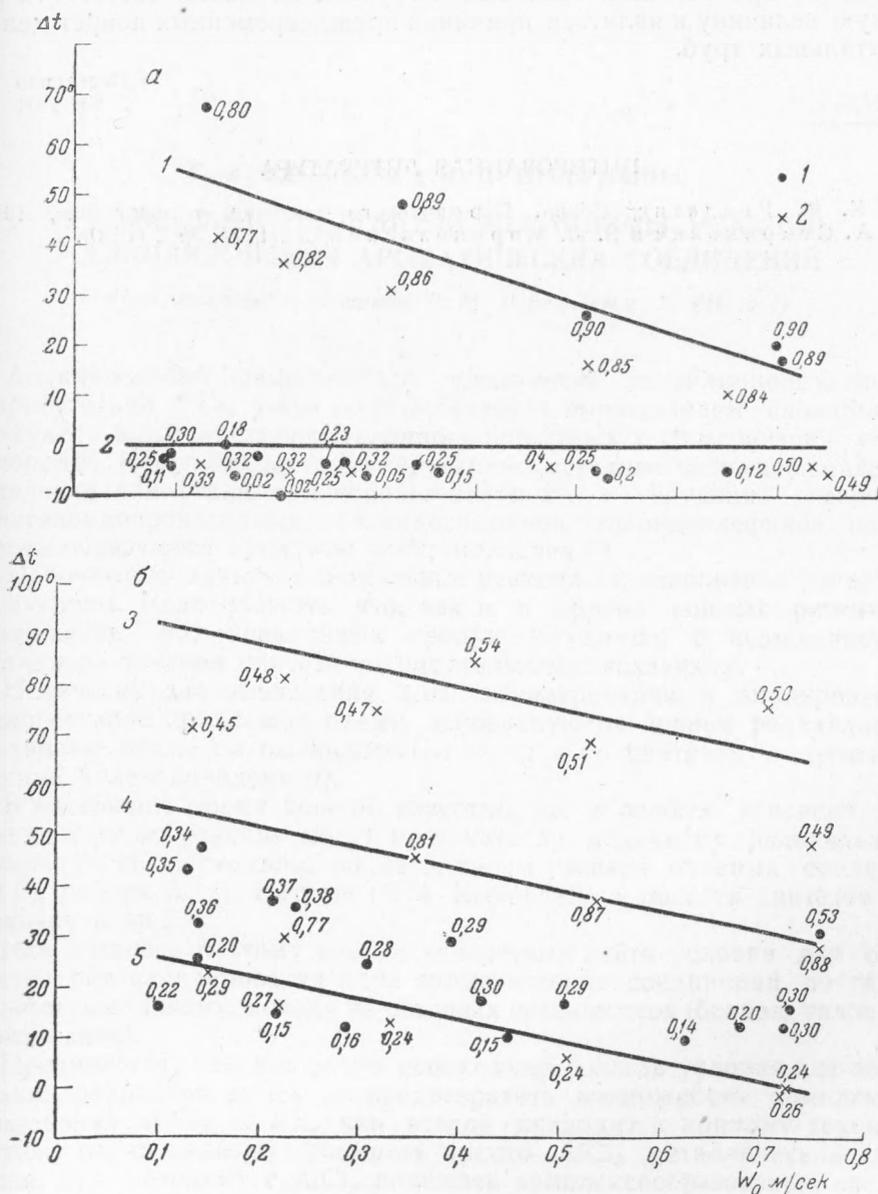


Рис. 2. То же, что рис. 1. а — $p = 142$ ата, б — $p = 182$ ата. 1 — $W_0'' = 0,8 - 0,9$ м/сек, 2 — $W_0'' = 0 - 0,5$ м/сек, 3 — $W_0'' = 0,5$ м/сек, 4 — $W_0'' = 0,8 - 0,9$ м/сек, 5 — $W_0'' = 0,2 - 0,3$ м/сек

100 000 ккал/м² час Δt достигает 100–150°, то данные настоящей серии опытов указывают, что при изменении угла наклона трубы к горизонтали от 0 до 10° происходит значительное изменение структуры двухфазного потока, и при давлениях до 112 ата по всей внутренней по-

верхности трубы появляется пленка жидкости, достаточная для надежного отвода тепла при интенсивном обогреве.

При более высоких давлениях угол наклона в 10° уже не является достаточным для ликвидации расслоения, так как хотя перегрев верхней образующей в этом случае меньше, чем для горизонтальной трубы, но все же при больших тепловых нагрузках он может составлять заметную величину и являться причиной преждевременных повреждений кипяtilьных труб.

Поступило
7 VII 1951

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ К. Ф. Роддатис, Сборн. Пар высокого давления в энергетике, 1950.
- ² М. А. Стырикович и З. Л. Миропольский, ДАН, 71, № 2 (1950).