

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА ПРИ НАТЕКАНИИ ОДИНОЧНОГО ИМПУЛЬСНОГО ГАЗОКАПЕЛЬНОГО ПОТОКА РАЗЛИЧНОЙ ДЛИТЕЛЬНОСТИ

П.Н. Карпов, А.Ф. Серов, В.И. Терехов

*Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
630090, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, 1, Россия*

Аннотация. Представлены результаты экспериментального исследования теплообмена при натекании импульсного многосоплового спрея на вертикальную поверхность в режиме испарительного охлаждения ($T_w = 70^\circ\text{C}$). Основное внимание уделено измерению нестационарной теплоотдачи для одиночного во времени импульса спрея различной продолжительности ($t_{\text{имп}} = 2 \div 50 \text{ ms}$). Максимум теплообмена имеет место при длительностях импульса равных $t_{\text{имп}} \approx 10 \text{ ms}$, несмотря на то, что с ростом $t_{\text{имп}}$ увеличивается масса инжектируемой за импульс жидкости. Такая же тенденция наблюдается и для средней по времени теплоотдачи и для всех изученных составов охлаждающей жидкости.

Введение. Метод охлаждения теплонапряженных поверхностей с помощью газочапельного спрея является одним из наиболее эффективных и он позволяет снимать значительные тепловые потоки при относительно малых расходах жидкой фазы [1]. Большинство экспериментальных и численных исследований в области газочапельного охлаждения посвящено изучению спреев, формируемых одиночным соплом [1,2]. В технических приложениях зачастую требуется охлаждать поверхности большой площади. В этом случае наиболее приемлемым является использование многосопловых источников спрея. Для однофазных режимов такой способ охлаждения изучен достаточно основательно, тогда как для двухфазных газочапельных струй проблема теплообмена при натекании системы струй получила развитие только в последнее время.

В настоящей работе представлены результаты изучения поведения мгновенного коэффициента теплоотдачи при подаче одиночного импульса различной длительности.

Описание экспериментальной установки. Внешний вид экспериментальной установки представлен на Рис. 1. Она состоит из двух основных блоков: источника многоструйного импульсного спрея (блок А) и теплообменника (блок В) с соответствующими системами сбора и обработки экспериментальной информации [3].

На плоской части источника спрея расположены 16 жидкостных форсунок (1) и 25 воздушных сопел (2). Расстояние между соседними форсунками составляет 20 мм. Форсунка (Bosh EVL14L) с электромагнитным клапаном представляет собой пластинчатую диафрагму толщиной $h = 0,5 \text{ мм}$ с четырьмя отверстиями-соплами диаметром $d = 120 \text{ мкм}$. Давление жидкости на входе блока форсунок (4) могло изменяться в широких пределах $P_0 = 0.05 \div 0.6 \text{ МПа}$. В течение одного эксперимента оно поддерживалось постоянным.

Измерения локальных тепловых потоков q_w проводились с помощью наклеенного на преграду миниатюрного градиентного датчика теплового потока (ГДТП) [4]. Датчик представляет собой массив термоэлементов, вырезанных из анизотропного кристалла висмута с размерами в плане $2,2 \times 2,2 \text{ мм}$ и толщину $0,2 \text{ мм}$.

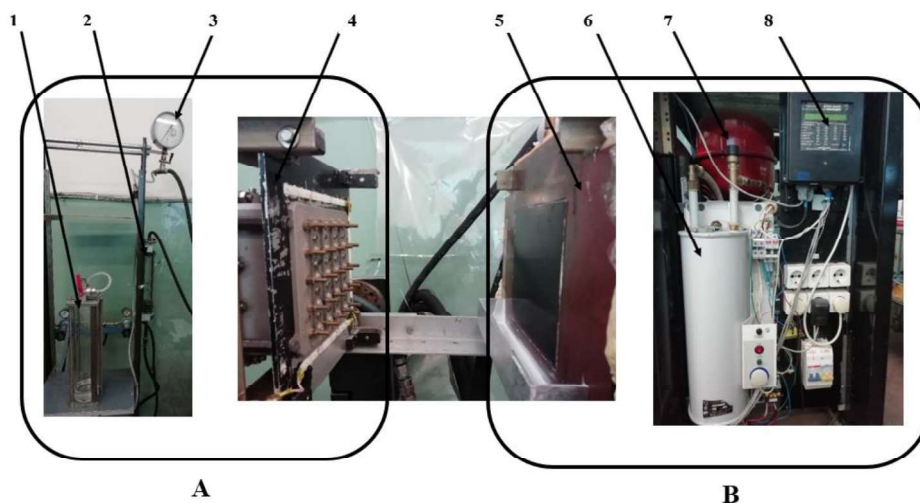


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

А – источник многоструйного импульсного спрея; В – теплообменник и цифровой калориметр;
 1 – резервуар рабочей жидкости, 2 – расходомер (спутный поток), 3- манометр (жидкость),
 4 – блок форсунок, 5 – рабочая поверхность, 6 – котел, 7 – расширительный бак,
 8 – блок управления калориметром

Результаты. По мере возрастания длительности импульса $t_{имп} > 10$ ms изменение коэффициента теплоотдачи носит своеобразный двугорбый характер. Первый максимум имеет место при $t \approx 10$ ms, а второй при $t \approx 30$ ms практически независимо от длительности открытия клапана. Столь сложное поведение коэффициента теплоотдачи во времени обусловлено несколькими факторами, среди которых является интенсификация теплоотдачи за счет турбулизации пристенного слоя крупными каплями, а также повторным возвращением к нагретой стенке после их отскока от поверхности. В пользу этого вывода говорят результаты визуализационных исследований процесса взаимодействия одиночного импульса с теплообменником.

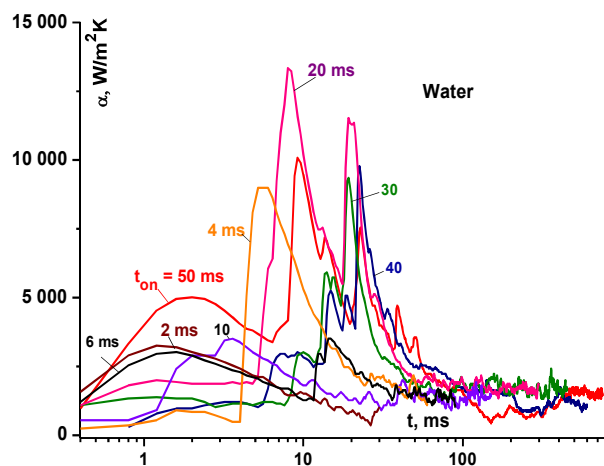


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи во времени при импактном натекании одиночного газонагревательного импульса различной продолжительности, $P_0 = 0,2$ МПа

Продолжительность фазы повышенного теплообмена, в течение которой завершаются испарительные процессы на стенке, как правило, не превышает 100 мс. После этого теплоотдача стабилизируется по времени и ее величина соответствует примерно значению в лобовой точке импульсных однофазных струй. Очевидно, что следующий импульс спрея целесообразно подавать по окончании этого периода, когда теплообменная поверхность освобождается от жидкой фазы.

Выводы. Экспериментальное исследование интенсивности теплообмена при взаимодействии одиночного импульса спрея с теплообменной поверхностью в режиме испарительного охлаждения ($T_w = 70^{\circ}\text{C}$) показало, что характер изменения коэффициента теплоотдачи во времени зависит, прежде всего, от длительности импульса $t_{\text{имп}}$. Для коротких по времени импульсов ($t_{\text{имп}} < 10 \text{ ms}$) в распределении формируется один максимум, а для более длительных наблюдаются два ярко выраженных экстремума. Возможной причиной второго максимума является возврат и повторное осаждение крупных капель, отраженных от поверхности.

Максимальные и осредненные по времени коэффициенты теплоотдачи сильно зависят от длительности импульса. Они достигают наибольших значений при $t_{\text{имп}} \approx 10 \text{ ms}$ и, несмотря на увеличение массы инжектируемой жидкой фазы по мере роста длительности импульса, коэффициент теплоотдачи при $t_{\text{имп}} > 10 \text{ ms}$ изменяется очень слабо.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Zhou N., Chen F., Cao Y., Chen M., Wang Y. Experimental investigation on the performance of a water spray cooling system// Applied Thermal Engineering, 2017, Vol. 112, P. 1117-1128.
2. Pakhomov M.A., Terekhov V.I. The effect of confinement on the flow and turbulent heat transfer in a mist impinging jet// Int. J. Heat and Mass Transfer, 2011, Vol. 54, P. 4266-4274.
3. Nazarov A. D., Serov A. F., Bodrov M. V. Intensification of Cooling by a Pulsed Gas-Droplet Flow: Equipment, Parameters and Results// Technical Physics, 2010, Vol. 55, P. 724-727.
4. Sapozhnikov S.Z., Mityakov V.Yu., Mityakov A.V., Terekhov V.I., Kalinina S.V., Lemanov V.V. Testing and Using of Gradient Heat Flux Sensors// Heat Transfer Research, 2008, Vol.39, P. 625-626.