

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ СТЕНКИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И НАКЛОННЫХ ТРУБ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ПЛОТНОСТИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ Н-ГЕПТАНА И СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ

Мамедов Ш.Г.¹, Широнова А.Я.², Абдуллаева Г.К.³

¹Мамедов Шикар Гаджи оглы – доцент, кандидат технических наук;

²Широнова Айнуур Яшар кызы - кандидат технических наук, заведующая лабораторией, кафедра электротехники и энергетики, Сумгаитский государственный университет, г. Сумгаит;

³Абдуллаева Гульшан Камал кызы - кандидат технических наук, доцент, кафедра теплотехники,

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика

Аннотация: известно, что на практике процессы теплообмена протекают в трубах при различных их положениях. В связи с этим представляет интерес исследование закономерностей теплообмена при течении жидкости в горизонтальных и наклонных трубах. На основании экспериментальных исследований теплоотдачи н-гептана при различных положениях трубы и турбулентном режиме течения уже доказано существование улучшенного теплообмена в области $p > p_{кр}$ и $t_c \geq t_m$ [1,3, с.45,38]. Для того, чтобы выявить влияние направления течения жидкости и положения трубы необходимо сопоставить данные, полученные при одинаковых условиях.

Ключевые слова: теплообмен, тепловой поток, плотность, псевдокритическая температура, теплоотдача.

На основе анализа опытных данных при подъемном и опускном движениях н-гептана в вертикальной трубе установили, что характер изменения графика зависимости $t_c = f(q)$ сложный и независимо от направления течения жидкости наблюдается первый и второй улучшенные режимы теплоотдачи соответственно в условиях $t_c \approx t_m$ и $t_c \gg t_m$.

Рассмотрим характер изменения температуры стенки в зависимости от плотности теплового потока при течении н-гептана в горизонтальной трубе.

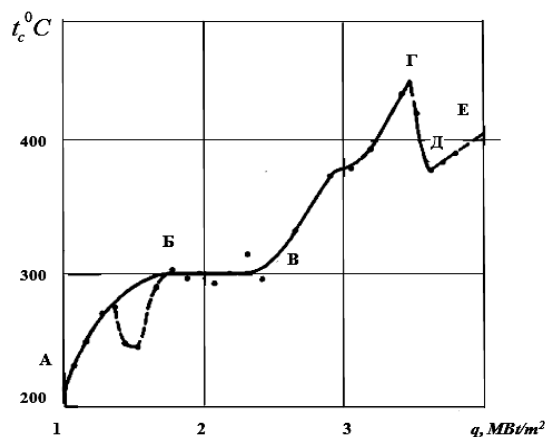


Рис. 1. Зависимость $t_c = f(q)$ для н-гептана при $P=3,5$ МПа, $\rho\omega = 2100 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$, $t_{жс}^{6x} = 12^0 \text{ C}$

На рис.1. представлена указанная зависимость для турбулентного течения н-гептана в горизонтальной трубе при $P = 3.5 \text{ МПа}$, $t_{жс}^{6x} = 12^0 \text{ C}$ и $\rho\omega = 2100 \text{ кг/м}^2 \text{ с}$. Она построена по показаниям термопар, расположенных на расстоянии $\frac{x}{d} \approx 60$ от входа в трубу [2, с.68]. Из рисунка следует, что характер изменения температуры стенки от плотности теплового потока сложный, как и при вертикальном положении трубы в области $t_c \approx t_m$ и $t_c \gg t_m$ наблюдается резкая интенсификация теплообмена.

Графика зависимости $t_c = f(q)$ при $P = 3.5$ и 5.0 МПа, построенные по показаниям термопар, расположенных на расстоянии $\frac{x}{d} = 60$ от входа в трубу, показывают что общий характер изменения кривых одинаков и сложен (рис.2).

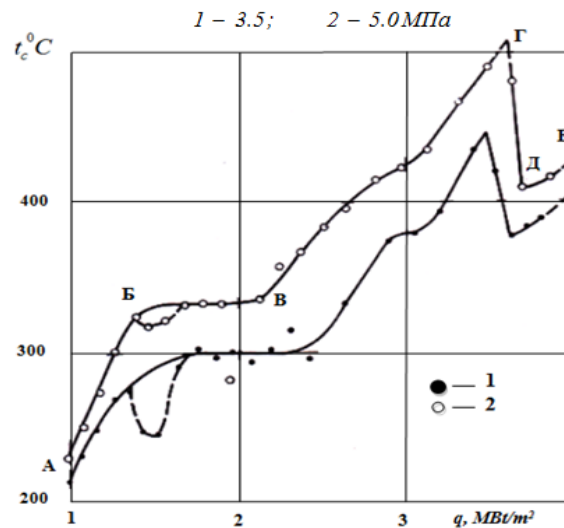


Рис. 2. Зависимость $t_c = f(q)$ при движении *n*-гептана в горизонтальной трубе

Влияние давления жидкости на теплообмен, и следовательно расслоение экспериментальных кривых и начальный момент наступления улучшенного режима теплоотдачи наблюдается при достижении температурой внутренней поверхности стенки псевдокритической температуры исследуемой жидкости. На участке БВ графика с увеличением плотности теплового потока от ~ 1.30 до 2.30 МВт/м² температура стенки практически остается постоянной и равной псевдокритической температуре. С переходом t_c через t_m исследуемой жидкости увеличение плотности теплового потока приводит к повышению температуры стенки, в результате чего образуется участок ВГ. При высоких температурах стенки ($t_c > 430^\circ\text{C}$) незначительное увеличение плотности теплового потока приводит к падению температуры стенки от значения соответствующего точке Г, до значения в точке Д, а затем постепенному росту её.

Момент падения температуры стенки при различных давлениях соответствует значению плотности теплового потока $q = 3.50$ МВт/м². Отметим, что интервал расстояния кривых по оси ординат на участке БВГ графиков зависимости $t_c = f(q)$ при различных давлениях в горизонтальных трубах может определяться как разность псевдокритических температур, т.е.

$$\Delta t = (t_m)_{БВГ}^{5,0\text{МПа}} - (t_m)_{БВГ}^{3,5\text{МПа}} \quad (1)$$

На рис.3 представлены графики зависимости $t_c = f(q)$ в опытах с *n*-гептаном, построенные по показаниям двух термопар, расположенных соответственно на расстояниях $\frac{x}{d} = 29.0$ и 78.5 от входа в трубу [2, с.71].

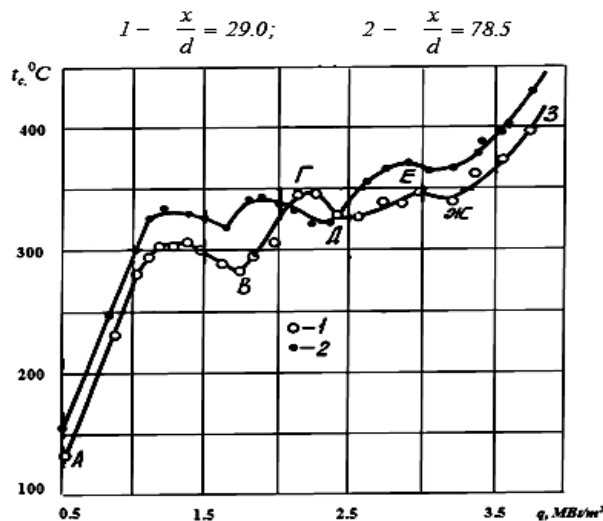


Рис. 3. Зависимость $t_c = f(q)$ для горизонтального положения трубы при $P=4,0$ МПа,

$$\rho\omega = 1730 \text{ кг/м}^2\text{с}, t_{ж}^{ex} = 18^\circ\text{C}$$

Из рисунка видно, что на участке АБ с увеличением плотности теплового потока температура стенки возрастает приблизительно по прямолинейному закону. На участке БВ этой зависимости с увеличением плотности теплового потока наблюдается некоторое снижение температуры стенки. Например, при $q \approx 1.20$ МВт/м² значение температуры стенки составляет 306°C , а при $q \approx 1.75$ МВт/м² точка В – 282°C , т.е. $t_c^B - t_c^B = 24^\circ\text{C}$ (кривая 1). Затем, после точки В с увеличением q , значение t_c вновь возрастает, подчиняясь прямолинейному закону (участок ВГ), аналогично участку АБ. Далее, после точки Г с увеличением плотности теплового потока t_c несколько снижается (участок ГД) и процесс теплоотдачи вновь интенсифицируется. По мере дальнейшего увеличения плотности теплового потока все отмеченные выше режимы повторяются и образуется участок ДЕЖЗ указанной зависимости. Из этого рисунка еще следует, что общий характер изменения графика зависимости $t_c = f(q)$ для

термопар, расположенных на расстояниях $\frac{x}{d} = 29$ и $78,5$ от входа в трубу, идентичен.

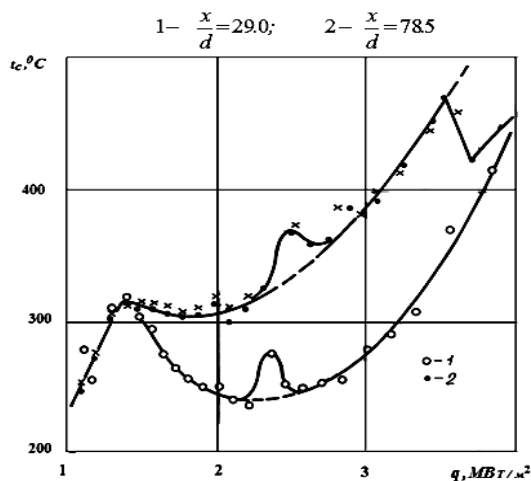


Рис. 4. Зависимость $t_c = f(q)$ при движении *n*-гептана в горизонтальной трубе ($P=5,0$ МПа)

На рис.4. приведены результаты исследований теплоотдачи при движении *n*-гептана в горизонтальной трубе при $P=5,0$ МПа [1, с.73]. Эти графики тоже построены по показаниям термопар,

расположенных на расстояниях $\frac{x}{d} = 29.0$ и $78,5$ от входа в трубу. Сравнение результатов

исследований, представленных на рис.3 и рис.4, показывает, что графики зависимости $t_c = f(q)$ при различных давлениях в области $t_c \geq t_m$ отличаются между собой. При горизонтальном положении опытной трубы в области улучшенного теплообмена также обнаружено снижение температуры стенки относительно псевдокритической температуры до температуры меньшей критической температуры исследуемой жидкости, аналогично вертикальному положению трубы. В области улучшенного теплообмена разница между максимальным и минимальным значениями температуры стенки составляет приблизительно 80°C (кривая 1.)

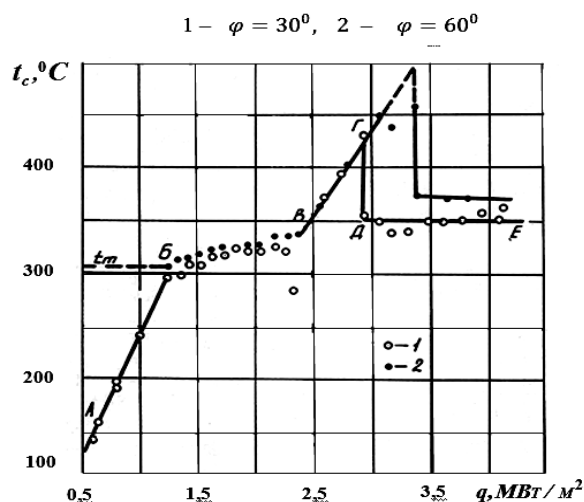


Рис. 5. Зависимость $t_c = f(q)$ для н-гептана при $P=4,5$ МПа и наклонном положении трубы

Графика зависимости $t_c = f(q)$, представленные на рис.5.

А и Б построены на основании опытных данных, полученных в наклонных трубах, угол наклона которых к горизонтальному положению трубы соответственно составлял 30° и 60° . Графики строились по показанию термопары, находящейся на расстоянии $\frac{x}{d} \approx 60$ от входа в трубу. Результаты исследований показали, что характер изменения графика зависимости $t_c = f(q)$ не зависит от положения трубы.

Резюме

Анализ результатов исследований теплоотдачи при движении н-гептана в наклонных трубах показал, что общий характер изменения графика зависимости $t_c = f(q)$ не зависит от положения трубы, в рассматриваемых случаях также наблюдается первый и второй улучшенные режимы теплоотдачи, которые сопровождаются пульсациями давления жидкости и температуры охлаждаемой поверхности, подобно вертикальному и горизонтальному положениям трубы.

Список литературы

1. Практические рекомендации по расчёту теплоотдачи турбулентных потоков при сверхкритических давлениях. // Энергетика, Известие Вузов СССР, №10, 1990 г.
2. Влияние направления движения и положения трубы на теплоотдачу н-гептана при турбулентном течении и сверхкритических давлениях. // дисс. на соиск. уч.степ.к.т.н. Баку 1989, 137с.
3. Рекомендации для оценки интенсивности теплоотдачи при опускном движении жидкости. // Проблемы энергетики. № 4, 2007. 152 с.
4. Конвертный теплообмен при вынужденном и при свободном движении предельных и ароматических углеводородов при сверхкритических давлениях. // Тезисы докладов международного форума по тепло и массообмену. Минск, 1988.