

УДК 621.311.22

**ПЕРЕНОС ТЕПЛА НА ВЕРХНИХ И НИЖНИХ ОБРАЗУЮЩИХ
ПОВЕРХНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ТРУБЫ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ
УСТАНОВОК ПРИ СВЕРХКРИТИЧЕСКИХ ДАВЛЕНИЯХ ВОДЫ****РАГИМОВ Ф.А.***Азербайджанская Государственная Нефтяная Академия*

Реферат В работе проанализированы результаты экспериментальных исследований теплоотдачи воды при нормальном режиме теплообмена. Указывается, что при условиях сильных изменений теплофизических свойств жидкости температура стенки распределяется неравномерно по периметру и длине горизонтальной трубы. Отмечается, что при сверхкритических давлениях сильные изменения теплофизических свойств жидкости меняют структуру потока, которая оказывает влияние на интенсивность теплообмена.

1. Введение

Опыты проектирования и эксплуатации энергоблоков на сверхкритических параметрах показали, что с целью повышения экономичности и эффективности работы назревает необходимость перехода на более высокие параметры пароводяных циклов. При этих параметрах КПД увеличивается и снижается удельный расход топлива на выработку электроэнергии. При решении этой проблемы первым долгом обращают внимание на надежность оборудования. В парогенераторах надежность в основном зависит от температурного режима парогенерирующих элементов котла. Выбор системы экранирования в прямоточных котлах сверхкритического давления определяется надежностью парогенерирующих труб. Надежность труб радиационных поверхностей нагрева парогенератора определяется интенсивностью теплообмена, т.е. охлаждением внутренней поверхности трубы. От условия охлаждения трубы зависит температурный режим стенки металла. Поэтому изучается температурный режим стенки вертикально и горизонтально расположенных труб парогенератора. Исследование температурного режима металла в энергетических установках при сверхкритических давлениях воды в горизонтально расположенной трубе связаны с потребностью современной техники и ее перспективными направлениями развития. Теплоотдача при горизонтальном положении трубы и при докритических параметрах жидкости и при несильных изменениях теплофизических свойств теплоносителя достаточно изучена, а в тоже время, при сверхкритических давлениях (СКД) жидкости таких данных мало. Жидкости при СКД и, особенно, при околокритическом состоянии характеризуется сильными изменениями теплофизических свойств как по длине, так и по периметру поперечного сечения трубы.

Характер распределения температуры стенки по периметру трубы зависит от режимных параметров, от рода жидкости и от ее теплофизических параметров. Иначе говоря, она зависит от режимов движения жидкости и ее структуры. Как известно, при СКД жидкости и при различных структурах потока имеет место нормальный, улучшенный и ухудшенный режимы теплоотдачи с различными характерами изменений температуры стенки. В настоящее время в конкретных расчетах используются номограммы [3] для расчета температуры металла стенки или коэффициента теплоотдачи при горизонтальном расположении трубы.

Анализ имеющихся экспериментальных данных по теплоотдаче показывает, что температурный режим горизонтальной парогенерирующей трубы при СКД жидкости исследован недостаточно. Поэтому назрела необходимость исследовать температурный режим стенки при СКД воды в горизонтальной расположенной трубе.

2. Экспериментальное исследование

Опыты проводились на экспериментальной установке, представляющей собой циркуляционный контур. Одним из основных элементов является экспериментальный участок, который представляет собой горизонтальную трубу из нержавеющей стали. Длина и диаметр трубы выбираются по условию опытов. Равномерный обогрев осуществлялся электрическим током низкого напряжения. На разных сечениях длины трубы температура стенки измерялась на нижних, верхних и боковых образующих. Описание экспериментальной установки, методика проведения опытов и измерения отдельных величин приведены в [1].

3. Характер течения жидкости

В горизонтально расположенной трубе при постоянных значениях теплофизических свойств теплоносителя под действием перепада давления (массовых сил, действующих на каждую частицу жидкости) жидкость движется в направлении вдоль оси. При определенных условиях изменение теплофизических свойств жидкости влияют на силы осуществляющие движение жидкости. Эти силы могут влиять на характер течения, т.е. структуру потока, и в итоге изменяют гидравлическое сопротивление потока, а так же процессы теплообмена.

Характер влияния массовых сил на поток зависит от природы силового поля и условий его возникновения. Поэтому совместное рассмотрение в силовом поле гидродинамики потока и теплообмена в нем облегчает нахождение их общих закономерностей. Все это сказанное требует экспериментального подтверждения.

4. Результаты экспериментальных исследований

При малых тепловых потоках теплофизические свойства жидкости изменяются незначительно и коэффициент теплоотдачи по периметру трубы имеет одинаковые значения. Соответственно этому, температура стенки распределяется равномерно по сечению трубы (кривая 1, рис.1).

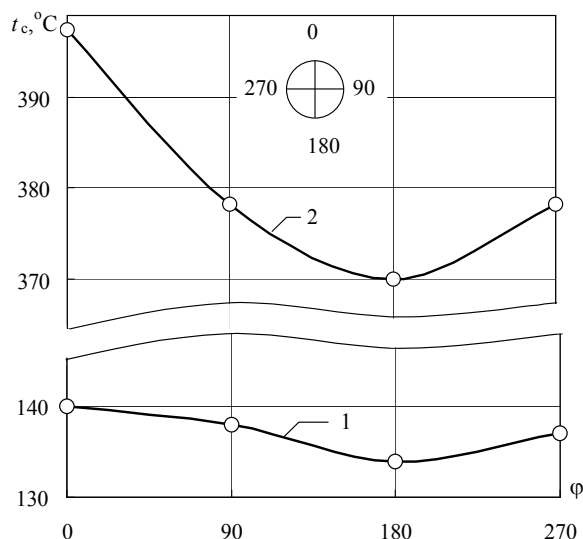


Рис.1. Изменение температуры стенки и коэффициента теплоотдачи по периметру прямой трубы при $P = 24$ МПа, $\rho u = 917$ кг/м²с, q , Вт/м²: 1 – $5 \cdot 10^5$; 2 – $18 \cdot 10^5$.

В случае же нагревания жидкости при СКД, плотность ее у стенки меньше, чем в ядре потока. А из-за неоднородности плотности в потоке (температурное расширение) возникают избыточные массовые силы. Избыточные массовые силы могут

возмущать поток, вызывая в нем циркуляционные течения, или стабилизировать его, подавляя возмущения, которые возникают под влиянием сил давления. Избыточные массовые силы являются причиной возникновения ряда характерных особенностей, благодаря которым изменяются условия взаимодействия потока с поверхностью твёрдого тела. При протекании жидкости сопровождаемой теплообменом, изменение температуры, от которой зависит плотность жидкости, также отразится на распределении массовых сил, а следовательно, и на интенсивности вторичных течений.

В результате изменяется структура потока и интенсивность теплообмена. Кроме этого, при сильном изменении плотности жидкости возникает свободная конвекция, направленная перпендикулярно к оси трубы.

Здесь следует учесть влияние направления теплового потока по периметру горизонтальной трубы. На нижней образующей поверхности тепло от стенки к жидкости передается снизу вверх, а на верхней образующей – сверху вниз. Такие направления теплового потока влияют на интенсивность развития свободной конвекции.

Взаимодействие свободной и вынужденной конвекции приводит к сложному течению жидкости вдоль оси трубы, и, как следствие этого, изменяется интенсивность теплообмена по периметру и длине трубы. Описанный выше характер течения доказывается экспериментальными исследованиями по температурному режиму или теплоотдачи. Так, из графика, представленного на рис. 1, видно, что с повышением теплового потока увеличивается разность температур между верхними и нижними образующими горизонтальной трубы (кривая 2). Разница между температурой верхней и нижней образующих так же хорошо иллюстрируется на графике зависимости $t_c=f(x/d)$, который представлен на рис.2.

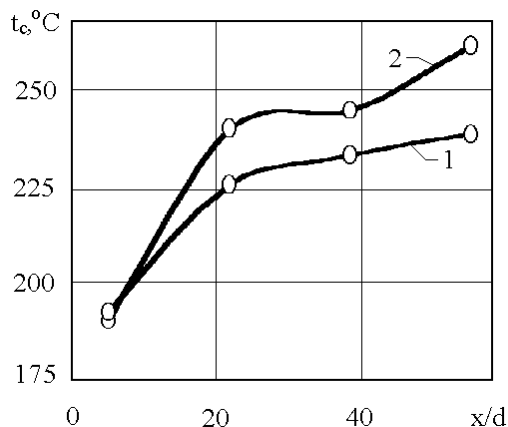


Рис. 2. Изменение температуры стенки по длине трубы при СКД воды $P=26$ Мпа, $\rho_l = 941,5$ кг/(м²·сек); $t_{ж}^{вх} = 76$ °С ; $q = 7,5 \cdot 10^5$ Вт/м².

1 – нижняя образующая, 2 – верхняя образующая.

Из этого графика следует, что в начальной части трубы разница между температурами верхней и нижней образующих незначительна, а при $x/d > 20$, а также с увеличением теплового потока, эта разница температур возрастает.

Графики изменения коэффициента теплоотдачи (α) по длине трубы показывают, что при нормальном режиме на начальном участке ($x/d < 20$) коэффициенты α для верхней и нижней образующих имеют почти одинаковые значения (рис.3). После участка стабилизации, т.е. при $x/d > 20$, коэффициент теплоотдачи на нижней образующей увеличивается. В конечном итоге получается, что значение α на нижней образующей трубы больше, чем на верхней. С дальнейшим увеличением плотности теплового потока при постоянной массовой скорости разность значений температур стенок или коэффициентов теплоотдачи между верхними и нижними образующими горизонтальной трубы увеличивается.

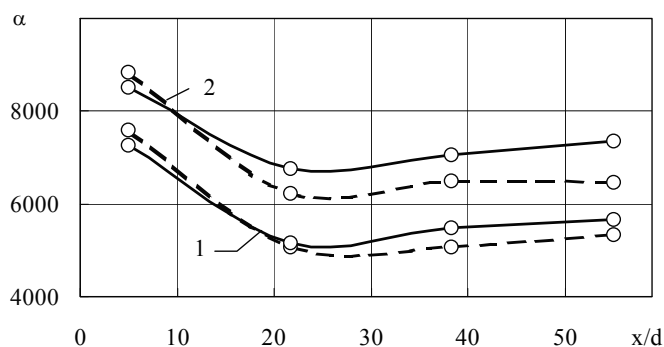


Рис.3. Изменение коэффициента теплоотдачи по длине для верхних (пунктирная) и нижних (сплошная) образующих трубы при $P = 26$ МПа, $\rho u = 830$ кг/(м²·сек):
 $1 - q = 10.5 \cdot 10^5$ Вт/м², $2 - q = 14.5 \cdot 10^5$ Вт/м².

Выявлено, что температура стенки распределяется неравномерно по периметру и длине горизонтальной трубы. При низких тепловых нагрузках (q) разность температур между верхней и нижней образующими выше средней части трубы составляет 20-30°C, а в начальном участке трубы она мала (5-10°C), а с увеличением q разница температур возрастает. Основной причиной этого является изменение избыточных массовых сил, что отражается на распределении массовых сил, а следовательно, и на интенсивности вторичных течений. В результате изменяется структура потока и интенсивность теплообмена.

Выше были анализированы результаты экспериментальных исследований теплоотдачи воды при нормальном режиме теплообмена.

При проектировании и эксплуатации парогенераторов СКД наибольший интерес представляют ухудшенные режимы теплоотдачи, при которых наблюдаются резкие скачки температуры металла теплоотдающих стенок. Опыты показывают, что при СКД и определенных условиях, в зависимости от значения теплового потока, энтальпии жидкости и массовой скорости теплоносителя, возникает ухудшенный режим теплоотдачи. В горизонтально расположенных трубах при ухудшенном режиме теплоотдачи температура стенки на верхней образующей значительно больше, чем на нижней. А так же, если сравнивать температуры стенок горизонтально и вертикально расположенных труб при ухудшенном режиме, то можно отметить, что максимальное значение температуры бывает на верхней образующей (рис.4). Ухудшенный режим теплоотдачи при горизонтальном расположении трубы подробно рассмотрен в [2].

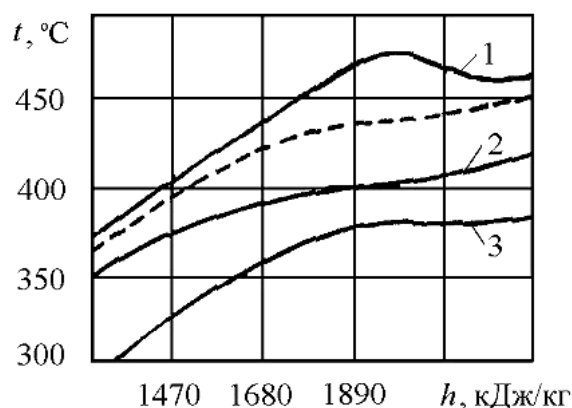


Рис.4. Графики температурного режима вертикальной и горизонтальной труб при $P=24.5$ МПа; $\rho u=1450-1500$ кг/(м²с); $q=9.3 \cdot 10^8$ Вт/м²
 $1 -$ верхняя образующая; $2 -$ нижняя образующая; $3 -$ температура потока
 сплошная линия – вертикальная труба, пунктирная линия – горизонтальная труба.

Список условных обозначений

t – температура, °С; P – давление, МПа; q – плотность теплового потока, Вт/м²; u – скорость, м/с; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·°С); ρ – плотность жидкости, кг/м³; ρu – массовая скорость, кг/(м²·с); x – расстояние от входа в трубу, мм; d – диаметр трубы, мм; h – энтальпия, кДж/кг.

Индексы:

с – стенка, ж – жидкость, вх – вход.

1. *Келбалиев Р.Ф., Рагимов Ф.А.* Теплоотдача в горизонтальной трубе при турбулентном режиме движения и сверхкритических давлениях воды // Известия Высших Технических учебных заведений Азербайджана, 2004, №2, с. 50-54.
2. *Келбалиев Р.Ф., Рагимов Ф.А.* Ухудшенный режим теплоотдачи в горизонтальной трубе при сверхкритических давлениях воды // Известия Высших Технических учебных заведений Азербайджана, 2004, № 5, с. 45-50.
3. *Локицин В. А., Петерсон Д. Ф., Шварц А. Л.* Гидравлический расчет котельных агрегатов (нормативный метод), М.: Энергия, 1978, 255 с.

SUYUN KRİTİK DƏN YÜKSƏK TƏZYİQLƏRİNDƏ ENERQETİK QURĞULARIN ÜFİQİ BORULARININ AŞAĞI VƏ YUXARI SƏTHLƏRİNDƏN İSTİLİYİN VERİLMƏSİ

RƏHİMOV F.A.

İşdə istilik mübadiləsinin normal rejimində suyun istilik verməsinin təcrübi tədqiqatlarının nəticələri analiz olunubdur. İsbat olunub ki, mayenin istilik fiziki xassələrinin şiddətli dəyişilməsi halında üfiqi borunun perimetri və uzunluğu boyunca divar temperaturu qeyri bərabər paylanır. Göstərilib ki, kritikdən yüksək təzyiqlərdə mayenin istilik fiziki xassələrinin şiddətli dəyişilməsi axının strukturunu dəyişir, bu da istilik vermənin intensivliyinə təsir edir.

TRANSFER OF HEAT ON THE TOP AND BOTTOM FORMING SURFACE OF HORIZONTAL PIPE OF POWER OF THE EQUIPMENTS AT SUPERCRITICAL PRESSURE OF WATER.

RAHIMOV F.A.

The results of experimental researches heat transfer of water at a normal mode of heat exchange are analyzed in work. There is underlined, that the temperature of a wall is distributed non-uniformly on perimeter and length of a horizontal pipe under conditions of strong changes of the heat physical properties of a liquid. There is marked, that the strong changes of the heat physical properties of a liquid are changed structure of a flow at supercritical pressure, which renders influence on intensity of heat exchange.