

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ  
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ КОМИТЕТ РАН ПО ТЕПЛОМАСООБМЕНУ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ «МЭИ»  
ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ СО РАН ИМ. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ  
ИНСТИТУТ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ НИУ «МЭИ»



# МАТЕРИАЛЫ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОНФЕРЕНЦИИ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ

9 - 11 октября 2017 г.

## ТОМ 1



Москва  
Издательский дом МЭИ  
2017

К 536.2+621  
ББК 31.3  
М 341

**Материалы** Международной конференции «Современные  
М 341 проблемы теплофизики и энергетики» (Москва, 9—11 октября  
2017 г.) : в 2 т. Т. 1. — М.: Издательский дом МЭИ, 2017. — 417 с.

ISBN 978-5-383-01231-4

ISBN 978-5-383-01232-1 (Том 1)

Представлены аннотации докладов по вопросам кипения, испарения и конденсации двухфазных жидкостей; гидродинамики и теплообмена; методам и средствам измерений; массообмену химически реагирующих сред; интенсификации теплообмена; системам теплоснабжения и пр.

Тезисы печатаются в авторской редакции методом прямого репродуцирования с авторских оригиналов.

---

*Научное издание*

### **Материалы**

Международной конференции  
**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ  
ТЕПЛОФИЗИКИ И ЭНЕРГЕТИКИ**

Том 1

Корректор *Г.Ф. Раджабова*  
Верстка *М.Н. Маркиной*

---

Подписано к печати 20.09.2017    Формат 60×84/16    Усл. печ. л. 24,2

---

АО «Издательский дом МЭИ», 111024, Москва, ул. 2-я Кабельная, д. 2  
Отпечатано в АО «Т8 Издательские Технологии», Москва, Волгоградский пр-т, д. 42, корп. 5

**ISBN 978-5-383-01231-4**  
**ISBN 978-5-383-01232-1 (Том 1)**

© Авторы, 2017  
© АО «Издательский дом МЭИ», 2017

ной 0,39, нанесенных с шагом 3. Число Рейнольдса, определенное по среднemasсовой скорости и высоте канала, варьируется от 33 до 600. Задача решается в постановке с периодическими граничными условиями в секции длиной 3. Нижняя стенка с лунками нагревается до относительной температуры 1,034, а верхняя поддерживается при температуре, равной 1. Боковые стенки канала теплоизолированные. Обнаружен эффект постепенного нарастания теплоотдачи от нагретой стенки по мере увеличения  $Re$ . При  $Re = 600$  теплоотдача возрастает в 1,5 раза в сравнении с гладкой стенкой. При этом рост гидравлических потерь оказался меньше 10 % в сравнении с плоскопараллельным каналом. Интенсификация ламинарного теплообмена в узком канале с помощью эффективных вихрегенераторов овально-траншейных лунок помимо значительного увеличения скорости вторичного течения (примерно до 60 % среднemasсовой) сопровождается интересным гидродинамическим эффектом: формированием периферийного закрученного потока высокой интенсивности и разрежения с продольной скоростью, в 1,5 раза превышающей максимальную скорость в плоскопараллельном канале.

*Н.С. Душин<sup>1</sup>, Н.И. Михеев<sup>1</sup>, А.А. Паерелий<sup>1</sup>, И.М. Газизов<sup>2</sup>, Р.Р. Шакиров<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Казанский научный центр РАН, Россия

<sup>2</sup>Казанский национальный исследовательский технический университет  
имени А.Н. Туполева — КАИ, Россия

[ndushin@bk.ru](mailto:ndushin@bk.ru)

## **КИНЕМАТИКА ПУЛЬСИРУЮЩЕГО ПОТОКА НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ДИСКРЕТНО-ШЕРОХОВАТОГО КАНАЛА**

Современные методы интенсификации теплообмена часто основываются на разрушении и обновлении пограничного слоя. Одним из эффективных способов такого воздействия является использование дискретной шероховатости стенки в виде поперечных выступов. Для увеличения эффективности этого способа применяют дополнительные методы воздействия на поток. В частности, перспективными считаются пульсирующие режимы течения. В работе исследуется сочетание этих двух факторов. Рассмотрено турбулентное пульсирующее течение на начальном участке дискретно шероховатого канала. Число Рейнольдса, определенное по гидравлическому диаметру канала, составляло  $Re_D = 18\,200$ , относительная высота выступов  $e/h = 0,117$ , шаг выступов  $p/e = 10$ . Варьировались числа динамического подобия – относительная частота (число Струхалия) и относительная амплитуда вынужденных пульсаций скорости  $\beta$ . Диапазоны варьирования:  $Sh = 0,04—0,6$ ;  $\beta = 0,15—0,8$ . Число Струхалия рассчитывалось по средне-

расходной скорости потока и высоте выступа. На основе дымовой визуализации течения за третьим выступом дискретно-шероховатого канала показаны эффекты, вносимые периодическими пульсациями расхода в характер массообмена. Выявленные особенности течений позволили провести их качественную и количественную классификацию. Для выделенных в классификации режимов течений представлены профили осредненных по периоду пульсационных значений скорости в промежутке между 3 и 4 выступами. На высокочастотном режиме течения обнаружен эффект удвоения частоты пульсаций в пристеночной области по сравнению с частотой пульсаций на внешней границе пограничного слоя. Измерения выполнены методом SIV по результатам видеосъемки с частотой кадров, превышающей в 42 раза максимальную частоту вынужденных пульсаций потока.

*N.S. Dushin<sup>1</sup>, N.I. Mikheev<sup>1</sup>, A.A. Paereliy<sup>1</sup>, I.M. Gazizov<sup>2</sup>, R.R. Shakirov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Kazan Scientific Center RAS, Russia

<sup>2</sup>Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev — KAI, Russia  
[ndushin@bk.ru](mailto:ndushin@bk.ru)

## **KINEMATICS OF PULSATING FLOW IN THE ENTRY REGION OF THE CHANNEL WITH DISCRETE ROUGHNESS ELEMENTS**

Advanced techniques for heat transfer enhancement are often based on the boundary layer disruption and redevelopment. Discrete roughness elements in the form of spanwise ribs mounted on the wall are among the efficient ways to implement such effects. To further improve the efficiency of this method, the flow can be exposed to some additional forcing. Forced pulsations of flow are considered to be a promising technique. The paper studies the combined effect of discrete roughness elements and forced pulsations of flow on heat transfer. Turbulent pulsating flow in the entry region of the channel with discrete roughness elements has been considered. The Reynolds number based on the channel hydraulic diameter was  $Re_D = 18\,200$ , relative rib height  $e/h = 0,117$ , rib pitch  $p/e = 10$ . Dimensionless numbers of dynamic similarity (relative frequency (Strouhal number) and relative amplitude of forced velocity fluctuations,  $\beta$ ) have been varied. The following ranges of parameters have been studied:  $Sh = 0,04—0,6$ ;  $\beta = 0,15—0,8$ . The Strouhal number was calculated based on the mean flow velocity and the rib height. Smoke visualization of flow downstream of the third rib in the channel has revealed the effects introduced by forced periodic pulsations to mass transfer behavior. The obtained flow behavior allowed qualitative and quantitative classification of flow pattern. Profiles of period-averaged velocity fluctuations between the third and fourth ribs are demonstrated for the different patterns of submitted classification. In the case of high forcing frequency, the pulsation frequency has been shown to double in the near-wall region if compared with the forcing frequency at the boundary layer edge. SIV measurements have been per-

formed using videos with the frame rate of 42 times the maximum frequency of forced pulsations.

*Ю.Л. Леухин, Е.В. Панкратов, С.В. Карпов*

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова,  
г. Архангельск, Россия

[leukhin@atknnet.ru](mailto:leukhin@atknnet.ru); [iarphen@gmail.com](mailto:iarphen@gmail.com); [s.karpov@narfu.ru](mailto:s.karpov@narfu.ru)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ И ТЕПЛОТДАЧИ КОЛЬЦЕВОГО КАНАЛА С ВНУТРЕННЕЙ И ВНЕШНЕЙ ПОВЕРХНОСТЯМИ В ВИДЕ УСЕЧЕННОГО КОНУСА И ЗАКРУЧЕННЫМ ТЕЧЕНИЕМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ**

Выполнено исследование аэродинамики и конвективного теплообмена кольцевого канала, внешний или внутренний цилиндр которого выполнен в виде усеченного конуса, сужающегося к выходному торцу, и подключенного к циклонному генератору закрутки потока. Несимметричное и нестационарное истечение из генератора закрутки в виде периодического процесса приводит к формированию в нем вторичных течений типа вихрей Тейлора – Гертлера, занимающих все пространство кольцевого зазора, с осями, совпадающими с направлением движения основного потока. Уменьшение площади поперечного сечения канала (в обоих случаях на 52 %) вызывает значительное увеличение полной скорости потока в первую очередь из-за осевой ее составляющей и способствует более интенсивной генерации вихрей. Вихревые структуры оказывают значительное влияние как на средний коэффициент теплоотдачи, так и на его распределение по поверхностям. В поперечных сечениях кольцевого канала наблюдается подобие кривых, описывающих распределение полной скорости около стенки и плотности теплового потока на поверхности. Координаты максимальных и минимальных значений скорости и плотности теплового потока совпадают. В среднем поперечном сечении канала максимальное значение коэффициента теплоотдачи превышает минимальное примерно в 2,7 раза для внешней и в 1,7 для внутренней поверхности теплообмена. Конусность канала оказывает значительно большее влияние на теплоотдачу внутреннего цилиндра, чем внешнего и проявляется при меньших значениях безразмерной продольной координаты. Для исследованной в работе геометрии конического канала коэффициент теплоотдачи внутреннего цилиндра возрастает к выходному сечению и вблизи его превышает на 91—98 % значение по сравнению с прямым участком. Теплоотдача наружного цилиндра в этом же сечении увеличивается всего лишь на 5—11 %. Рост средних по поверхностям коэффициентов теплоотдачи составляет соответственно 49 и 4 %.