

УДК 66.021:536.24

Ю.В. Путилин, О.Б. Пушкарева
(Ju.V. Putilin, O.B. Pushkareva)
УГЛТУ, Екатеринбург
(USFEU, Ekaterinburg)

**ОПЫТНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ
ЛОКАЛЬНОЙ ТЕПЛООТДАЧИ ПРИ ТЕЧЕНИИ ПЛЕНКИ
ЖИДКОСТИ ПО ГОРИЗОНТАЛЬНЫМ ТРУБАМ**
(PILOT PLANT AND RESEARCH TECHNIQUE OF LOCAL HEAT
TRANSFER IN LIQUID FILM FLOW ON THE HORIZONTAL TUBES)

Представлены результаты разработки методики исследования локальной теплоотдачи, обеспечивающей получение более достоверных, чем в известных работах, данных.

The development results of the research technique of local heat transfer providing more valid data than in the previous publications are presented.

До настоящего времени отсутствует в достаточной мере экспериментально подтвержденная физическая модель процесса теплообмена при гравитационном течении пленки жидкости по горизонтальным трубам. Вызвано это тем, что подавляющее большинство исследований основывается на определении среднеинтегральных по поверхности трубы коэффициентов теплоотдачи, знания которых недостаточно для выявления механизма теплообмена. Немногочисленные же работы по изучению локальной по периметру трубы теплоотдачи выполнены с существенными методическими погрешностями, значительно снижающими достоверность полученных результатов, которые носят исключительно качественный характер.

Так, температуру теплопередающей стенки T_{cm} измеряли термомпарами. Для струйно-пленочного режима стекания жидкости в реальном процессе измерение T_{cm} с помощью термопар вносит погрешность в точность информации о средней температуре для данной образующей стенки трубы, так как определяется температура в локальной точке, а не осредненная по длине образующей. Имеются погрешности и в определении локальной плотности теплового потока.

Цель настоящей работы – создание методики, позволяющей получить более достоверные и пригодные для количественного анализа данные по локальным коэффициентам теплоотдачи α_φ (как для горизонтальных гладких, так и продольно-профилированных труб).

Исследования проводились на установке, схема которой представлена на рис. 1. Основной элемент установки – опытный аппарат 1, представляющий собой модель горизонтально-трубного пленочного испарителя с одним вертикальным рядом труб. Рабочая длина труб – 200 мм, наружный

диаметр – 38 мм. Первая по высоте труба является оросителем. Опытный теплообменный элемент 5 устанавливается предпоследним в вертикальном ряду.

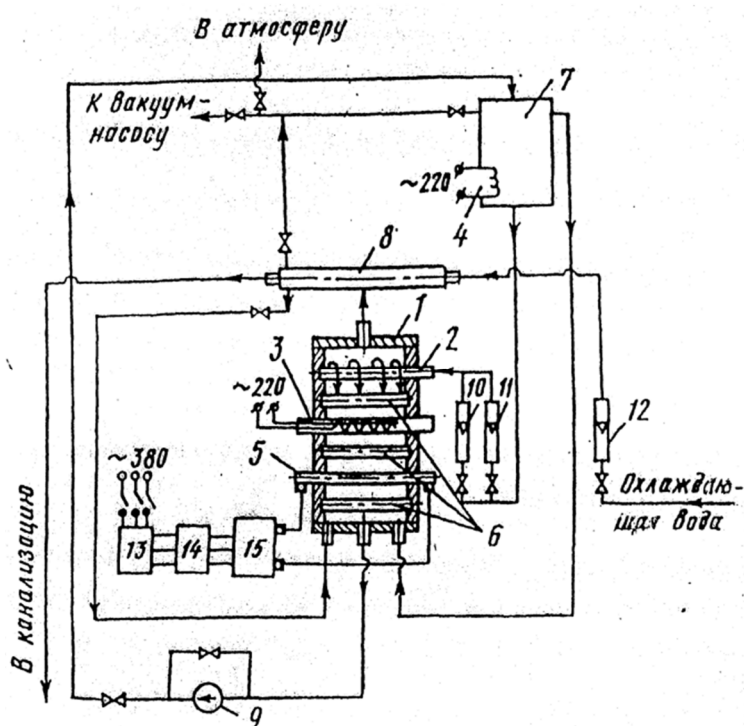


Рис. 1. Схема

экспериментальной установки:

- 1 – опытный аппарат;
- 2 – ороситель;
- 3, 4 – электрические нагреватели;
- 5 – опытный теплообменный элемент;
- 6 – необогреваемые трубы;
- 7 – напорный бак;
- 8 – конденсатор;
- 9 – циркуляционный насос;
- 10–12 – ротаметры;
- 13 – понижающий трансформатор;
- 14 – регулятор напряжения;
- 15 – выпрямитель

Между оросителем и опытным элементом устанавливаются две гладкостенные необогреваемые трубы 6, служащие для стабилизации потока жидкости, и электрический нагреватель 3, предназначенный для подогрева жидкости до температуры насыщения в аппарате 1. Опыты проводились в режиме испарения пленки, что обеспечивало постоянство температуры жидкости по периметру трубы. Обогрев теплообменной поверхности опытного элемента, выполненной из константовой фольги толщиной 0,1 мм, осуществлялся пропусканием через нее постоянного электрического тока. Конструкция опытного элемента (труба 5, рис. 1) показана на рис. 2.

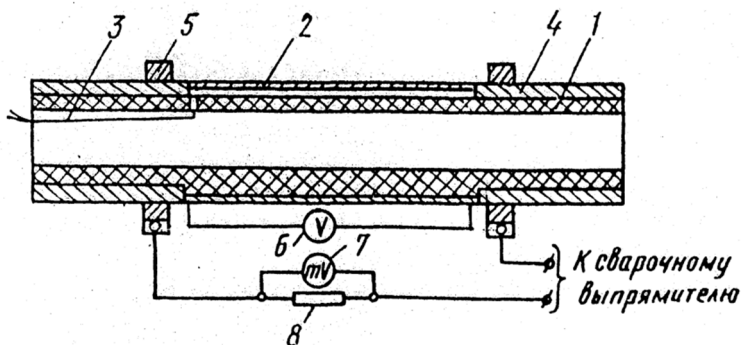


Рис. 2. Опытный элемент:

- 1 – текстолитовый каркас;
- 2 – металлическая константовая фольга;
- 3 – термометры сопротивления;
- 4 – токоподводящие втулки;
- 5 – токоподводящие кольца;
- 6 – ампервольтметр Ф-30;
- 7 – вольтметр В7-21;
- 8 – шунт

На половине периметра центральной части трубчатого текстолитового каркаса 1 (длиной 200 мм) закреплялась металлическая фольга. На концевые части каркаса 1 насажены и подпаяны к фольге 2 токоподводящие втулки 4. Подвод питания к ним производился через латунные кольца 5.

Для измерения температуры поверхности теплоотдачи использовались специальные плоские ленточные микротермометры сопротивления шириной около 0,2 мм, изготовленные из медного провода типа ПЭТВ-Р диаметром 0,025 мм и приклеенные к внутренней поверхности фольги. К концам микротермометров припаивались соединительные провода, которые через отверстия в каркасе выводились внутрь опытного элемента и далее подключались к измерительному прибору. В качестве последнего использовался цифровой омметр Ц-34, класс точности – 0,05. Точность определения температуры теплообменной поверхности была $\pm 0,1$ К.

Микротермометры располагались строго по образующим трубного элемента. В гладкостенный опытный элемент укладывались семь микротермометров через 30° друг от друга. В профилированных опытных элементах закладывалось по десять микротермометров, распределенных по пять штук в две группы, каждая из которых обеспечивала измерение температуры двух соседних элементов профиля (выступа или канавки). 0 – перед элементом, на самом элементе и между элементами.

Вращая опытную трубу вокруг оси, можно было определять локальные значения по образующей значения коэффициента теплоотдачи в различных (по угловой координате φ) точках поверхности теплообмена.

Описанная конструкция опытных теплообменных элементов позволяет получить постоянный тепловой поток на поверхности опытного элемента, который определялся по формуле:

$$q = \frac{I\Delta U}{F},$$

где I – сила тока, А;

ΔU – падение напряжения на поверхности теплоотдачи опытного элемента, В;

F – площадь поверхности теплоотдачи, м^2 .

Падение напряжения измерялось цифровым ампервольтметром Ф-30, а сила тока – с помощью цифрового вольтметра В7-21 по падению напряжения на шунте, установленном в цепи нагрева опытного элемента (рис. 2). Постоянство подводимого теплового потока обеспечивалось поддержанием постоянного напряжения на токоподводах опытного элемента. В условиях постоянного теплового потока q локальный коэффициент теплоотдачи рассчитывался по выражению

$$\alpha_\varphi = \frac{q}{T_{cm} - T_n},$$

где T_{cm} – локальная температура теплоотдающей поверхности, определяемая по показаниям микротермометров сопротивления с учетом поправки на падение температуры в стенке;

T_n – температура насыщения жидкости (температура вторичного пара).