

М.К. Болога, И.В. Кожевников, О.И. Мардарский

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА ПРОЦЕСС ОХЛАЖДЕНИЯ ПЛОСКОЙ СТЕНКИ

*Институт прикладной физики АНМ,*

*ул. Академией, 5, г. Кишинев, МД-2028, Республика Молдова, [mbologa@phys.asm.md](mailto:mbologa@phys.asm.md)*

**Введение.** Одно из самых эффективных и перспективных способов интенсификации теплообмена – использование электроконвективных явлений [1]. Под воздействием внешнего электрического поля в диэлектрической жидкости образуются свободные объемные заряды, которые, двигаясь, увлекают нейтральную среду, интенсивно ее перемешивая. При этом электрогидродинамические течения возникают при определенной напряженности поля, и по мере ее увеличения наблюдается переход из ламинарного в турбулизированный режим течения. Скорости течений, в зависимости от электрофизических свойств рабочего вещества, могут достигнуть до 1 м/с. Как правило, электроконвекция в целях интенсификации процесса используется для перемешивания теплоносителя, вследствие которого уменьшается толщина теплового пограничного слоя и увеличивается коэффициент теплоотдачи стенки к жидкости.

В данной работе электрическое поле применяется для создания направленного перпендикулярно теплоотдающей поверхности потока теплоносителя при одновременной его турбулизации.

### **Экспериментальная установка и методика исследований**

Экспериментальная установка (рис. 1) включает рабочую камеру, схему питания нагревателя, схему измерения температур теплоотдающей поверхности и теплоносителя, цепь высокого напряжения и термостат для стабилизации температуры рабочего вещества.

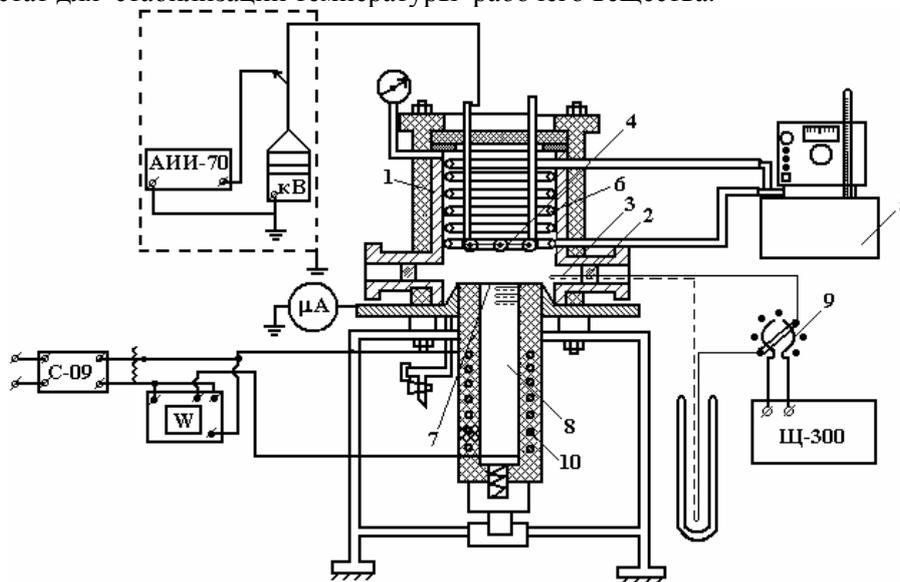


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

Рабочая камера 1 представляет собой вертикальный цилиндр  $\varnothing 150$  мм, высотой 110 мм, изготовленный из нержавеющей стали, снабженный тремя окнами. Два окна предназначались для наблюдения и регистрации электроконвекции, а окно 2 – для ввода металлической гильзы, в которой размещалась медь – константовая термопара 3, фиксирующая температуру рабочей среды. В верхней съемной крышке камеры из органического стекла устанавливался высоковольтный электрод 4.

Температура жидкого теплоносителя поддерживалась постоянной с помощью термостата 5, подключенного к холодильнику 6.

Высоковольтный электрод 4 выполнен в виде решетки из изолированных проводов с перфорациями со стороны противозэлектрода 7.

Теплоотдающая поверхность 7, торец латунного стержня 8  $\varnothing 40$  мм с диафрагмой  $\varnothing 80$  мм и толщиной 0,1 мм были цельными. Такое конструктивное решение выполнено для сведения к минимуму растечек тепла по диафрагме.

На определенных расстояниях от теплоотдающей поверхности по оси стержня располагались спаи дифференциальных термопар. Холодные спаи термопар погружались в трансформаторное масло и помещались в сосуд Дьюара с тающим льдом. Через двухполюсный переключатель 9 термопары подключались к комбинированному прибору Ц-300. В нижней части латунного стержня устанавливался омический нагреватель 10, который был подсоединен к источнику стабилизированного напряжения. Подаваемая электрическая мощность измерялась ваттметром W.

В качестве источника высокого напряжения использовался однополупериодный выпрямитель АИИ – 70. В цепь высокого напряжения подключался киловольтметр С-196 для измерения разности потенциалов между теплоотдающей поверхностью и высоковольтным электродом.

Проведение эксперимента начиналось с промывки рабочей камеры и с последующей ее заливки очищенным трансформаторным маслом. Стабилизированным источником напряжения устанавливалось необходимое значение мощности на нагревателе, а с помощью термостата – температура рабочей среды. Подавалась определенная разность потенциалов на электроды.

Система выдерживалась под напряжением до наступления стационарного состояния, характеризующегося неизменной во времени электродвижущей силой термопар. После регистрации показаний термопар, за счет варьирования разности потенциалов на электродах, система перестраивалась на новый стационарный режим при постоянстве других параметров.

В такой последовательности эксперименты проводились при различных напряженностях электрического поля, температурах теплоносителя, геометриях высоковольтного электрода и межэлектродных расстояниях.

#### Результаты исследований и выводы

В значительной степени эффективность охлаждения плоской стенки зависит от геометрии противозэлектрода (высоковольтного электрода) (рис. 2), оказывающей существенное влияние на электризацию теплоносителя. Последняя более интенсивна в областях максимальной напряженности электрического поля, в частности на перфорациях [1]. Диэлектрическая жидкость заряжается одноименным с решеткой зарядом. Под действием сил кулона возникает электроконвективная турбулизация среды, интенсивность которой усиливается с увеличением напряжения (кривая 3, рис.2). В отличие от сетчатого и плоского электродов (кривая 1 и 2, рис.2), решетка с перфорациями создает направленную прокачку теплоносителя перпендикулярно стенке [2] и его транспорт из межэлектродного промежутка (МЭП), что повышает коэффициент теплоотдачи  $\alpha$  в семь раз по сравнению с естественной конвекцией.

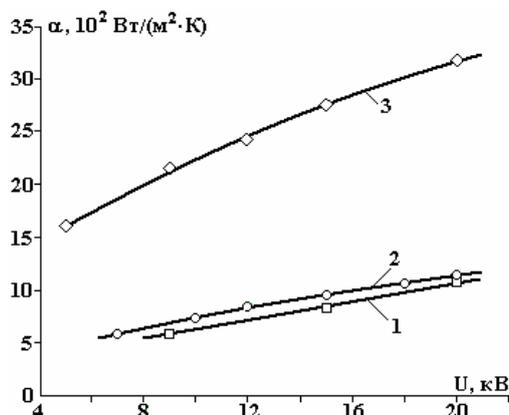


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от напряжения при различной геометрии высоковольтного электрода: 1 – сетка 1,5×1,5 мм (из нержавеющей проволоки  $\varnothing 0,1$  мм); 2 – пластина; 3 – решетка из изолированных проводов  $\varnothing 1$  мм с перфорацией

С сужением МЭП ( $d < 3$  мм), расстояния между перфорациями, теплоотдающей поверхностью и решеткой становятся соизмеримыми. Каждая перфорация начинает выполнять функцию отдельного электрода, аналогично игольчатому [1], и приводит к снижению скорости прокачки диэлектрической жидкости. Увеличивается гидравлическое сопротивление зазора между электродами,

уменьшается интенсивность перемешивания теплоносителя и, как следствие, ухудшается процесс теплообмена (рис. 3).

Повышение температуры теплоносителя  $T_{ж}$  (рис. 4) и температурного напора  $\Delta T$  – разности температур стенки и жидкости (рис. 5) – в случае решетчатого электрода приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи. Возрастает электропроводность и снижается вязкость трансформаторного масла с температурой [1], усиливаются турбулизация и прокачка рабочей среды. При этом наблюдается тенденция к ослаблению зависимости  $\alpha$  от  $\Delta T$  при больших температурных напорах (рис. 5), что, видимо, связано с насыщением электризации жидкого диэлектрика, обусловленной термической неоднородностью.

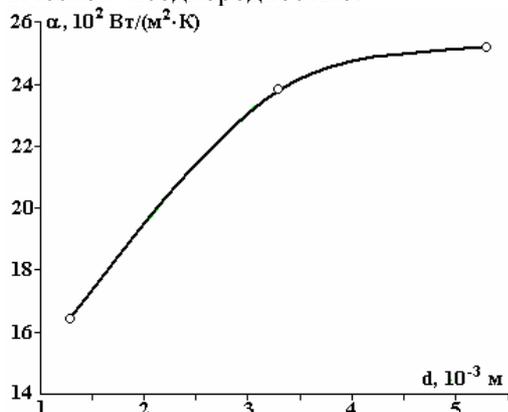


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от межэлектродного расстояния  $d$ ,  $T_{жс} = 324 \text{ К}$

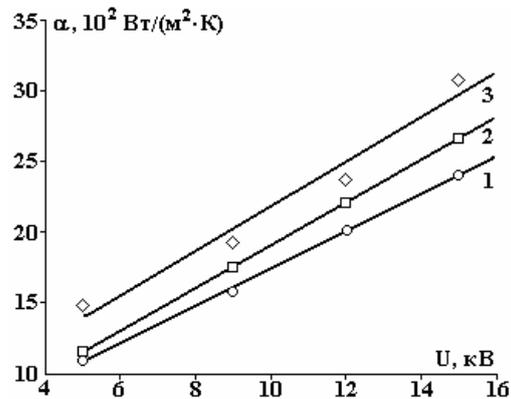


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от напряжения при различной температуре теплоносителя  $T_{жс}, \text{ К}$ : 1 – 308; 2 – 324; 3 – 341

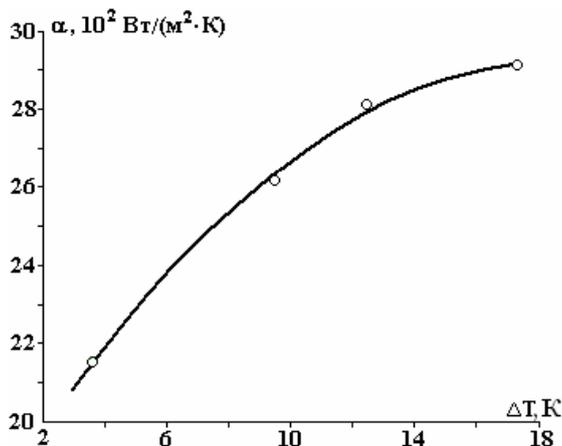


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от температурного напора,  $T_{жс} = 324 \text{ К}$

### Заключение

Установлено, что использование решетчатого электрода с перфорациями значительно ускоряет процесс охлаждения плоской стенки. Коэффициент теплоотдачи увеличивается в семь раз, что обусловлено одновременной турбулизацией и прокачкой теплоносителя перпендикулярно теплоотдающей поверхности и, как следствие, из межэлектродного промежутка.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Болога М.К., Гросу Ф.П., Кожухарь И.А. Электроконвекция и теплообмен. Кишинев: Штиинца. 1977. 320 с.
2. Bologa M.K., Kojevnicov I.V., Kozhuhari I.A. Multistage electrohydrodynamical pump // Annual Report of Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, 2000, vol. 1, p. 57–60.

Поступила 30.09.08

### Summary

Results of electric field influence on the process of plane wall cooling are presented. Geometry of high voltage electrode, field parameters, temperature of the heat agent, and the interelectrode gap length are optimized. The high efficiency of the electrode with a set of perforations coated with insulation is established.