

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ УЕДИНЕННОГО НАГРЕВАТЕЛЯ НА РАЗВИТИЕ ТЕПЛООВОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ

И. О. Сбоев, А. Н. Кондрашов

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
614990, Пермь, Букирева, 15

Размеры источника тепла и свойства жидкостей играют важную роль в образовании неустойчивости температурного пограничного слоя вблизи нагревателя. Ранее задача объединения и взаимодействия нескольких плюмов рассматривалась в работах некоторых авторов [1–4]. Однако отличительной чертой тех исследований является то, что формирование двух и более тепловых плюмов достигается либо за счет использования дискретного набора локализованных источников тепла, либо при подогреве одной из стенок полости. В первом случае каждый отдельный нагреватель формирует в жидкости один факел, в то время как в настоящей работе образование двух тепловых струй в узком слое вызвано действием одиночного нагревателя.

В упрощенной постановке задача настоящей работы заключается в рассмотрении модели бесконечного слоя, в котором размером нагревателя по сравнению с размерами полости можно пренебречь.

Круглый теплообменник 1 выполняется из меди ($\lambda_{Cu} = 400$ Вт/(м·К)) в виде плоского цилиндра радиусом r . В работе используется пара нагревателей с размерами $r = 5.5$ мм. Медный круг вмонтирован в текстолитовую подложку 2, обладающую теплопроводностью $\lambda_t = 0.244$ Вт/(м·К). При этом наружная поверхность нагревателя совмещается с поверхностью подложки. Источником тепла служит резистор 3 сопротивлением $R = 100$ Ом, с которого выделившееся тепло передается медному нагревателю через цилиндрический канал из олова 4 высотой 7 мм и диаметром 5 мм, имеющий теплопроводность $\lambda_{Sn} = 70$ Вт/(м·К) (рис. 1).

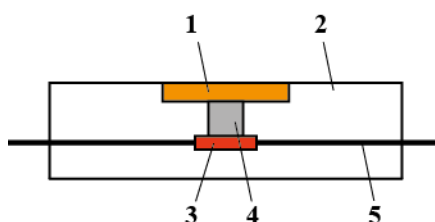


Рис. 1. Схема нагревателя: 1 – медный теплообменник, 2 – текстолитовая подложка, 3 – резистор, 4 – олово, 5 – соединительные провода

Схема экспериментальной установки приведена на рис. 2. Рабочая полость 1 имеет форму куба, изготовленного из оптического стекла со стороной равной $a = 200$ мм. Кубета заполняется дистиллированной водой температуры T_0 . В качестве датчиков температуры используется дифференциальная термопара. Измерительный спай находится на высоте $h = 5$ мм над

центром нагревателя 2. Второй спай поддерживается при постоянной температуре T_0 .

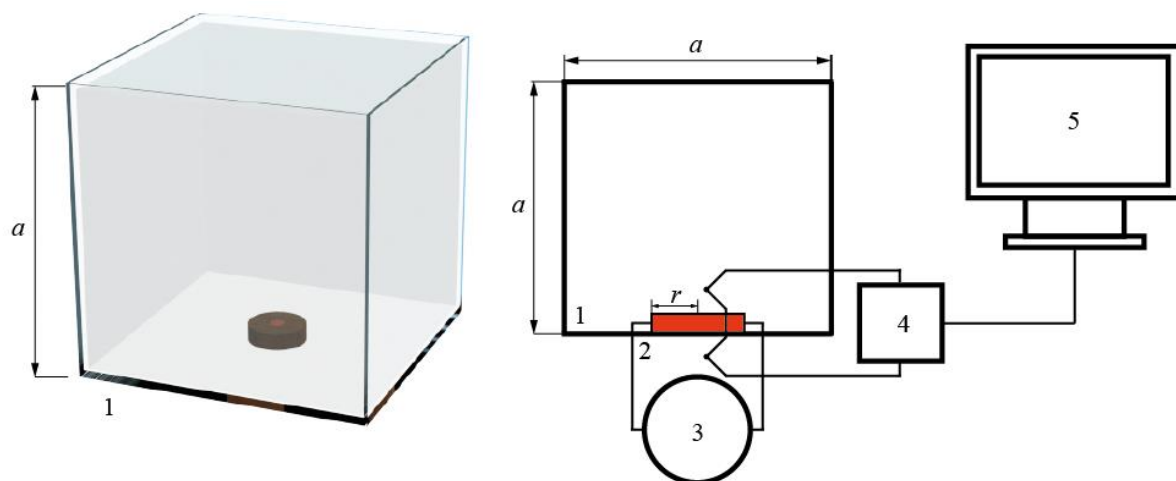


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – рабочая полость, 2 – медный теплообменник, 3 – источник питания, 4 – микровольтметр, 5 – компьютер

Сигнал термопары регистрируется микровольтметром 4, который имеет дискретизированный временной шаг опроса 100 мс. Измеренные микровольтметром значения термо-э.д.с. накапливаются и обрабатываются на компьютере 5.

Рассматривается изменение температуры $\Delta T = T - T_0$ внутри столба плюма со временем. Экспериментальный сигнал термопар для четырех значений напряжения U источника питания 3 приведен на рис. 3.

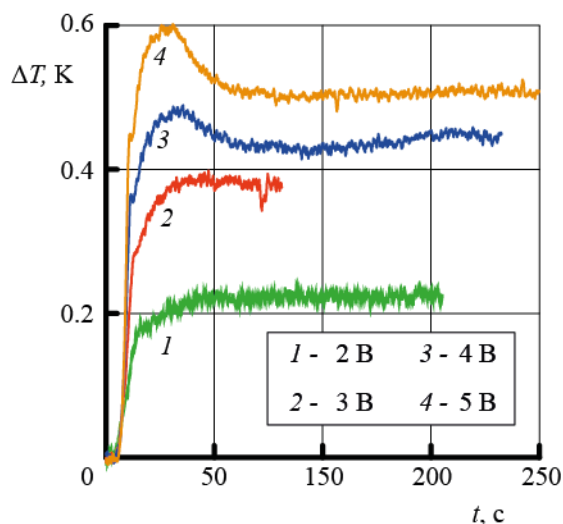


Рис. 3. Экспериментальный сигнал термопары, полученный над центром теплообменника в точке $h = 5$ мм при различных напряжениях на резисторе: 1 – $U = 2$ В; 2 – $U = 3$ В; 3 – $U = 4$ В; 4 – $U = 5$ В

На кривых 3 и 4 присутствует участок, соответствующий разделению тепловой волны и образованию конвективного вала по краям нагревателя (момент времени $t = 10$ с). В последующий момент времени тепловая волна

удаляется от нагревателя, и температура в точке постепенно увеличивается. Объединение конвективного вала в шляпу плюма наблюдается в промежутке времени между 25 и 50 с. Во время дальнейшего распространения одиночного плюма температура внутри столба жидкости практически не изменяется. Кривые 3 и 4 указывают на конвективный режим переноса тепла в жидкости.

Основное отличие сигналов 1 и 2 от двух других заключается в том, что знак первой производной по времени остается постоянным. Такое обстоятельство качественно отличает этот сценарий развития плюма от конвективного, а поведение кривых 1 и 2 в этом случае говорит о наличии теплопроводного режима.

Таким образом, увеличение температуры нагревателя приводит к переходу от теплопроводного режима к конвективному.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант №14-01-31430 мол_а).

Список литературы

1. *Гаврилов К. А., Демин В. А., Попов Е. А.* Режимы всплытия тепловых плюмов в вертикальном слое // Вычислительная механика сплошных сред. 2013. Т. 6, № 3. С. 261–268.
2. *Pera L., Gebhart B.* Laminar plume interactions // *Journal of Fluid Mechanics*. 1975. V. 68 (2). P. 259–271.
3. *Lappa M.* Some considerations about the symmetry and evolution of chaotic Rayleigh–Benard convection: The flywheel mechanism and the «wind» of turbulence // *Comptes Rendus Mécanique*. 2011. V. 339 (9). P. 563–572.
4. *Moses E., Zocchi G., Procaccia I., Libchaber A.* The dynamics and interaction of laminar thermal plumes // *EPL*. 1991. V. 14 (1). P. 55–60.