

ЭЛЕКТРОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТОЛЩИНОЙ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ НАГРЕТОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Куперштох А.Л., Медведев Д.А.

Институт гидродинамики им. М.А. Лаврентьева СО РАН,
пр. Лаврентьева 15, Новосибирск, 630090, Россия

Для охлаждения горячих поверхностей широко используются тонкие пленки жидкости. Эффективность такого метода связана с тем, что поверхность жидкости сильно охлаждается при испарении из-за поглощения скрытой теплоты испарения [1]. Один из методов удаления пара от поверхности испарения является процесс, используемый в так называемых «тепловых трубках», где отводимый пар конденсируется на специальном участке тепловой трубки с пониженной температурой [2].

Для интенсификации процесса может использоваться неоднородное электрическое поле над непроводящей вставкой в нижнем электроде, что приводит к утончению пленки над ней (рис. 1) [1]. Распределение потенциала электрического поля φ в диэлектрическом флюиде получается путем решения уравнения Пуассона $\text{div}(\varepsilon \text{grad} \varphi) = 0$.

Под действием неоднородного электрического поля пленка жидкости в области непроводящей вставки (рис. 1) становится все тоньше и тоньше [1]. При этом градиент температуры локально увеличивается, и тепловой поток начинает возрастать.

Толщина пленки на нагревателе (4) над центром изоляционной вставки (3) быстро уменьшается после включения электрического поля. При этом поток тепла постепенно увеличивается, что связано с ускорением процесса испарения пленки.

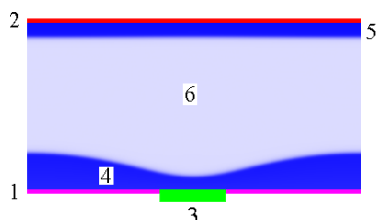


Рис. 1. Схема охлаждения. 1, 2 – нижний и верхний электроды, 3 – изоляционная вставка, 4 – пленка жидкости на нагревателе, 5 – пленка жидкости на конденсаторе паров, 6 – пар. Размер расчетной области 400×200.

В данной работе предложено организовать периодический процесс.

Компьютерное моделирование динамики флюида, конвективного переноса тепла с учетом скрытой теплоты фазовых переходов на границах жидкость-пар осуществлялось методом решеточных уравнений Больцмана [3]. Перенос тепла за счет теплопроводности учитывался с помощью метода конечных разностей.

Решалась двумерная задача о деформации первоначально плоской пленки жидкого диэлектрика начальной толщиной δ , лежащей на нижнем электроде (1) с непроводящей вставкой (3). Ширина изоляционной вставки $2R_{in}$.

В [1] было показано, что в случае разрыва пленки поток тепла уменьшается, несмотря на возникновение новых контактных линий, вблизи которых плотность потока тепла выше.

С целью предотвратить разрыв пленки и появление сухих пятен, предложен режим включения-выключения поля с обратной связью по толщине пленки над изоляционной вставкой. Пары жидкости конденсируются на холодном верхнем электроде и возвращаются оттуда по специальным каналам перетока в некоторый нижний слой пленки, находящейся на нагревателе.

Зависимости теплового потока с поверхности изоляционной вставки от времени приведены на рис. 2 для разных размеров изоляционной вставки. Пики на графиках соответствуют утончению пленки под действием электрического поля.

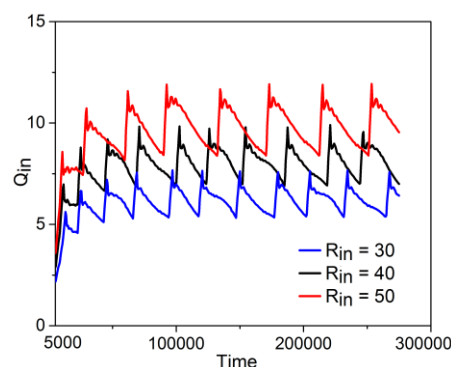


Рис. 2. Зависимости теплового потока с поверхности изоляционной вставки Q_{in} . Размеры вставки $R_{in} = 30, 40$ и 50 . Температура нагревателя $T_h = 0.75$.

Таким образом, показано, что возможно осуществить процесс охлаждения нагревателя при регулярном импульсном воздействии неоднородного электрического поля на диэлектрическую пленку жидкости с целью значительно увеличить среднее значение теплоотвода от подложки по сравнению со случаем без электрического поля.

Список литературы:

1. Kupershtokh A.L., Medvedev D.A., Alyanov A.V. Heat flux from the surface in the process of the rupture of a thin liquid film by an electric field. *Phys. Fluids*. 2023. V. 35, N 10. P. 102006.
2. Maydanik Y. F. Loop heat pipes (Review article). *Appl. Therm. Eng.* 2005. V. 25, N 5–6. P. 635–657.
3. Kupershtokh A.L., Medvedev D.A., Gribanov I.I. Thermal lattice Boltzmann method for multiphase flows. *Phys. Rev. E*. 2018. V. 98, N 2. P. 023308.

Работа выполнена за счет РНФ,
<https://rscf.ru/project/25-29-00310/>
(грант № 25-29-00310).