

5. K. Farahmand, J.W. Kaufman, Experimental Heat Transfer **14**, 107 (2001)
6. A.L. Brundage, A.B. Donaldson, W. Gill, S.P. Kearney, V.F. Nicolette, N. Yilmaz, Journal of Fire Sciences **29**, 213 (2011)
7. T.-W. Lee, Thermal and Flow Measurements (CRC Press, USA, 2008)
8. IEC 60584-1. International standard. Thermocouples. Part 1: Reference tables, 1995
9. J.W. Woolley, K.A. Woodbury, Heat Transfer Engineering **32**, 811 (2011)
10. F. Berntsson, Numerical Heat Transfer **61**, 754 (2012)
11. K.A. Woodbury, A. Gupta, Inverse Problems in Science Engineering **16**, 21 (2008)
12. IEC 60584-2. International standard. Thermocouples. Part 2: Tolerances, 1989
13. ГОСТ 6616-94. Термоэлектрические преобразователи: общие технические условия, 1995
14. A.A. Samarskii, The Theory of Difference Schemes (Marcel Dekker Inc., USA, 2001)
15. A. Belmiloudi, Heat Transfer. Mathematical Modelling, Numerical Methods and Information Technology (InTech, Vienna, 2011)
16. G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Int. J. Heat Mass Tran. **53**, 923 (2010)
17. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Russ. J. Phys. Chem. B **7**, 269 (2013)
18. D.O. Glushkov, G.V. Kuznetsov, P.A. Strizhak, Adv. Mech. Eng. **2014**, 764537 (2014)
19. Н.Б. Варгафтик, Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей (Старс, Москва, 2006)
20. P.A. Kinzie, Thermocouple Temperature Measurement (Wiley-Interscience Publ., New York, 1973)
21. R. Hultgren, Selected Values of the Thermodynamic Properties of Binary Alloys (Amer. Soc. Metals, Ohio, 1973)

УДК 662.62

ИСПАРЕНИЕ НЕПОДВИЖНОГО СЛОЯ СПИРТА В МИНИКАНАЛЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ПОТОКА ВОЗДУХА

Афанасьев И.А., Орлова Е.Г., Феоктистов Д.В.

Томский политехнический университет, Томск

E-mail: co0p@sibmail.com

В настоящее время усиливается интерес к капиллярной гидродинамике и тепломассообмену в микросистемах. Это связано с миниатюризацией устройств, развитием медицины, электроники, космической и энергетической промышленности [1].

Тонкий слой жидкости, увлекаемый потоком газа в мини- и микроканалах, является перспективным способом отвода значительных тепловых потоков поэтому может быть использован для охлаждения микроэлектронного оборудования [2,3,4]. Большая часть исследований направлена на изучение гидродинамики жидкости и газа в мини- и микроканалах. Тепло- массоперенос при течении двухфазных потоков изучен слабо [5-9]. Отсюда следует важность систематического

изучения тепло- и массообмена при течении двухфазного потока в мини- и микроканалах.

Цель работы: определение зависимости скорости испарения неподвижного слоя жидкости в микрканале под действием потока газа.

Экспериментальная установка состоит из следующих компонентов (рис.1-2):

1. Рабочий участок.
2. Газовый и жидкостной контур: газовый баллон, регулятор расхода, расходомер, перистальтический насос.
3. Система термостабильности: термостат, термоэлектрическая сборка.
4. Контрольно-измерительная система: ПК, регистратор данных, источники питания.
5. Шлирин система.

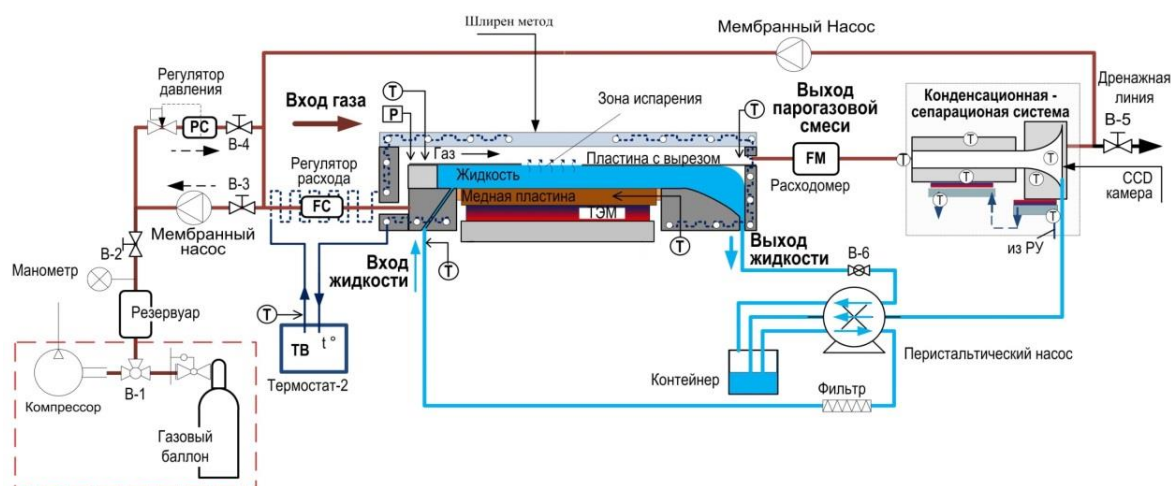


Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки

Последовательность действий при проведении эксперимента: газ из баллона поступает в рабочий участок. Массовый расход этого газа контролируется на входе в рабочий участок с помощью регулятора расхода. Для подачи жидкости в рабочий участок используется перистальтический насос. Также насос предназначен для поддержания постоянного уровня, испаряющегося слоя жидкости в рабочем участке. Далее парогазовая смесь выходит из рабочего участка и поступает в вентиляционную линию. Поток парогазовой смеси на выходе измеряется с помощью массового расходомера. Обводной канал для потока газа используется для синхронизации показаний регулятора расхода и расходомера. Давление газа в рабочем участке измеряется с помощью датчика давления. На входе и выходе рабочего участка измеряется температура газа и температура парогазовой смеси.

Температура рабочего участка контролируется с помощью воды, которая прокачивается через специальные каналы в рабочем участке с контролируемой температурой с помощью термостата. Температура жидкости в рабочем участке определяется температурой основания подложки. Температура этого основания контролируется с помощью элемента Пельтье.

Таким образом, разница между температурой жидкости и газа поддерживается не более 0.3°C .

Эскиз и конструктивные особенности рабочего участка представлены на рис. 3.

Рабочий участок (рис. 3) выполнен из двух соединенных между собой блоков из оргстекла, которые формируют прямоугольный газовый канал высотой 3 мм и шириной 40 мм, а также прямоугольную

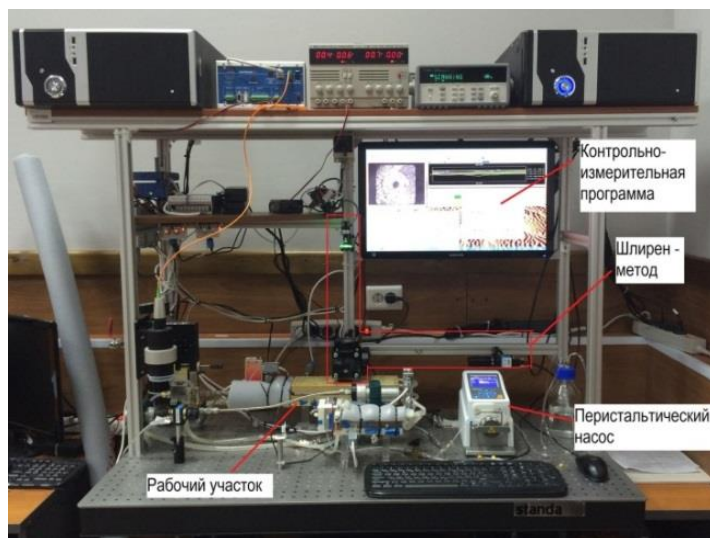


Рис. 2. Фотография экспериментальной установки

жидкостную камеру. Жидкостная камера представляет собой квадратный вырез (50x50 мм) с изменяемой высотой. Высота камеры изменяется с помощью вертикально передвигающегося основания подложки и варьируется от 1.5 до 8 мм. Для измерения давления в рабочем участке существует специальный канал. К

каналу подсоединяется датчик давления с помощью трубки и специального штуцера, врезанного в канал. По центру крышки рабочего участка над жидкостной кюветой с помощью специального устройства установлено прозрачное оптическое окно с диаметром 120мм.

Первый метод основан на определении среднего расхода жидкости, который необходимо подать в рабочий участок для того, что бы в процессе испарения, обеспечить постоянный объем в слое жидкости и плоскую границу раздела жидкости и газа. Средний расход жидкости задается с помощью перистальтического насоса и в объемных единицах измерения мл/мин.

Измерение расхода испарения с поверхности слоя жидкости, обдуваемого потоком газа, происходит с помощью двух методов:

Второй метод заключается в измерении разницы массового расхода чистого газа на входе в рабочий участок и массового расхода парогазовой смеси на выходе. Массовый расход чистого газа на входе в рабочий участок задается с помощью регулятора расхода. Массовый расход парогазовой смеси на выходе измеряется посредством расходомера.

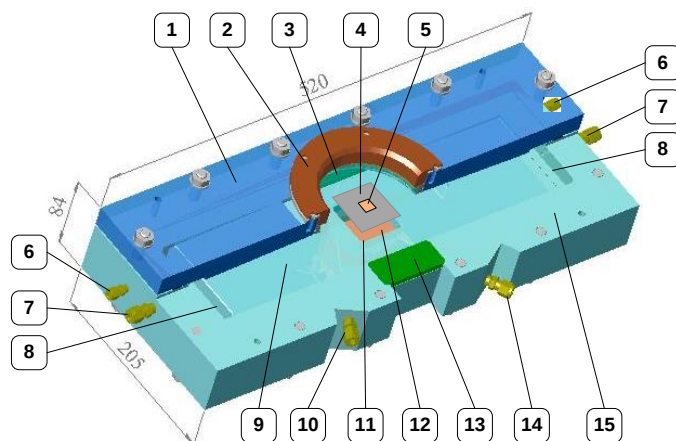


Рис. 3. Эскиз Рабочего участка. Состав: 1 – крышка, 2 – рамка для верхнего окна, 3 – оптическое окно, 4 – пластина из нержавеющей стали с вырезом и микроканавкой, 5 – вырез $10 \times 10 \text{ мм}^2$, 6 – штуцер для установки температурного датчика, 7 – штуцер для подсоединения газовой линии, 8 – распределительная газовая камера ($20 \times 20 \text{ мм}^2$), 9 – газовый канал ($280 \times 40 \times 3 \text{ мм}^3$), 10 – штуцер для подсоединения жидкостного контура, 11 – кювета для жидкости $50 \times 50 \text{ мм}^2$, 12 – движущиеся медное основание подложки, 13 – боковые окна (стеклянные вставки), 14 – штуцер для подключения водяного контура, 15 – основание рабочего участка ($520 \times 205 \times 84 \text{ мм}^3$).

Проводилась серия из трех экспериментов. В качестве рабочей жидкости использовался этанол ГОСТ Р 51723-2001, в качестве газа – воздух. Расход газа на входе в рабочий участок изменялся от 100 до 500 мл/мин. с шагом 100 мл/мин. Температура жидкости и газа поддерживалась постоянной 25°C . Слой жидкости толщиной 3 мм неподвижен, поверхность испарения 100 мм^2 . Для поддержания плоской межфазной границы фиксировался расход парогазовой смеси на выходе из рабочего участка и расход подкачиваемой насосом жидкости.

В ходе проведения серии экспериментов получены данные, по которым построена зависимость массовой скорости испарения от скорости газа (рис. 4).

По результатам анализа зависимостей (рис. 4) установлено, что изменение скорости воздуха оказывает влияние на скорость испарения спирта в миниканале размером $40 \times 3 \text{ мм}^2$.

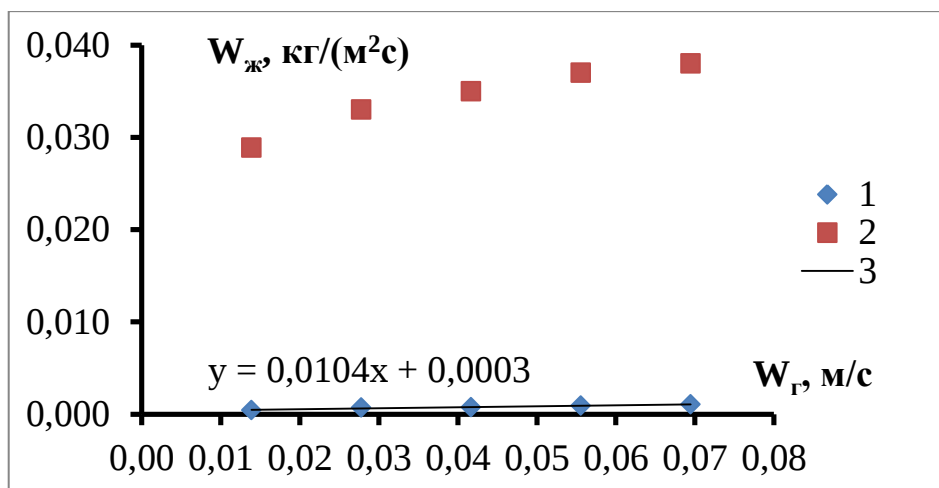


Рис. 4. Зависимость массовой скорости испарения от средней скорости потока газа для серии экспериментов:

- 1 – зависимость массовой скорости испарения спирта от скорости воздуха;
 2 – зависимость массовой скорости испарения HFE-7100 от скорости азота, полученная в [8]; 3 линия тренда.

В работе [8] подобные экспериментальные исследования проводились с использованием рабочего участка размерами 100x3 мм², но при других значениях температуры (20°С), а также другой жидкости (HFE-7100). В качестве газа использовался азот (99,8%). Установлена линейная зависимость массовой скорости испарения от скорости газа для спирта и логарифмическая для HFE-7100. Массовая скорость испарения – характеристика тепломассопереноса, определяет интенсивность испарения. В сравнении с результатами [8] установлено, что при увеличении скрытой теплоты парообразования рабочей жидкости, используемой в микрочанале для охлаждения поверхности в 8 раз, скорость испарения уменьшилась в 30 раз. Стоит отметить, что характер изменения скорости испарения спирта линейный, а при замене, как теплоотводящей жидкости, так и обдувающего спутного потока газа массовая скорость испарения изменяется по логарифмическому закону.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» (шифр федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

Список литературы:

1. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Двухфазные течения в трубах и капиллярных каналах// Теплофиз. высок. температур. 2006. Т. 44. №5. С.777.
2. Ребров Е.В. Режимы двухфазного течения в микроканалах// Теорет. основы хим. технологии. 2010. Т. 44. №4. С.371.

3. Кабов О.А., Кабова Ю.О., Кузнецов В.В. Испарение неизотермической пленки жидкости в микроканале при спутном потоке газа// Доклады академии наук. 2012. Т. 446. №5. С.522.
4. Kabov O.A., Chinnov E.A., Cheverda V.// Microgravity science and technology. 2007. V. 19. N 3/4. P. 44-47.
5. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Режимы двухфазного течения в плоском коротком микроканале// Письма в журнал технической физики. 2008. Т. 34. вып. 16. С. 41.
6. Чиннов Е.А., Гузанов В.В., Кабов О.А. Неустойчивость двухфазного течения в прямоугольном микроканале// Письма в журнал технической физики. 2009. Т. 35. вып. 14. С. 32.
7. Чиннов Е.А., Кабов О.А. Особенности двухфазного течения в прямоугольном микроканале// Письма в журнал технической физики. 2010. Т. 36. вып. 10. С. 52.
8. Люлин Ю.В., Кабов О.А. Измерение массовой скорости испарения в горизонтальном слое жидкости, частично открытом в движущийся газ// Письма в журнал технической физики. 2013. Т. 39. вып. 17. С. 88.
9. Кузнецов В.В., Андреев В.К. Движение жидкой пленки и газового потока в микроканале с испарением// Теплофизика и аэромеханика. 2013. Т. 20. №1. С. 17.

УДК 614

О ТЕМПЕРАТУРЕ ТЕЛА В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕПЛОВЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫСОКОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Бактыбаева Д.К., Юхнов В.Е., к.т.н.

Томский политехнический университет, г. Томск

dana_-8888@mail.ru

Актуальность исследований теплового излучения связана с опасными природными и техногенными процессами, например, пожарами, а также оценкой риска и предупреждением таких чрезвычайных ситуаций [1, 2]. Поэтому, получение достоверных экспериментальных данных при исследовании теплового воздействия источников открытого огня на окружающие объекты является важной практической задачей.

Целью настоящей работы является экспериментальное изучение влияния расстояния от источника с плотностью теплового излучения $130 \cdot 10^3$ Вт/м² на температуру исследуемого образца.

Задачами исследования является измерение температуры образца на различном расстоянии от источника теплового излучения, а так же определение аналитической зависимости температуры образца на различном расстоянии от источника теплового излучения.