

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НА ТЕПЛООБМЕН ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ СПРЕЯ

Карпов П.Н.

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

В работе представлены экспериментальные данные об изменении во времени коэффициента теплоотдачи от плоского вертикального теплообменника к импульсному газокapelьному потоку при изменении длительности одиночных импульсов. Данные были получены датчиком локального теплового потока градиентного типа [1], установленного на рабочую поверхность. Обсуждается характер распределения коэффициента теплоотдачи и возможные механизмы взаимодействия капель спрея с поверхностью.

Многие промышленные приложения требуют возможность удаления высоких тепловых потоков. Эти задачи актуальны в охлаждении все более быстродействующих электронных компонентов и мощных лазеров. Такие потребности не будут достигнуты при ограниченных возможностях обычных методов охлаждения, таких как вынужденная конвекция.

Охлаждение импульсным спреем характеризуется высоким отбором тепла при низких массовых расходах охлаждающей жидкости. На данный момент накоплено много информации, посвященной в том числе и импульсному спрею [2,3,4], но в силу сложности и многофакторности процесса, в настоящее время не представляется возможным создание универсального метода расчета, позволяющего описать процессы тепло- и массообмена протекающие во время импульсного охлаждения.

Настоящая работа посвящена изучению нестационарного теплообмена от одиночного импульса спрея при его различной длительности. Эти данные позволяют составить элементарную картину теплового взаимодействия с тем, чтобы в дальнейшем ее перенести на чередующиеся импульсы периодического спрея.

Экспериментальная установка состоит из оригинального цифрового калориметра с теплообменником и импульсного программируемого источника спрея.

Теплообменник, выполненный из высокотеплопроводной меди, имеет размеры рабочей поверхности 140x140mm и толщину 25 mm. Рабочая пластина нагревается водой. В опытах было реализовано граничное условие $T_w = 70\text{ }^{\circ}\text{C} = \text{const}$, справедливость которого подтвердили измерения температуры теплообменной поверхности в различных ее точках с помощью термопар. Теплообменник может быть установлен на разных расстояниях от истока газокapelьного потока и под разными углами относительно направления распространения аэрозоли. Управляемый источник газокapelьной струи конструктивно выполнен в виде двухкамерного блока: для воздуха и воды. На плоской части источника расположены 16 жидкостных форсунок в виде матрицы 4x4. На этой же поверхности для создания газокapelьного воздушного потока установлены 25 газовых сопел с диаметром выходного отверстия 3.5 mm. Жидкостная форсунка представляет собой распылитель из четы-

рех сопел диаметром 125 μm , включаемых одним электромагнитным клапаном. Расход жидкости определяется давлением на входе блока электромагнитных клапанов

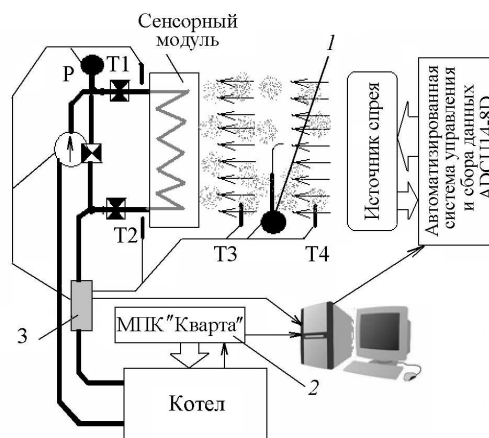


Рис. 1. Принципиальная схема опытного теплообменника: T1–T4 термометры; P — манометр; 1 — емкостный измеритель концентрации; 2 — микропроцессорный контроллер (МПК) — управление котлом; 3 — измеритель расхода

($PL = (0.5-3) \cdot 10^{-1} \text{ МПа}$, при этом скорость жидкости в потоке регулируется 0.5–30 м/с). Изменение длительности ($T_i = 0.002-0.01 \text{ s}$) и частоты открытия клапана ($Fi = 1-50 \text{ Hz}$) позволяет формировать газокapelьный поток с заданной массой жидкой фазы. Программное включение клапанов позволяет формировать поток спрея различной интенсивности во времени и по координате на поверхности теплообменника. Расход газовой составляющей не изменяется во времени для конкретного режима и определяется давлением на входе воздушного блока. За счет изменения рабочего давления $P_g = (0-6) \cdot 10^{-1} \text{ МПа}$ скорость воздушного газокapelьного потока может быть установлена 0–20 м/с.

В серии экспериментов теплообменник и источник аэрозоли были установлены вертикально к горизонтальной оси на расстоянии 230 mm друг от друга. При таком расположении в сечении установки поверхности теплообменника источник импульсного газокapelьного потока формирует двухфазный поток площадью 300x300 mm.

Результаты экспериментов позволяют сделать выводы о неравномерном распределении ансамбля капель на поверхности теплообменника. Для коротких импульсов ($T_i = 2...4 \text{ ms}$) наблюдается равномерное распределение "прилетевшей" жидкости на поверхность (Рис. 2.). Этому свидетельствует ярко выраженный пик, связанный с попаданием капель на датчик. Пик сменяется равномерным снижением теплообмена, что объясняется испарением воды с поверхности. Можно заметить небольшие возмущения, свя-

занные с возвратом мелких капель, после первичного попадания на теплоноситель.

С увеличением длительности импульса ($T_i=8\ldots 20$ ms) время бомбардировки ансамблем капель рабочей поверхности растёт. Это связано с неравномерным распределением капель в потоке. Первыми достигают поверхности крупные капли. Вслед за ними стенку бомбардируют капли меньшего размера. Возможной причиной образования второго максимума является возврат на теплообменную поверхность вторичных капель.

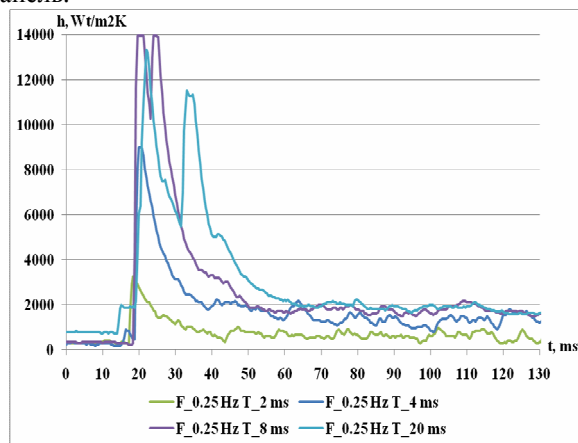


Рис. 2. Изменение коэффициента теплоотдачи по времени при различной длительности импульса.

Список литературы:

1. Сапожников, С.З., В.Ю. Митяков В.Ю., Митяков А.В. Градиентные датчики теплового потока в теплотехническом эксперименте / СПб.: СПбГПУ, 2007. 202 с.
2. Z. Zhang, P.-X. Jiang, Y.-T. Hu, J. Li «Experimental investigation of continual and intermittent-spray cooling», *Experimental Heat Transfer*, 26:453–469, 2013
3. J.L. Xie, Y.B. Tan, T.N. Wong, F. Duan, K.C. Toh, K.F. Choo, P.K. Chan, Y.S. Chua «Multi-nozzle array spray cooling for large area high power devices in a closed loop system», *International Journal of Heat and Mass Transfer* 78 (2014) 1177–1186
4. А. Д. Назаров, А. Ф. Серов, В. И. Терехов «Структура импульсной распыленной струи при изменении ее частотных характеристик», *Теплофизика высоких температур*, 2011, том 49, № 1, с. 1–7