

ВЛИЯНИЕ ОРИЕНТАЦИИ В ПОЛЕ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ НЕСТАЦИОНАРНОГО СПРЕЯ НА ЕГО ДИНАМИЧЕСКИЕ И ТЕПЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

П.Н. Карпов, А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов

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

Значительная часть работ посвящена исследованиям охлаждению гравитационным потоком волновой пленки образованной непрерывным капельным или струйным факелом охлаждающей жидкости [1,2]. Выполненные исследования теплообмена с потоком волновой пленки, образованной импульсным газочапельным потоком, позволили обнаружить более энергоэффективные режимы охлаждения. В зависимости от удельного расхода жидкости можно выделить два режима: первый режим большого расхода и толстой ламинарной пленки, которая подвергается «индуцированной» турбулентности крупными каплями потока каплей или струи; второй режим обедненной подачи охлаждающей жидкости. Второй режим приводит к образованию локальных смоченных поверхностей без гравитационного потока с «индуцированной» турбулентностью и крупными каплями на сухой поверхности. В зависимости от поверхностного натяжения и вязкости жидкости на границе с сухой поверхностью образуется область с интенсивным испарением, которая дает значительный вклад в локальный коэффициент теплоотдачи. Впервые получены данные об изменении плотности вероятности коэффициента теплоотдачи локального теплового потока от коэффициента относительной плотности импульсного газочапельного потока в диапазоне скважности $Q < 30$.

Предметом изучения является теплообмен между поверхностью и импульсным газочапельным потоком при разных положениях в пространстве по отношению к горизонту системы: газочапельный поток – поверхность тепловых граничных условий: $T_w = \text{const}$. Эксперименты выполнялись на созданном оригинальном автоматизированном стенде [3].

Исследовалось влияние скважности импульсного газочапельного потока, скорости жидкостно-капельной фазы и спутного газового потока на теплообмен при разных положениях в поле силы тяжести системы инжектор-теплообменник.

Выполненные исследования позволили определить влияние направления и величины силы тяжести на теплообмен между импактным газочапельным импульсным потоком и плоским теплообменником при различных параметрах импульсного газочапельного потока. Получены данные о распределении локального теплового потока с градиентного датчика теплового потока (ГДТП) [4].

На графике (Рис.1) приведены данные о локальной теплоотдаче для двух положений системы: (0° и -90°), где наблюдается более интенсивный теплообмен горизонтальной пластине теплообменника.

Как показано на Рис.1 максимальный теплоотвод наблюдается при реализации режима с длительностью импульса 4 мс и частотой повторения 0,25 Гц. Выбранный режим позволяет полностью обеспечить необходимое время между импульсами для полного испарения всей жидкости осажденной на поверхности теплообменника. Важным фактом является что время за которое факел полностью бомбардирует поверхность теплообменника увеличивается в среднем в 2-3 раза от заданной длительности импульса [5]. Следует что время импульса, в данном режиме, 12 мс.

Наблюдаемые процессы можно разделить на два. Первый- формирование локальной плотности потока капель в режиме со спутным потоком газа в пространстве дрейфа от источника до теплообменника. Второй – образование пленки на поверхности теплообменника при воздействии импактного потока воздуха на движение волн и вторичных капель при частоте повторения, когда вся жидкость испаряется. При положении теплообменника "стена" наблюдаем короткий, но интенсивный теплообмен между поверхностью и осаждаемой жидкости. Пик соответствует времени, когда основная масса капель достигла поверхности, происходит образование тонкой пленки, моментальный прогрев и интенсивное испарение. Затем подключается "хвост" факела подпитывая испаряющуюся пленку. К моменту завершения образовавшегося цуга капель удлиненного импульса (~ 12 мс) активная фаза теплоотвода завершается и сменяется испарением пленки. За счет отсутствия гравитационных сил, при положении поверхности "пол" все время длительности импульсу происходит прогрев образовавшейся равномерной пленки. Интенсивная

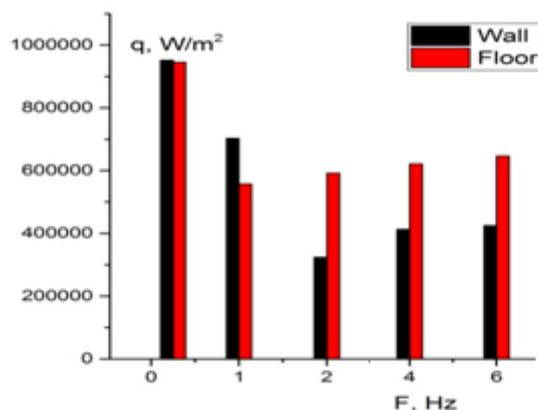


Рис. 1. Теплоотдача для двух вариантов положения теплообменника в пространстве.

фаза теплоотвода выходит за рамки длительности импульса. Следует вывод что вторичные капли и "хвост" не интенсифицируют теплоотдачу при положении "пол", в отличии от того же режима "стена".

При проведении исследований о влиянии гравитационных сил на теплообмен при различных положениях системы «источник - теплообменника» был выполнен спектральный анализ зависимости коэффициента теплоотдачи от мгновенного удельного расхода газочапельного потока импульсного спрея. Спектральные данные поведения локального теплового потока позволяют выполнять количественный и качественный анализ влияние на теплообмен ориентации системы, индуцированной турбулентности крупными каплями, амплитуду и скорость волн на поверхности образовавшейся пленки. На Рис. 2 приведены две зависимости спектра пульсаций коэффициента теплоотдачи в диапазоне (0- 5000) Гц. Спектральный состав пульсаций коэффициента теплоотдачи для положения "пол" слабо зависит от длительности импульса в отличии от режима "стена". В режиме "стена" пульсации имеют значительное различие по амплитуде в области от 1 кГц до 3 кГц, что указывает на присутствие эффекта ударной турбулизации охлаждающей пленки каплями "хвоста" импульса.

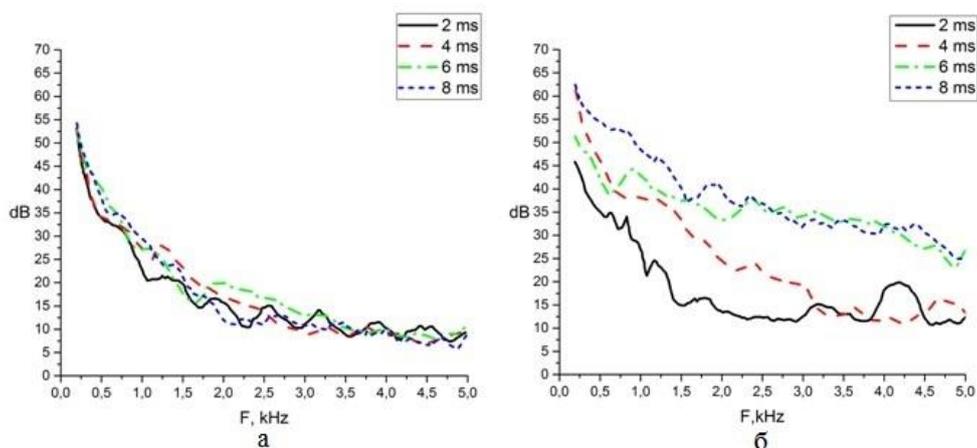


Рис. 2. Спектральная плотность коэффициента теплообмена (а – "пол", б - "стена")

Сопоставление данных о зависимости величины локального теплового потока со спектральной плотностью величины коэффициента теплоотдачи позволяют сделать вывод, что эффективность теплопереноса выше за счет накопления жидкости на горизонтальной поверхности, отсутствия течения пленки и возмущения крупными каплями капельного потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **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
2. **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
3. **А.Д. Назаров, А.Ф. Серов, В.И. Терехов, К.А. Шаров** "Экспериментальное исследование испарительного охлаждения импульсным спреем", *Инженерно-физический журнал* том 82, № 6, с.1-7
4. **Сапожников, С.З., В.Ю. Митяков В.Ю., Митяков А.В.** "Градиентные датчики теплового потока в теплотехническом эксперименте", СПб.: СПбГПУ, 2007. 202 с.
5. **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