

УДК 536.246

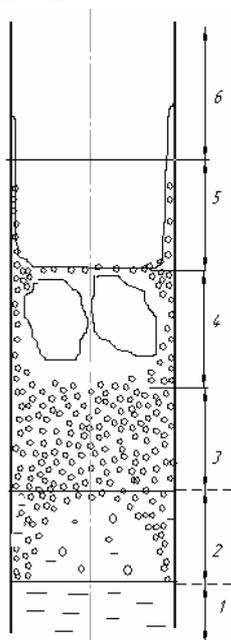
О.А. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук; доц. НТУ «ХПИ», г. Харьков
О.М. БАРЫШНИКОВА, студентка НТУ «ХПИ», г. Харьков

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ И ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ИСПАРЕНИЯ КОТЕЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Представлено аналіз режимів течії пароводяної суміші в циркуляційних контурах котла та їх вплив на коефіцієнти тепловіддачі усередині труб. Приведені результати гідралічного розрахунку та розрахунку теплообміну в контурі фронтного екрана полутопки котла КУП-70. Показано, що в системі випаровування котла присутній пазирковий режим кипіння, що забезпечує надійне охолодження стінок труб.

The analys of flow regimes in a steam-water mixture of boiler circulation circuits and their impact on heat transfer coefficients inside the tubes is presented. The results of hydraulic calculation and the calculation of heat transfer in the front screen circuit of boilers KUP-70 fire-box is presented. It Shown that in the evaporation system of the boiler is boiling, which provides a reliable cooling wall pipes.

Для надежной работы котельной установки необходимы непрерывный отвод теплоты от поверхности нагрева и поддержание температуры металла в допустимых пределах при всех возможных режимах работы котла. Температура стенки трубок котла зависит от удельной тепловой нагрузки и от коэффициента теплоотдачи от стенки к рабочему телу. Повышение тепловой нагрузки приводит к уменьшению поверхности нагрева и поэтому всегда целесообразно. Таким образом, для поддержания приемлемой температуры стенки необходимо стремиться к увеличению коэффициента теплоотдачи, который зависит от скорости рабочего тела и от режима течения пароводяной смеси.



1 – однофазная жидкость, 2 – поверхностное кипение,
 3 – эмульсионный режим, 4 – пробковый режим,
 5 – стержневой режим, 6 – влажный пар

Рис. 1. Структура потока пароводяной смеси в вертикальной трубе

В испарительных поверхностях нагрева при естественной циркуляции влияние скорости движения смеси зависит от давления в трубках. Под режимом течения пароводяной смеси подразумевается распределение фазовых концентраций в подъемных трубках. Для котлов с естественной циркуляцией массовое паросодержание на выходе составляет не более 20 % и температура стенок на 15–20 °С выше, чем температура рабочего тела [1].

При движении кипящей жидкости в вертикальной трубе происходит непрерывное увеличение паровой и уменьшение жидкой фаз (рис. 1). Соответственно изменяется и гидродинамическая структура потока [2]. Наблюдается три основные области с разной структурой потока жидкости при движении среды снизу вверх: область подогрева

(экономайзерный участок), область кипения (испарительный участок), область подсыхания влажного пара. Испарительный участок включает в себя области с поверхностным кипением и объемным кипением насыщенной жидкости. Поверхностное кипение характеризуется пузырьковым кипением. Участок с объемным кипением включает в себя области эмульсионного, пробкового и стержневого режимов кипения, которые характеризуются ростом и слиянием паровых пузырей. При пузырьковом кипении на стенках трубок находится слой жидкости, что обеспечивает их охлаждение. При объемном кипении с ростом тепловых потоков по стенкам трубы движется паровой слой, что приводит к их перегреву. Поэтому для надежной работы котла в испарительных трубах должен поддерживаться пузырьковый режим кипения, который позволяет получить температуры стенок труб близкие к температуре насыщения среды.

При развитом пузырьковом кипении в условиях направленного движения жидкости коэффициент теплоотдачи можно рассчитать, используя критериальные уравнения [3]:

$$\frac{Nu_{\text{кип}}}{Nu_{\text{бк}}} = 6150 \left[\frac{q}{r\rho''w} \left(\frac{\rho''}{\rho'} \right)^{1,45} \left(\frac{r}{c_p T_H} \right)^{1/3} \right]^{0,7}, \quad (1)$$

где $Nu_{\text{кип}} = \frac{\alpha_{\text{кип}} d}{\lambda}$, $Nu_{\text{бк}} = \frac{\alpha_{\text{бк}} d}{\lambda}$ – соответственно числа Нуссельта при кипении и без кипения среды. В условиях турбулентного течения число Нуссельта без кипения рассчитывается по зависимостям для конвективного теплообмена при турбулентном течении жидкости [2, 3].

Комплекс

$$K_w (\rho''/\rho')^{1,45} K_s^{1/3} \leq 0,4 \cdot 10^{-5}, \quad (2)$$

где $K_w = \frac{q}{r\rho''w}$, $K_s = \frac{r}{c_p T_H}$ оценивает влияние процесса парообразования или турбулентного течения жидкости на механизм теплоотдачи. При сохранении условия (2) преобладает режим турбулентного течения жидкости. При обратном знаке неравенства интенсивность теплообмена практически полностью определяется процессом парообразования и коэффициент теплоотдачи может быть рассчитан по зависимости (1).

Перед исследованием теплообмена необходимо выполнить гидравлический расчет циркуляционных контуров котла, позволяющий оценить надежность его работы. Исследования проводились для циркуляционного контура фронтных экранов полутопки соленого отсека котла-утилизатора КУП-70-4,0-440. Рассматривался диапазон нагрузок от 110 % до 70 % при работе котла в комбинированном режиме и 30 % нагрузке – аварийно-автономный режим. Температура насыщения в барабане котла составляет 255 °С. В результате гидравлического расчета получены истинные скорости циркуляции и все соответствующие им параметры: скорости смеси, расходы воды и паропроизводительность, потери давления в подъемных и опускных трубах, полезные и движущие напоры, напоры застоя и опрокидывания циркуляции. Результаты расчета показали, что с увеличением нагрузки паропроизводительность растет и ее максимальное значение составляет 0,49 кг/с при расходе воды 31 кг/с (рис. 2). Сравнительно малая паропроизводительность контура соответствует паропроизводительности соленого отсека, которая составляет порядка 10–20 % всей паропроизводительности [1].



Рис. 2. Соотношение расходов пара и воды в контуре

Полученные соотношения расходов воды и пара говорят о том, что в подъемных трубах на всем диапазоне изменения нагрузки основной составляющей двухфазной среды является вода, в которой движутся пузырьки пара.

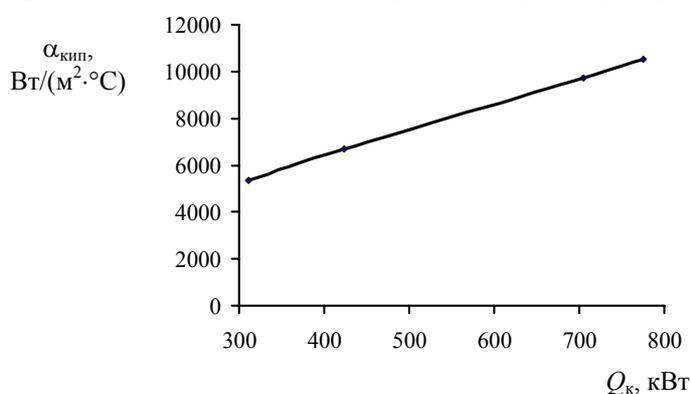


Рис. 3. Изменение коэффициентов теплоотдачи при кипении внутри труб от нагрузки

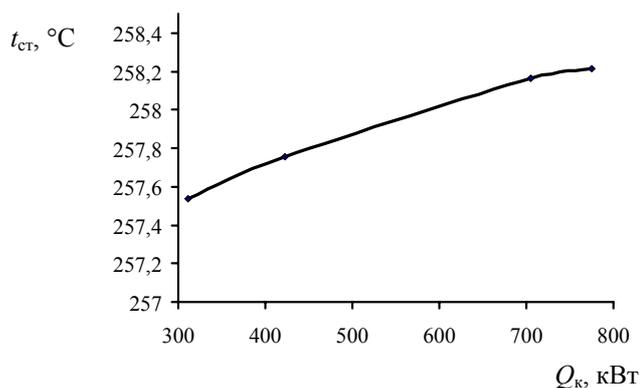


Рис. 4. Изменение температуры внутренней стенки трубок от нагрузки

Результаты расчета теплообмена по зависимостям (1) и (2) представлены на рис. 3, 4.

Из графиков видно, что изменение коэффициентов теплоотдачи при варьировании нагрузки находится в диапазоне от 10517 до 5350 Вт/(м²·°С), а температуры внутренней стенки трубок находятся вблизи температуры насыщения.

Таким образом, можно сделать вывод, что полученные высокие коэффициенты теплоотдачи характеризуют наличие пузырькового режима кипения внутри труб на всех режимах работы котельной установки, что обеспечивает надежное охлаждение трубок испарительных поверхностей котла.

Список литературы: 1. Парогенераторы промышленных предприятий / Л.Н. Сидельковский. – М.: Энергия, 1978. – 336 с. 2. Исаченко В.П. Теплопередача, изд. 2-е / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1969. – 440 с. 3. Кутепов А.М. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании / А.М. Кутепов.– М.: Высшая школа, 1986. – 296 с.