

УДК 536.246

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИСПАРЕНИЯ ВОДНО-ЭТАНОЛОВОГО РАСТВОРА НА СУПЕРГИДРОФИЛЬНОЙ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТОЙ ПОВЕРХНОСТИ В УСЛОВИЯХ ВЫНУЖДЕННОЙ КОНВЕКЦИИ

М.В. Горбачев¹, М.С. Макаров^{1,2}, А.И. Сюзаев¹, В.И. Терехов^{1,2}

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН

Ввиду непрерывного роста показателей мирового энергопотребления, сокращения невозобновляемых источников энергии, а также увеличения выбросов парниковых газов необходимо внедрение перспективных методов увеличения значения рационального использования энергетических ресурсов в производственной, бытовой и научно-технической сферах, что позволит уменьшить количество энергии для обеспечения того же уровня энергетического обеспечения зданий или технологических процессов на производстве. В данной работе рассмотрены супергидрофильные капиллярно-пористые поверхности способные обеспечивать теплообмен за счет фазового перехода, что имеет принципиальное значение в испарительных радиаторах для космических приложений, тепловых трубках, а также в работе градиен для производства электроэнергии и тепловой энергии в централизованных системах теплоснабжения. Исследование процесса теплообмена с фазовым переходом на капиллярно-пористой поверхности происходило путем проведения экспериментов по испарению водно-этаноловой смеси различной концентрации в условиях вынужденной конвекции при различной ориентации модифицированной поверхности в пространстве. Результаты, полученные в ходе данной работы, позволяют судить об эффективности использования капиллярно-пористых структур в теплообменных аппаратах, работающих на испарительных циклах, и цикле Майсоценко, а также применимы для дальнейшего исследования тепломассообменных процессов, протекающих на супергидрофильных капиллярно-пористых поверхностях.

Ключевые слова: микроканавки, капиллярный поток, капиллярно-пористая структура, вынужденная конвекция, фазовый переход, теплообменный аппарат, цикл Майсоценко.

DOI: 10.17212/1727-2769-2022-4-7-17

Введение

По данным независимого агентства, доля ископаемого топлива к 2040-му году снизится до 78 %, при одновременном росте энергопотребления на 56 % в период с 2010 по 2040 годы, что на фоне таких глобальных проблем, как загрязнение окружающей среды, истощение невозобновляемых энергоресурсов, увеличение выбросов углекислого газа в атмосферу и глобальное потепление, влечет необходимость увеличения эффективности использования энергетических ресурсов [1].

В данной работе изучалась супергидрофильная капиллярно-пористая поверхность, способная обеспечивать пассивную подачу рабочего тела к поверхности теплообмена за счет высокого капиллярного давления, обусловленного наличием микроструктуры, и осуществлять теплообмен с фазовым переходом [2].

На сегодняшний день множество работ в области экспериментального исследования капиллярно-пористых поверхностей было направлено на изучение впи-

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ (код проекта 20-08-00717 А).

© 2022 Горбачев М.В., Макаров М.С., Сюзаев А.И., Терехов В.И.

тывающей способности различных модифицированных материалов однокомпонентных жидкостей в условиях свободной конвекции [3–13], изучение характера течения рабочей жидкости внутри капиллярной структуры [7–9, 14], а также влияния температуры модифицированной поверхности на динамику потока рабочей жидкости [15, 16].

В работе Макаров М. и др. [17] была рассмотрена близкая по постановке к данному исследованию задача, где были представлены дифференциальные уравнения, позволяющие рассчитать высоту подъема жидкости в капиллярах, динамику смачивания, глубину и массу жидкости в капиллярах и площадь поверхности испарения, для модифицированной поверхности плоской стенки при адиабатическом испарении жидкости в пограничный слой воздуха.

Целью данной работы является экспериментальное исследование процесса испарения с фазовым переходом водно-этанолового раствора различной концентрации на модифицированной супергидрофильной капиллярно-пористой поверхности в условиях вынужденной конвекции.

1. Объект исследования и экспериментальная установка

Объектом исследования выступала модифицированная пластина титана, на поверхности которой с помощью фемтосекундного лазерного излучения был образован массив открытых микроканалов. На рис. 1 показаны СЭМ изображения модифицированной пластины титана, полученные с помощью микроскопа Hitachi TM-3000 ЦКП ИИХ СО РАН. Регулярные вертикальные канавки имеют ровные стенки с мелкими элементами шероховатости. Среди канавок на титане не встречается закрытых поперечных перегородок, что приводит к равномерному смачиванию модифицированной области пластины. Сами микроканалы имеют характерный размер 80 мкм, а на их стенках образована развитая микроструктура с характерным размером 1...2 мкм. В качестве рабочей жидкости была использована смесь дистиллированной воды и этилового спирта, характеристика которой представлена в таблице.

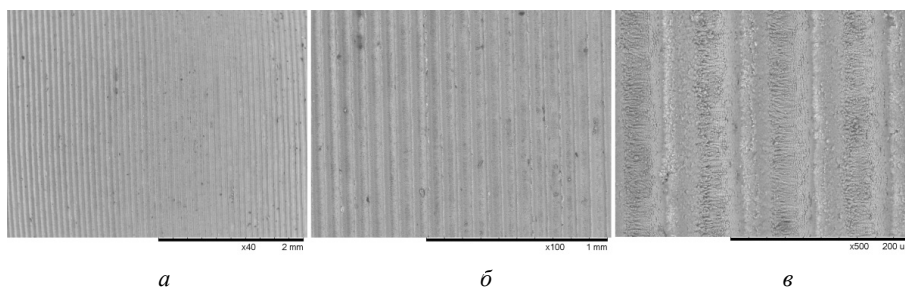


Рис. 1 – Изображение модифицированного участка пластины титана с увеличением в 40 (а), 100 (б), 500 (в) раз

Fig. 1 – Image of a modified section of a titanium plate with a magnification of 40 (a), 100 (b), 500 (c) times

Для проведения экспериментов в условиях вынужденной конвекции использовалась аэродинамическая труба открытого типа, обеспечивающая равномерный по выходному сечению ламинарный поток воздуха со скоростью от 0,5 до 15 м/с, схема которой показана на рис. 2.

На рис. 3 показана схема рабочего участка, располагавшегося непосредственно на выходе из аэродинамической трубы и включавшего в себя блок термостабилизации рабочей жидкости и узел крепления и перемещения пластины в вертикальной плоскости.

Состав смеси
Composition of the mixture

Объем компонента, мл		Объемная концентрация спирта смеси К, %об
Этиловый спирт (ректификат)	Дистиллированная вода	
60	40	57.3
40	60	38.2
20	80	19.1
0	100	0

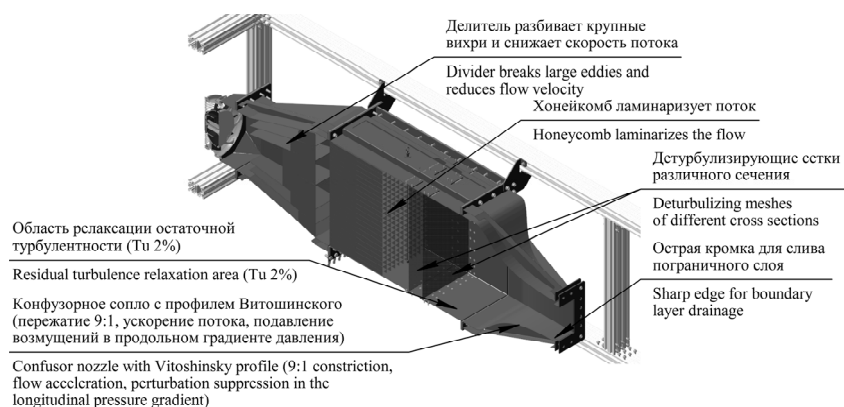


Рис. 2 – Аэродинамическая труба в разрезе

Fig. 2 – Aerodynamic tube in section

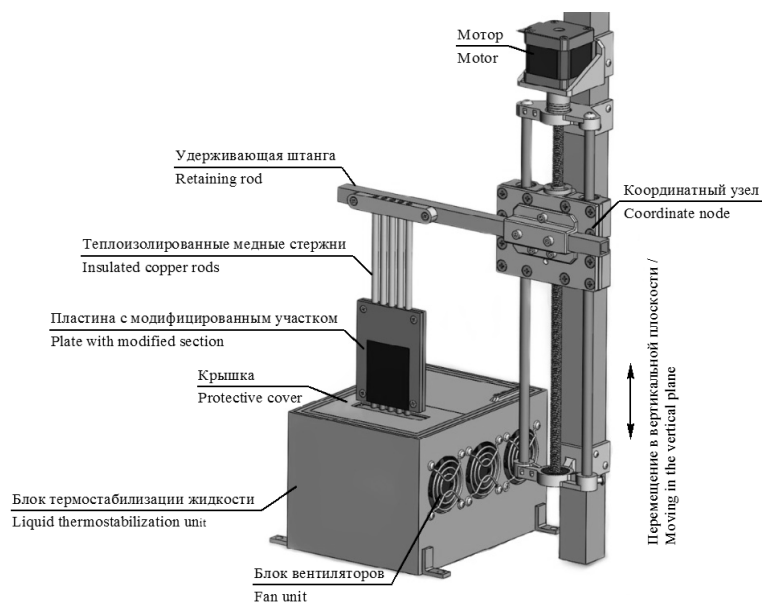


Рис. 3 – Принципиальная схема рабочего участка

Fig. 3 – Schematic diagram of the working area

Температура рабочей жидкости в блоке термостабилизации контролировалась шестью термопарами хромель-алюмель, погруженными непосредственно в рабочий объем и находящимися на равноудаленном расстоянии друг от друга. Температура пластины контролировалась тремя термопарами, равномерно расположенными по высоте модифицированной области, и тепловизионной съемкой с помощью тепловизора Testo 875-2i. Для контроля скорости потока на выходе из аэродинамической трубы был установлен термоанемометр Testo 405-V1, а для контроля влажности и температуры – датчик Sensirion SHT15.

2. Методика эксперимента

В настоящей работе исследовалось изменение температуры пластины при испарении водно-этаноловой смеси с модифицированной поверхности в набегающий поток сухого воздуха. Скорость потока на протяжении всех экспериментов поддерживалась равной 3 м/с, а угол установки модифицированной пластины относительно направления вектора скорости потока составлял 90° и 45° для различных экспериментов. На протяжении всех экспериментов температура смеси в кювете стабилизировалась на уровне 18°C с помощью управляемых элементов Пельтье, расположенных на дне кюветы блока термостабилизации. На рис. 4 показано расположение основных элементов рабочего участка в ходе эксперимента.



Рис. 4 – Схема расположение основных элементов рабочего участка

Fig. 4 – Layout of the main elements of the working area

На рис. 5 приведена характерная термограмма эксперимента по выявлению влияния испарения водно-этанолового раствора на температуру поверхности пластины. Порядок проведения эксперимента был следующим:

- 1) на первом этапе стабилизируется температура жидкости, температура трубного сухого воздуха понижается, сухая пластина омывается потоком воздуха и принимает его температуру;
- 2) на втором этапе нижний край пластины окунается в жидкость, капиллярно-пористая поверхность напитывается жидкостью, жидкость заполняет всю площадь модифицированного участка поверхности пластины. Пластина охлаждается до равновесной температуры между температурой жидкости и температурой

набегающего потока воздуха. Термодары имеют небольшой разброс в показаниях, из-за того что канавки на поверхности заполняются не одновременно;

3) на третьем этапе пластина поднимается над жидкостью и интенсивно охлаждается за счет испарения жидкости с модифицированной части поверхности. Температура пластины опускается ниже температуры жидкости в кювете. Далее интенсивность испарения снижается, а пластина высыхает и прогревается до температуры потока. Цикл смачивания и высушивания пластины повторяется. Во всех случаях пластина находилась на одинаковой высоте от резервуара.

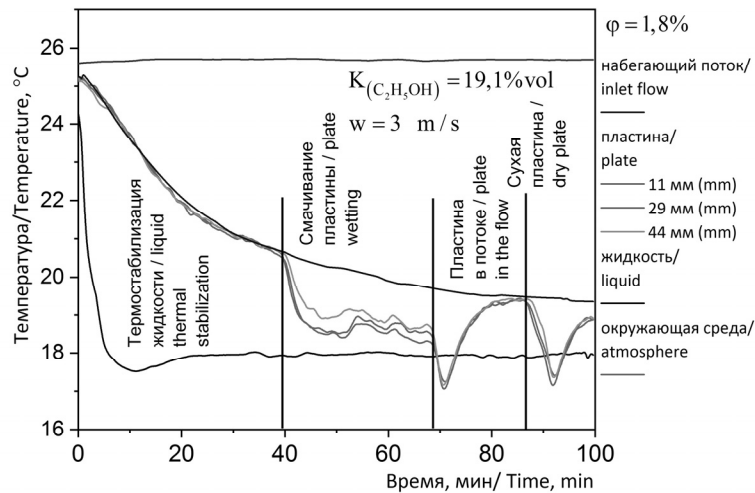


Рис. 5 – Характерная термограмма эксперимента по испарению водно-этаноловой смеси с модифицированной поверхности титановой пластины в поток сухого воздуха

Fig. 5 – Typical thermogram of the experiment on evaporation of water-ethanol mixture from the modified surface of a titanium plate into a flow of dry air

3. Анализ результатов

На рис. 6 представлена разность между средней температурой по поверхности пластины и температурой набегающего потока воздуха в зависимости от времени начиная с момента размещения пластины в потоке и до ее полного высыхания. По мере увеличения концентрации этанола глубина охлаждения пластины увеличивается. Анализ полученных результатов показал, что увеличение концентрации этанола в растворе с 0 до 57,3 %об приводит к улучшению эффективности охлаждения пластины примерно на 70 %.

На рис. 7 представлен цикл тепловизионных изображений, иллюстрирующих порядок проведения эксперимента с явно видимыми этапами испарения жидкости с поверхности пластины, для случая объемной концентрации этанола 57,3 %об.

На рис. 8 приведен цикл испарения смеси с объемной концентрацией этанола 38,2 %об с пластины, расположенной под углом 45° по отношению к оси потока в сравнении с данными, показанными на рис. 6, для аналогичной концентрации смеси. На врезке представлено тепловизионное изображение. Как следует из приведенных данных, уменьшение угла наклона пластины приводит к увеличению продолжительности цикла испарения и увеличению глубины охлаждения поверх-

ности пластины, что выражается в увеличении эффективности процесса охлаждения примерно на 30 %. Данный эффект связывается с уменьшением теплоподвода от конвективного потока воздуха с ростом толщины пограничного слоя.

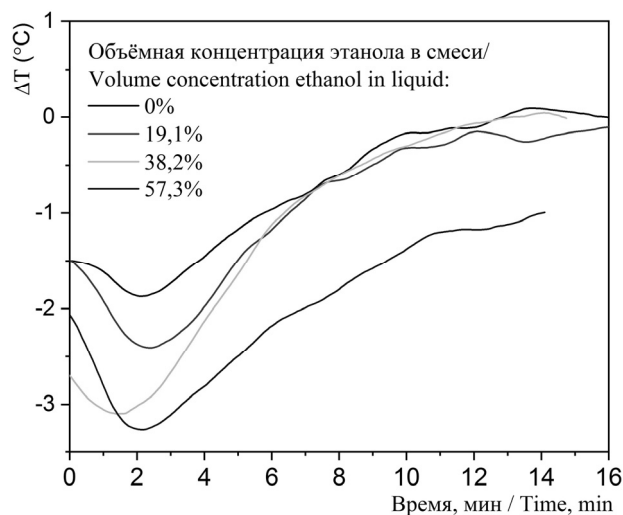


Рис. 6 – Циклы смачивания и высушивания пластины в потоке при различной объёмной концентрации этанола в растворе

Fig. 6 – Wetting and drying cycles of the plate in the stream at different volume concentration of ethanol in the solution

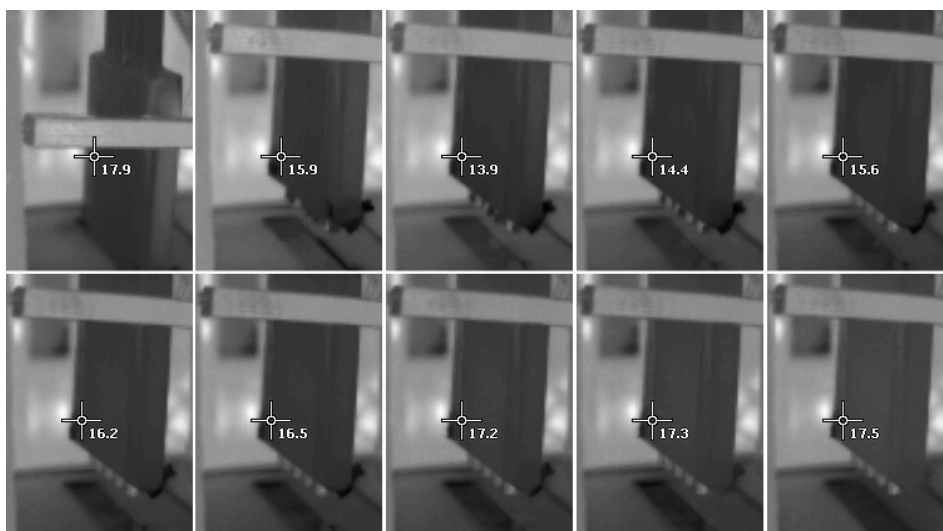


Рис. 7 – Тепловизионные изображения, иллюстрирующие цикл испарения смеси с концентрацией этанола 57,3 %об в поток сухого воздуха

Fig. 7 – Thermal images illustrating the evaporation cycle of a mixture with an ethanol concentration of 57,3 %vol into a stream of dry air

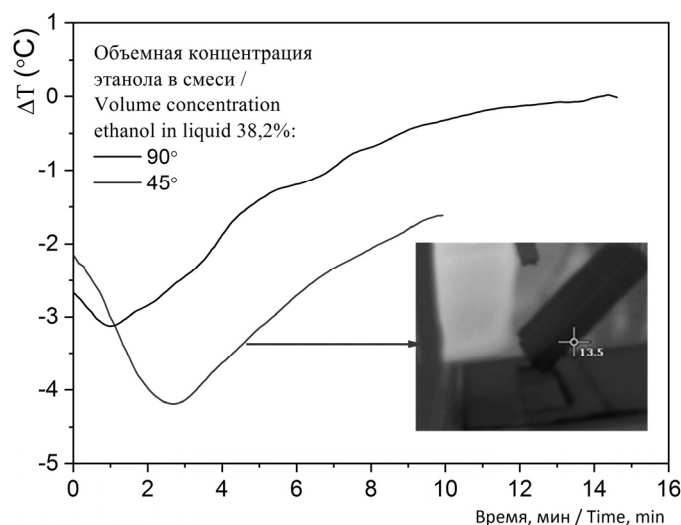


Рис. 8 – Циклы испарения рабочей жидкости с пластины в поток воздуха в зависимости от времени при различных углах наклона пластины относительно оси набегающего потока

Fig. 8 – Cycles of evaporation of working liquid from the plate into the air flow as a function of time at different angles of inclination of the plate relative to the axis of the incoming flow

Заключение

В ходе исследования процесса теплообмена с фазовым переходом на капиллярно-пористой поверхности титана путём проведения экспериментов по испарению водно-этаноловой смеси различной концентрации в условиях вынужденной конвекции было установлено, что увеличение объемной концентрации этанола в растворе с 0 %об до 57,3 %об приводит к увеличению эффективности испарительного охлаждения примерно на 70 %, а уменьшение угла наклона пластины относительно оси набегающего потока с 90° до 45° приводит к увеличению продолжительности процесса испарения и увеличению эффективности охлаждения поверхности пластины примерно на 30 %, что, вероятно, связано с уменьшением теплоподвода от конвективного потока воздуха с ростом толщины пограничного слоя. Полученные результаты применимы для дальнейшего исследования тепло-массообменных процессов, протекающих на супергидрофильных капиллярно-пористых поверхностях, для их применения в теплообменных аппаратах, работающих на испарительных циклах, и цикле Майсоценко.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Energy Outlook 2013. Report No. DOE/EIA-0484 (2013) / U.S. Energy Information Administration. – EIA, 2013. – 312 p.
2. **Tang J., Hu X.** Evaluation of capillary wetting performance of micro-nano hybrid structures for open microgrooves heat sink // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2020. – Vol. 112. – P. 109948. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109948.
3. **Vorobyev A.Y., Guo Ch.** Metal pumps liquid uphill // *Journal of Applied Physics*. – 2009. – Vol. 94. – P. 224102. – DOI: 10.1063/1.3117237.

4. **Vorobyev A.Y., Guo Ch.** Laser turns silicon superwicking // *Optics Express*. – 2010. – Vol. 18 (7). – P. 6455–6460. – DOI: 10.1364/OE.18.006455.
5. **Vorobyev A.Y., Guo Ch.** Water sprints uphill on glass // *Journal of Applied Physics*. – 2010, Vol. 108. – P. 123512. – DOI: 10.1063/1.3511431.
6. Characterization of capillary performance of composite wicks for two-phase heat transfer devices / D. Deng, Y. Tang, G. Huang, L. Lu, D. Yuan // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2013. – Vol. 56 (1–2). – P. 283–293. – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.09.002.
7. Investigation on meniscus shape and flow characteristics in open rectangular microgrooves heat sinks with micro-PIV / D. Yu, X. Hu, C. Guo, T. Wang, X. Xu, D. Tang, X. Nie, L. Hu, F. Gao, T. Zhao // *Applied Thermal Engineering*. – 2013. – Vol. 61 (2). – P. 716–727. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.08.042.
8. Theoretical and experimental analysis of the evaporating flow in rectangular microgrooves / C. Guo, D. Yu, T. Wang, Y. Jiang, D. Tang // *International Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2015. – Vol. 84. – P. 1113–1118. – DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.095.
9. Experimental investigation on flow characteristics in open rectangular microgrooves using micro-PIV / D. Yu, C. Guo, N. Xie, T. Wang, X. Hu, D. Tang // *Applied Thermal Engineering*. – 2016. – Vol. 106. – P. 906–915. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.05.188.
10. **Feng C., Yugeswaran S., Chandra S.** Capillary rise of liquids in thermally sprayed porous copper wicks // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2018. – Vol. 98. – P. 206–216. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2018.05.031.
11. Fabrication and capillary characterization of axially micro-grooved wicks for aluminium flat-plate heat pipes / H. Tang, Y. Tang, W. Yuan, R. Peng, L. Lu, Z. Wan // *Applied Thermal Engineering*. – 2018. – Vol. 129. – P. 907–915. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.091.
12. Capillary Nylon 6 polymer material produced by femtosecond laser processing / R. Fang, H. Zhu, Z. Li, W. Yan, X. Zhang, X. Zhu, V. Maisotsenko, A. Vorobyev // *Optics Express*. – 2019. – Vol. 27. – P. 36066–36074.
13. **Tang J., Hu X.** Evaluation of capillary wetting performance of micro-nano hybrid structures for open microgrooves heat sink // *Experimental Thermal and Fluid Science*. – 2020. – Vol. 112. – P. 109948. – DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109948.
14. Study on the characteristics of the capillary wetting and flow in open rectangular microgrooves heat sink / J. Tang, Y. Yu, X. Hu, X. Mo, W. Zhou, X. Dai, L. Shan, D. Yu // *Applied Thermal Engineering*. – 2018. – Vol. 143. – P. 90–99. – DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.07.041.
15. Temperature effect on capillary flow dynamics in 1d array of open nanotextured microchannels produced by femtosecond laser on silicon / R. Fang, H. Zhu, Z. Li, X. Zhu, X. Zhang, Z. Huang, K. Li, W. Yan, Y. Huang, V.S. Maisotsenko, A.Y. Vorobyev // *Nanomaterials (Basel)*. – 2020. – Vol. 10 (4). – P. 796. – DOI: 10.3390/nano10040796.
16. Spreading and drying dynamics of water drop on hot surface of superwicking Ti-6Al-4V alloy material fabricated by femtosecond laser / R. Fang, Z. Li, X. Zhang, X. Zhu, H. Zhang, J. Li, Z. Pan, Z. Huang, C. Yang, J. Zheng, W. Yan, Y. Huang, V.S. Maisotsenko, A.Y. Vorobyev // *Nanomaterials (Basel)*. – 2021. – Vol. 11 (4). – P. 899. – DOI: 10.3390/nano11040899.
17. **Makarov M.S., Makarova S.N., Syuzaev A.I.** The calculating model of microstructured flat plate wettability during evaporation into the stagnation flow // *Journal of Physics: Conference Series*. – 2020. – Vol. 1675. – P. 012044. – DOI: 10.1088/1742-6596/1675/1/012044.

STUDY OF THE EVAPORATION PROCESS OF AQUEOUS-ETHANOL SOLUTION ON A SUPERHYDROPHILIC CAPILLARY-POROUS SURFACE UNDER THE CONDITIONS OF FORCED CONVECTION

Gorbachev M.V.¹, Makarov M.S.^{1,2}, Syuzaev A.I.¹, Terekhov V.I.^{1,2}

¹*Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk, Russia*

²*Kutateladze Institute of Thermophysics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia*

In view of the continuous growth of global energy consumption, reduction of non-renewable energy sources, as well as increasing greenhouse gas emissions, it is necessary to introduce promising methods to increase the importance of rational use of energy resources in the industrial, domestic and scientific and technical fields, which will reduce the amount of energy to provide the same level of energy supply of buildings or technological processes in production. This paper considers superhydrophilic capillary-porous surfaces capable of providing heat exchange through phase transition, which is of fundamental importance in evaporative radiators for space applications, heat pipes, as well as in the operation of cooling towers for electricity and heat production in centralized heat supply systems. The study of the heat exchange process with phase transition on the capillary-porous surface was carried out by conducting experiments on evaporation of water-ethanol mixture of different concentration under conditions of forced convection at different orientation of the modified surface in space. The results obtained in this work allow us to judge about the effectiveness of capillary-porous structures in heat exchangers operating on evaporation cycles and the Maisotsenko cycle, and are also applicable to further study of heat and mass transfer processes occurring on superhydrophilic capillary-porous surfaces.

Keywords: capillary flow, open capillary microchannels, microgrooves, microstructures, forced convection, phase transition, heat exchange apparatus, Maisotsenko cycle.

DOI: 10.17212/1727-2769-2022-4-7-17

REFERENCES

1. U.S. Energy Information Administration. *International Energy Outlook 2013*. Report No. DOE/EIA-0484 (2013). EIA, 2013. 312 p.
2. Tang J., Hu X. Evaluation of capillary wetting performance of micro-nano hybrid structures for open microgrooves heat sink. *Experimental thermal and fluid science*, 2020, vol. 112, p. 109948. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109948.
3. Vorobyev A.Y., Guo Ch. Metal pumps liquid uphill. *Journal of Applied Physics*, 2009, vol. 94, p. 224102. DOI: 10.1063/1.3117237.
4. Vorobyev A.Y., Guo Ch. Laser turns silicon superwicking. *Optics Express*, 2010, vol. 18 (7), pp. 6455–6460. DOI: 10.1364/OE.18.006455.
5. Vorobyev A.Y., Guo Ch. Water sprints uphill on glass. *Journal of Applied Physics*, 2010, vol. 108, p. 123512. DOI: 10.1063/1.3511431.
6. Deng D., Tang Y., Huang G., Lu L., Yuan D. Characterization of capillary performance of composite wicks for two-phase heat transfer devices. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2013, vol. 56 (1–2), pp. 283–293. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2012.09.002.
7. Yu D., Hu X., Guo C., Wang T., Xu X., Tang D., Nie X., Hu L., Gao F., Zhao T. Investigation on meniscus shape and flow characteristics in open rectangular microgrooves heat sinks with micro-PIV. *Applied Thermal Engineering*, 2013, vol. 61 (2), pp. 716–727. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2013.08.042.
8. Guo C., Yu D., Wang T., Jiang Y., Tang D. Theoretical and experimental analysis of the evaporating flow in rectangular microgrooves. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 84, pp. 1113–1118. DOI: 10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.01.095.
9. Yu D., Guo C., Xie N., Wang T., Hu X., Tang D. Experimental investigation on flow characteristics in open rectangular microgrooves using micro-PIV. *Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 106, pp. 906–915. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2016.05.188.

10. Feng C., Yugeswaran S., Chandra S. Capillary rise of liquids in thermally sprayed porous copper wicks. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2018, vol. 98, pp. 206–216. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2018.05.031.
11. Tang H., Tang Y., Yuan W., Peng R., Lu L., Wan Z. Fabrication and capillary characterization of axially micro-grooved wicks for aluminium flat-plate heat pipes. *Applied Thermal Engineering*, 2018, vol. 129, pp. 907–915. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2017.10.091.
12. Fang R., Zhu H., Li Z., Yan W., Zhang X., Zhu X., Maisotsenko V., Vorobyev A. Capillary Nylon 6 polymer material produced by femtosecond laser processing. *Optics Express*, 2019, vol. 27, pp. 36066–36074.
13. Tang J., Hu X. Evaluation of capillary wetting performance of micro-nano hybrid structures for open microgrooves heat sink. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 2020, vol. 112, p. 109948. DOI: 10.1016/j.expthermflusci.2019.109948.
14. Tang J., Yu Y., Hu X., Mo X., Zhou W., Dai X., Shan L., Yu D. Study on the characteristics of the capillary wetting and flow in open rectangular microgrooves heat sink. *Applied Thermal Engineering*, 2018, vol. 143, pp. 90–99. DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2018.07.041.
15. Fang R., Zhu H., Li Z., Zhu X., Zhang X., Huang Z., Li K., Yan W., Huang Y., Maisotsenko V.S., Vorobyev A.Y. Temperature effect on capillary flow dynamics in 1d array of open nanotextured microchannels produced by femtosecond laser on silicon. *Nanomaterials (Basel)*, 2020, vol. 10 (4), p. 796. DOI: 10.3390/nano10040796.
16. Fang R., Li Z., Zhang X., Zhu X., Zhang H., Li J., Pan Z., Huang Z., Yang C., Zheng J., Yan W., Huang Y., Maisotsenko V.S., Vorobyev A.Y. Spreading and drying dynamics of water drop on hot surface of superwicking ti-6al-4v alloy material fabricated by femtosecond laser. *Nanomaterials (Basel)*, 2021, vol. 11 (4), p. 899. DOI: 10.3390/nano11040899.
17. Makarov M.S., Makarova S.N., Syuzaev A.I. The calculating model of microstructured flat plate wettability during evaporation into the stagnation flow. *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1675, p. 012044. DOI: 10.1088/1742-6596/1675/1/012044.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Горбачев Максим Викторович – родился в 1982 году, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой технической теплофизики Новосибирского государственного технического университета. Область научных интересов: тепломассообмен, испарительное охлаждение потоков воздуха, численное моделирование. Опубликовано более 80 научных работ. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: m.gorbachev@corp.nstu.ru).

Gorbachev Maksim Victorovich (b. 1982) – Candidate of Sciences (Eng.), senior researcher, head of Technical Thermal Physics Department. His research interests are currently focused on heat-mass transfer, evaporation cooling of air flow, numerical modeling. He is author of 80 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: m.gorbachev@corp.nstu.ru).

Макаров Максим Сергеевич – родился в 1979 году, канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник, лаборатория термохимической аэродинамики, ИТ СО РАН. Область научных интересов: тепломассообмен в пограничных слоях переменного состава. Опубликовано 144 научные работы. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. E-mail: msmakarov@itp.nsc.ru).

Makarov Maksim Sergeevich (b. 1979) – Candidate of Sciences (Phys.&Math.), senior researcher, laboratory of thermochemical aerodynamic, IT SB RAS. His research interests are currently focused on heat- and mass transfer into complex composition boundary layers. He is author of 144 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: msmakarov@itp.nsc.ru).

Сюзаев Алексей Игоревич – родился в 2000 году, студент, НГТУ (НЭТИ). Область научных интересов: капиллярные течения. Опубликовано одна научная работа. (Адрес: 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20. E-mail: alekseysyuzaev@mail.ru).

Syuzayev Aleksei Igorevich – student, NSTU (NETI). His research interests are currently focused on capillary flows. He is author of 1 scientific papers. (Address: 20, Karl Marx Av., Novosibirsk, 630073, Russia. E-mail: alekseysyuzaev@mail.ru).

Терехов Виктор Иванович – родился в 1944 году, д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории термогазодинамики, ИТ СО РАН. Область научных интересов: теория тепломассообмена, теплофизика, турбулентность, экспериментальные и численные методы. Опубликовано около 500 научных работ. (Адрес: 630090, Россия, Новосибирск, пр. ак. Лаврентьева, д. 1. E-mail: terekhov@itp.nsc.ru).

Terekhov Viktor Ivanovich (b. 1944) – Doctor of Sciences (Eng.), Professor, Chief Researcher, Thermogasodynamics Laboratory, IT SB RAS. His research interests are currently focused on heat- and mass transfer theory, thermal physics, turbulence, experimental and numerical modeling. He is author of 500 scientific papers. (Address: 1, Ac. Lavrentiev Av., Novosibirsk, 630090, Russia. E-mail: terekhov@itp.nsc.ru).

*Статья поступила 20 сентября 2022 г.
Received September 20, 2022*

To Reference:

Gorbachev M.V., Makarov M.S., Syuzayev A.I., Terekhov V.I. Issledovanie protsessa ispareniya vodno-etanolovogo rastvora na supergidrofil'noi kapillyarno-poristoi poverkhnosti v usloviyakh vynuzhdennoi konveksii [Study of the evaporation process of aqueous-ethanol solution on a superhydrophilic capillary-porous surface under the conditions of forced convection]. *Doklady Akademii nauk vysshei shkoly Rossiiskoi Federatsii = Proceedings of the Russian higher school Academy of sciences*, 2022, no. 4 (57), pp. 7–17. DOI: 10.17212/1727-2769-2022-4-7-17.