

Экспериментальное исследование теплоотдачи от поверхности теплообменного элемента при охлаждении в электростатическом поле

В.В.КИРЕЕВ

Ангарская государственная техническая академия

Theoretical and experimental investigations have shown that the intensity of heat transfer in the apparatuses of evaporative cooling can be increased by applying electrostatic field between the refrigerating medium and heat transfer surface. The experiment was set and carried out as applied to operational conditions of the air-evaporating cooler, where the finned plates serve to organize the flow of film of the running water, and the tubes have the role of heat releasing elements. The results have shown that air velocity within the value 3,5 – 3,7 m/s in the apparatus can be recommended. Optimum electric field strength, where the highest intensification of the heat exchange process is achieved should be within 18 – 20 kV/m. Increase of this value will lead to significant increase of power consumption without noticeable intensification of heat transfer on the surface of the heat releasing component.

Применение систем закрытого водооборота с воздушно-испарительными охладителями является перспективным для широкой области промышленного использования.

Однако в летний период температура воды в оборотном цикле значительно возрастает, что снижает интенсивность теплообмена и увеличивает расход воды. Повышение эффективности цикла возможно путем применения электростатического поля (ЭСП).

Эксперимент проводился применительно к условиям работы воздушно-испарительного охладителя, в котором пластины оребрения служат для организации течения пленки стекающей воды, а трубы играют роль тепловыделяющих элементов.

Тепловыделяющий элемент (ТЭ) с металлическими ребрами, выполненный в виде прямоугольного канала размером 100 × 80 × 500 мм, имитировал элемент испарительного охладителя. Камера была выполнена из металла и изолирована пенопластом.

Расчетно-теоретический анализ показал, что интенсивность теплоотдачи от поверхности тепловыделяющего элемента к охлаждающей среде зависит от температуры, вида охлаждающей среды, ее дисперсности и режима движения относительно поверхности тепловыделяющего элемента [1, 2, 3].

Напряженность электростатического поля (В/м) условно можно определить по уравнению

$$E = u/L, \quad (1)$$

где u – напряжение;

L – расстояние между форсункой и тепловыделяющим элементом.

Экспериментальные исследования проводились при $E = 5 \dots 20$ кВ/м.

По разности температур поверхности элемента $T_n(\tau)$

и охлаждающей среды $T_c(\tau)$ и соответствующему им значению удельного теплового потока $q(\tau)$ находили значение коэффициента теплоотдачи от тепловыделяющего элемента к охлаждающей среде в момент времени τ :

$$\alpha(\tau) = q(\tau) / [T_n(\tau) - T_c(\tau)], \quad (2)$$

где $\alpha(\tau)$ – коэффициент теплоотдачи.

Зависимость коэффициента теплоотдачи от напряженности электростатического поля при испарительном охлаждении представлена на рис. 1, из которого видно, что коэффициент находится в прямой зависимости от напряженности электростатического поля и для данной экспериментальной установки и охлаждающей среды достигает максимального значения при $E = 20$ кВ/м. Это объясняется тем, что при данной напряженности электростатического поля внутри камеры происходит наиболее равномерное распределение тонкого слоя воды по всей поверхности тепловыделяющего элемента, что оказывает определяющее влияние на эффективность теплообмена.

Напряженность электростатического поля, при которой достигается наибольшая интенсификация процесса теплообмена, должна быть в пределах 18...20 кВ/м.

Повышение этого значения приводит к значительному увеличению энергозатрат, не приводя к заметной интенсификации теплообмена на поверхности тепловыделяющего элемента.

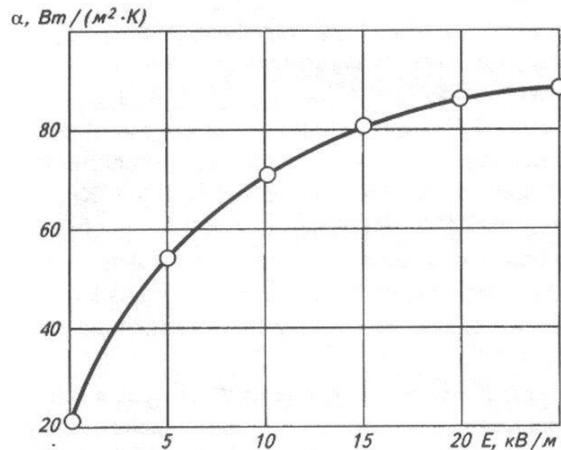


Рис. 1. Зависимость изменения коэффициента теплоотдачи от напряженности электростатического поля

На рис. 2 приведена зависимость коэффициента α от скорости воздуха v в аппарате. Увеличение скорости воздуха выше 2,8...3,2 м/с не приводит к дальнейшему заметному увеличению коэффициента теплоотдачи. Таким образом, с точки зрения интенсивности теплообмена на поверхности охлаждаемого тепловыделяющего элемента можно рекомендовать скорость воздуха в аппарате в пределах 2,5...2,7 м/с.

Использование табличных данных и их интерполяции не всегда удобны. Во многих случаях возникает необходимость в построении аппроксимаций, отображающих с необходимой точностью табличные данные [4, 5].

При охлаждении в условиях вынужденной конвекции аппроксимировались данные по зависимости

$$Nu = K Re^n. \quad (3)$$

В этом уравнении отсутствуют критерии, учитывающие изменения таких факторов, как начальный размер капель, напряженность электростатического поля и ряд

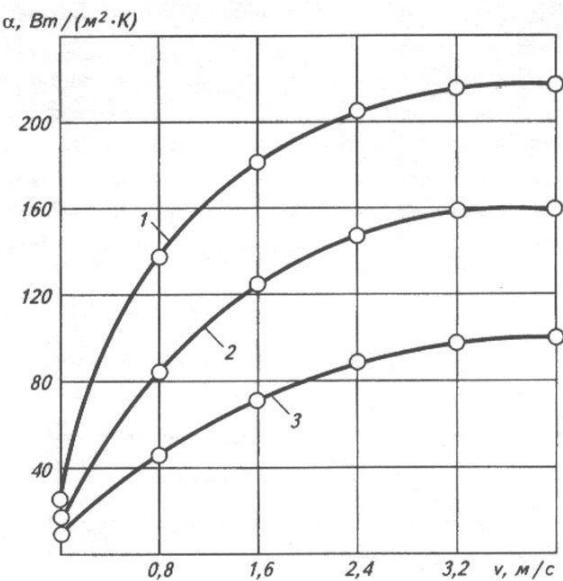


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от поверхности тепловыделяющего элемента к охлаждающей среде в зависимости от скорости воздуха в аппарате:

1 – испарительное охлаждение в ЭСП; 2 – испарительное охлаждение; 3 – воздушное охлаждение

Значение коэффициентов K и n в зависимости от метода теплообмена и числа Рейнольдса

Метод теплообмена	Re	K	n
Воздушное охлаждение	10 < Re < 230	0,04	0,449
	230 < Re < 425	0,06	0,422
Испарительное охлаждение	10 < Re < 230	0,236	0,523
	230 < Re < 425	0,124	0,608
Испарительное охлаждение в ЭСП	10 < Re < 230	0,313	0,606
	230 < Re < 425	0,369	0,690

других. Это объясняется тем, что в условиях проведения экспериментов невозможно было провести полный анализ их влияния на эффективность теплоотдачи. Поэтому аппроксимирующая зависимость справедлива при $R_o = 10^{-5} \dots 10^{-4}$ м; $E = 5 \dots 20$ кВ/м; $v = 0 \dots 2,8$ м/с.

Значения коэффициентов K и n в уравнении (3) в зависимости от метода теплообмена приведены в таблице.

Расчеты проводились на персональном компьютере.

На рис. 3 приведены графические изображения аппроксимирующего уравнения (3), показывающие, что наибольшей эффективностью обладает метод теплообмена в ЭСП (линия 1 на рис. 3).

На рис. 4 представлены экспериментальная и теоретическая зависимости относительного коэффициента теплоотдачи $\alpha_{\text{ЭСП}}$ при испарительном охлаждении в ЭСП (относительно $\alpha_{\text{и.о.}}$ испарительного охлаждения) от скорости воздуха. Кривая 1 аппроксимирует экспериментальные данные изменения относительного коэффициента теплоотдачи при напряженности поля 20 кВ/м. Очевидно, что при отсутствии электростатического поля ($E = 0$) соответствующая линия пройдет по горизонтальной оси графика, то есть при $\alpha_{\text{ЭСП}}/\alpha_{\text{и.о.}} = 1$. Нало-

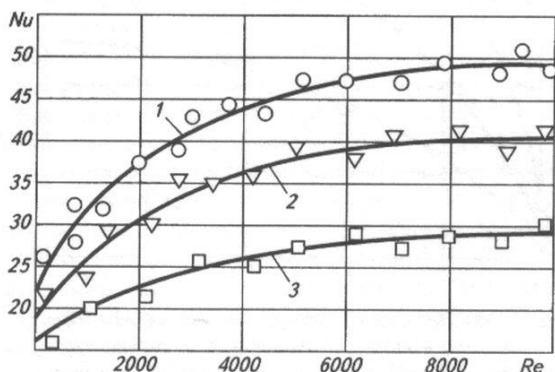


Рис. 3. Аппроксимация экспериментальных данных:
1 – испарительное охлаждение в ЭСП; 2 – испарительное охлаждение; 3 – воздушное охлаждение

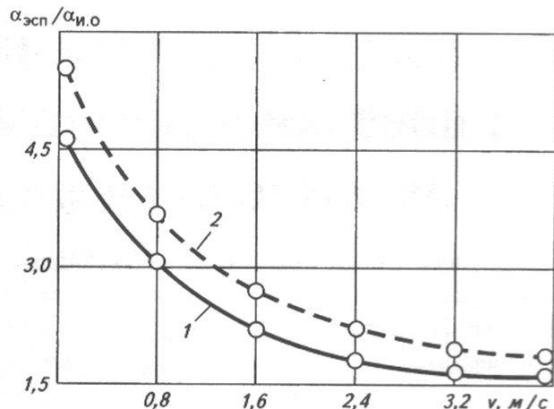


Рис. 4. Зависимость относительного коэффициента теплоотдачи от скорости воздуха при охлаждении в ЭСП:

1 – расчетно-экспериментальная кривая;
2 – теоретическая кривая

жение электростатического поля способствует повышению эффективности теплоотдачи на 50 – 80 %.

С ростом скорости орошающей струи, то есть с увеличением числа Рейнольдса, эффективность ЭСП-метода несколько снижается, оставаясь при этом заметно выше эффективности испарительного теплообмена. Преимущество особенно заметно в области малых скоростей движения охлаждающего потока.

Коэффициенты $\alpha_{\text{ЭСП}}$ и $\alpha_{\text{и.о.}}$ сближаются по абсолютным значениям при скорости воздуха $v = 2,8 \dots 3$ м/с. По видимому, при данной скорости начинается процесс сдувания пленки жидкости атакующими струями воздуха. Сходимость экспериментальных и теоретических данных удовлетворительна в пределах изменения скорости охлаждающей среды 0 … 3,2 м/с.

Список литературы

- Гогонин И.И., Дорохов А.Р., Пирогова О.Ю. Теплообмен на струях в пространстве между трубами горизонтального пучка конденсатора // Тепломассообмен – ММФ-96. – Минск, 1996. Т. 4. Ч. 2.
- Денисов Э.П. Сравнительная оценка средств интенсификации теплоотдачи при конденсации пара в трубных пучках // Технология. 2002. № 5.
- Дубровский Е.В., Васильев В.Я. Метод относительного сравнения теплогидравлической эффективности интенсификации процесса теплообмена в каналах теплообменных поверхностей // Технология. 2002. № 6.
- Киреев В.В. Моделирование теплообмена в воздушно-испарительном охладителе при воздействии электростатического поля // Вестник МАХ. 2003. № 4.
- Юдин В.Ф. Теплообмен поперечно-оребренных труб. – Л.: Машиностроение, 1982.