

ФАНО РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ  
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
**ИНСТИТУТ ТЕПЛОФИЗИКИ**  
**им. С.С. КУТАТЕЛАДЗЕ**  
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИТ СО РАН)  
проспект Академика Лаврентьева, 1  
г. Новосибирск, 630090  
Тел.: (383)330-70-50; 330-84-80; факс 330-84-80  
Эл. почта: aleks@itp.nsc.ru  
ИНН/КПП 5408100040/540801001  
ОКПО 03534009 ОГРН 1025403648786

От \_\_\_\_\_ № 15314 \_\_\_\_\_  
На \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Директор Федерального  
государственного бюджетного  
учреждения науки  
Института теплофизики им. С.С.  
Кутателадзе



июля 2015 г.

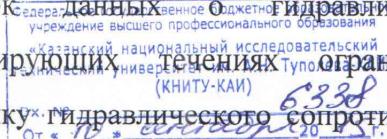
## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу **КОЛЧИНА Сергея Александровича** «Гидравлическое сопротивление дискретно-шероховатого канала при наложенных пульсациях потока», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальностям

01.02.05 – Механика жидкости, газа и плазмы,  
01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника

Диссертация С.А. Колчина направлена на изучение особенностей гидравлического сопротивления дискретно-шероховатого канала (ДШК) на пульсирующих режимах течения и интенсификации теплообмена таких каналов. До этого времени рассматривались в основном течения с наложенными пульсациями при обтекании одиночных препятствий на стенке.

Актуальность работы определяется применимостью рассмотренного течения для повышения энергетической эффективности теплообменных аппаратов и систем охлаждения и улучшения их теплогидравлических характеристик. Однако недостаток данных в гидравлическом сопротивлении ДШК при пульсирующих течениях ограничивал возможность их использования. Оценку гидравлического сопротивления



при подобных течениях осложняет, например, наличие стоячих волн, из-за чего существенно изменяется осредненный квадрат скорости потока по длине канала. Поэтому определение гидравлического сопротивления в ДШК является злободневной проблемой, позволяющей проводить грамотную оценку повышения теплогидравлической эффективности теплообменников на основе нестационарных эффектов в пульсирующих течениях.

Достоверность полученных опытных результатов обеспечивается использованием апробированных методов и аттестованных средств измерения параметров потока, оценкой погрешности измерений, оценочным сопоставлением результатов тестовых экспериментов с данными других авторов, удовлетворительным согласованием данных, полученных при различных параметрах потока, при их обобщении в безразмерном виде и с учетом чисел подобия.

Диссертация состоит из пяти глав. В первой главе дан взвешенный и хорошо обоснованный обзор имеющихся методов, характеризующих эффективность интенсификации теплообмена в каналах, и анализ влияния геометрических параметров дискретной шероховатости на структуру течения и гидравлическое сопротивление тракта теплоносителя. Указано, что перспективным способом повышения эффективности теплообменников и систем охлаждения с пристенной интенсификацией теплоотдачи является использование вынужденных колебаний потока. Отмечены установленные ранее эффекты: резкое сокращение (до двух раз) длины отрывной области за единичным препятствием по сравнению со стационарным течением, высокая чувствительность теплоотдачи в отрывной области к наложенным пульсациям потока. Показано, что средний коэффициент теплоотдачи в отрывной области может увеличиваться до 60 %, а в ближнем следе за препятствием – пятикратно по сравнению со стационарным режимом.

В остальных главах последовательно представлено описание экспериментальной базы, методов исследования и полученные экспериментальные данные.

Основу работы составляют экспериментальные исследования гидравлического сопротивления дискретно - шероховатого канала при наложенных пульсациях расхода. Для реализации этой части программы работ была изготовлена специальная установка, в которой пульсации потока с возможностью варьирования амплитуды создавались периодическим изменением проходного сечения расходного узла. Была предложена методика экспериментального определения гидравлического сопротивления ДШК, учитывающая волновую структуру колебаний потока в канале.

Для обеспечения нестационарных эффектов интенсификации теплообмена предложен модельный теплообменник со встроенным пульсатором. В аппарате пульсации расхода создаются за счет энергии самого потока. В трубчатом теплообменнике одна из труб выполнена дискретно-шероховатой, остальные четыре трубы были гладкими. Эта конструкция позволила провести сравнение данных по теплообмену гладкой и шероховатой труб. Геометрия шероховатости изменялась в широком диапазоне. В предложенном аппарате обеспечивалось постоянство относительной частоты  $Sh$  в широком диапазоне расходов  $Q$ , что важно для обеспечения наиболее энергоэффективных режимов работы. Для данного теплообменника подтверждена интенсификация теплообмена 20...25 %, что находится в хорошем соответствии с опытными данными работ Н.И. Михеева и И.А. Давлетшина.

Получены экспериментальные данные по гидравлическому сопротивлению ДШК при наложенной нестационарности потока в широком диапазоне чисел Рейнольдса, частот и амплитуд вынужденных колебаний расхода теплоносителя.

В результате обобщения экспериментальных данных установлено, что относительный коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi/\xi_{стаци}$  не

зависит от числа Рейнольдса. Предложена обобщающая зависимость экспериментальных данных по гидравлическому сопротивлению ДШК при наложенной нестационарности потока. Показано, что в окрестности безразмерной частоты  $Sh = 0,6$  происходит максимальный рост гидравлического сопротивления, связанный с перестройкой потока за выступами.

Научная новизна заключается в разработке методики проведения опытов, в полученных экспериментальных результатах и закономерностях изменения гидравлического сопротивления ДШК, справедливых в широком диапазоне чисел динамического подобия пульсирующих потоков. Определена область чисел динамического подобия числа Струхала  $Sh$  и относительной амплитуды пульсаций скорости  $\beta$ , в которой вынужденные колебания потока приводят к повышению теплогидравлической эффективности теплообменных аппаратов с ДШК по отношению к стационарному режиму в дискретно-шероховатом и гладком каналах.

Практическая ценность работы определяется точностью предсказания теплогидравлических характеристик теплообменников и систем охлаждения с ДШК на нестационарных режимах течения рабочего тела. Результаты работы позволяют увеличить эффективность теплообменного оборудования и систем охлаждения для энергетики, машиностроения, химической и пищевой промышленности с использованием нестационарных эффектов интенсификации теплообмена в ДШК, а также повысить качество прогнозирования работы различных аппаратов в аварийных ситуациях, связанных с возбуждением автоколебаний потока.

Цель работы, определившая научную новизну, по повышению достоверности прогнозирования теплогидравлических характеристик теплообменников и систем охлаждения с ДШК в условиях гидродинамической нестационарности потока выполнена. Определена область чисел динамического подобия, как относительная частота и относительная амплитуда пульсаций скорости, в которой вынужденные

колебания потока приводят к повышению совместной тепловой и динамической эффективности теплообменных аппаратов.

По диссертации имеется ряд замечаний.

1. Число Струхля, построенное при заданной высоте выступов по длине отрывной области в стационарных условиях, имеет чисто оценочную функцию. Поскольку пульсации потока уменьшают отрывную область, более физически обосновано брать для расчета длину отрывной области в нестационарных условиях. Причем в этом случае данный параметр может привести к каким-то обобщающим зависимостям.

2. В экспериментах по оценке теплоизоляции стенок с помощью изолона и в автореферате, и в диссертации следовало бы указать подробнее, как осуществлена теплоизоляция, с какой толщиной и с какой степенью защиты. Тем более что на внешних стенках находились термопары.

3. В тестовых экспериментах при стационарном течении в гладком канале (рис. 2.20 диссертации) совпадение эксперимента с расчетной зависимостью 2.24 составляет не 2 %, а не менее 6 %. Доверительный интервал экспериментальных точек при этом составляет 10-12 %.

4. Неясно, каким способом при оценке безразмерной амплитуды пульсаций потока  $\beta$  исключались высокочастотные турбулентные пульсации.

5. За счет расстояния между выступами изменялась шероховатость поверхности в ДШК. В работе рассмотрены две геометрии шероховатости ( $t/D=1$  и  $2/3$ ). Для периодической шероховатости недостаточно законов для песочной шероховатости, по которым в эмпирическом методе теплогидравлического расчета ДШК находятся функции  $B$  (по профилям скорости и перепаду давления в трубе) и  $G$  (по профилям температур). Особенно, если учесть, что изменяется длина отрывной области за каждым выступом при наложенной нестационарности потока. Это может вносить определенную ошибку в измерения. По этому вопросу требуются дополнительные исследования.

6. Для относительного коэффициента гидравлического сопротивления  $\xi/\xi_{стаци}$  как функции Sh по параметру  $\beta$  получена красавая обобщающая зависимость, имеющая принципиальный характер. С чем же связан разброс опытных точек на рис. 4.16 диссертации при  $Sh>1$ ? По крайней мере, не только из-за изменения  $\beta$  в пределах каждой опытной группы.

7. Регулярный режим охлаждения по своей простоте наиболее приемлемый для пульсирующих потоков. В регулярном режиме натуральный логарифм избыточной температуры связан со временем линейной зависимостью. Отсутствует тепловая инерционность.

Неясно, отражается ли на измерениях изменение во времени скорости потока и соответственно амплитуды пульсаций. (Для ДКШ темп охлаждения в разных сечениях различный, чего нет в гладком канале.)

8. Так как работа экспериментальная, в автореферате, а не только в диссертации, следовало бы дать хотя бы краткую оценку погрешностей полученных результатов.

9. Автореферат оформлялся с долей поспешности. Неправильно указан источник основной статьи, опубликованной в рецензируемом научном издании, рекомендуемом ВАК. Вместо журнала Труды Академэнерго. – 2012. – №3 нужно было указать: Известия Российской академии наук. Механика жидкости и газа. 2014. № 4. С. 31-34. Кроме того, в автореферате при обзоре литературы есть ссылка на Попова И.А. (согласно списку литературы в диссертации), но не на Попова В.В. На стр. 9 «Регулирование среднего расхода осуществлялось путем изменения разрежения на выходе из теплообменника», а не разряжения.

Отмеченные замечания не влияют на общую положительную оценку работы. В автореферате верно отражены основные положения диссертационной работы, которые полно представлены в научной литературе, включая рецензируемые. Работа докладывалась на большом числе научных семинаров, в том числе и в Институте теплофизики СО РАН.

Колчин Сергей Александрович получил новые оригинальные экспериментальные результаты по пульсирующим потокам.

Результаты работы будут полезны для организаций, занимающихся расчетом и проектированием теплообменного оборудования. Выводы работы открывают новые возможности повышения эффективности теплообменного оборудования и систем охлаждения для энергетики, машиностроения, химической и пищевой промышленности с использованием нестационарных эффектов интенсификации теплообмена в ДШК. Кроме того полученные результаты позволяют повысить точность прогнозирования работы различных аппаратов в аварийных ситуациях, связанных с возбуждением автоколебаний потока.

Выводы диссертации являются обоснованными и отражают основные результаты, полученные соискателем. В целом, по объему и научному уровню, актуальности и новизне полученных результатов, их научной и практической ценности диссертационная работа «Гидравлическое сопротивление дискретно-шероховатого канала при наложенных пульсациях потока» полностью соответствует требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней» Высшей аттестационной комиссии Российской Федерации. Как научно-квалификационная работа, диссертация содержит решение злободневной и важной задачи по прогнозированию теплогидравлических характеристик теплообменников и систем охлаждения с ДШК на нестационарных режимах течения рабочего тела.

Автор представленной диссертации **Колчин Сергей Александрович** заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальностям 01.02.05 – механика жидкости, газа и плазмы и 01.04.14 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

Отзыв обсужден на семинаре отдела термогазодинамики Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе 25 июня 2015 г., протокол № 94.

Заслуженный деятель науки РФ,  
заведующий отделом Института теплофизики  
доктор технических наук,  
профессор

Виктор Иванович Терехов

e-mail: [terekhov@itp.nsc.ru](mailto:terekhov@itp.nsc.ru)  
контактный телефон: (383)3306736



Ведущий научный сотрудник Института теплофизики,  
кандидат технических наук



Надежда Ивановна Ярыгина

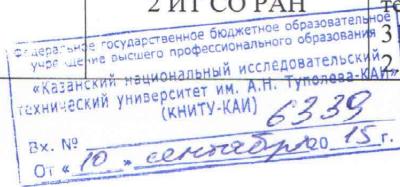
e-mail: [yarygina@itp.nsc.ru](mailto:yarygina@itp.nsc.ru)  
контактный телефон: (383)3165336

ФАНО России, Федеральное государственное бюджетное учреждение  
науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского  
отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)  
Проспект Академика Лаврентьева, 1, г. Новосибирск, 630090.  
Тел.: (383)3307050; (383)3308480; e-mail: aleks@itp.nsc.ru.

## СВЕДЕНИЯ О ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

по диссертационной работе Колчина Сергея Александровича на тему:  
 «Гидравлическое сопротивление дискретно-шероховатого канала при  
 наложенных пульсациях потока» на соискание ученой степени кандидата  
 технических наук по специальности 01.02.05 – «Механика жидкости, газа и  
 плазмы» и 01.04.14 – «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

	Полное наименование организации, почтовый адрес (индекс, город, улица, дом), телефон, адрес электронной почты	Фамилия, Имя, Отчество, ученая степень, ученое звание авторов отзыва, должность с указанием структурного подразделения	Список основных публикаций работников (авторов отзыва) ведущей организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (но не более 15 публикаций)
№	1	2	3
1	<b>ФАНО России</b> <b>Федеральное государственное бюджетное учреждение науки</b> <b>Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе</b> Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН) 630090, г. Новосибирск, проспект Академика Лаврентьева, 1 Тел.: (383)330-70-50; (383)330-84-80; факс: (383) 330-84-80 Эл. почта: aleks@itp.nsc.ru		
2		Терехов Виктор Иванович доктор технических наук, профессор, заведующий отделом термогазодинамики № 2 ИТ СО РАН	1. Терехов В.И., Калинина С.В., Шаров К.А. Особенности течения и теплообмена при взаимодействии струи с преградой в форме сферической каверны со скругленной кромкой // Теплофизика высоких температур. - 2012. - Т. 50, № 2. - С. 318 2. Терехов В.И., Экаид А.Л.



			<p>Турбулентная свободная конвекция между вертикальными изотермическими пластинами с несимметричным нагревом // Теплофизика и аэромеханика. – 2013 – № 2. – С. 153-164.</p> <p>3. Volchkov E.P., Lukashov V.V., Terekhov V.V., Hanjalic K. Characterization of the flame blow-off conditions in a laminar boundary layer with hydrogen injection // Combustion and flame. – 2013. –V. 160. – P. 1999–2008.</p> <p>4. А. Д. Назаров, А. Ф. Серов, В. И. Терехов Влияние спутного газового потока в импульсном аэрозоле на процесс испарительного охлаждения // ТВТ – 2014. - Т. 52, № 4. - С. 1–4.</p> <p>5. V.I. Terekhov, M.A. Pakhomov Flow and Heat and Mass Transfer in Laminar and Turbulent Mist Gas -Droplets Stream over a Flat Plate // Springer: Cham, Heidelberg, New York , Dordrecht, London. - 2014. - 64 р.</p> <p>6. Леманов В.В., Терехов В.И., Шаров К.А., Шумейко А.А. Экспериментальное исследование затопленных струй при низких числах Рейнольдса // Письма в ЖТФ - 2013. - Т. 39, № 9. - С. 34-41.</p> <p>7. Shishkin N.E., Terekhov V.I. Laws of Jet Mixing of the Swirled Flows in a Pipe // Journal of Energy and Power Engineering. – 2013. – N 7. – P. 1223 – 1230.</p> <p>8. Pakhomov M.A., Terekhov V.I. // Second moment closure modelling of flow, turbulence and heat transfer in droplet-laden mist flow in a vertical pipe with sudden expansion. Int. J. Heat Mass Transfer. – 2013. – Vol. 66. – P. 210–222.</p>
3		<p>Ярыгина Надежда Ивановна кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник лаборатории термогазодинамики №</p>	<p>1. D'yachenko A.Yu., Terekhov V.I., Yarygina N.I. Flow visualization and pressure distribution on the walls of transverse cavity at a change in tilt angle of the front and back walls // Visualization of Mechanical Processes: An International Online Journal. - 2012.-V.2, i1.20. 8 p.</p> <p>2. Smulsky Y. I., Terekhov V. I., Yarygina N. I. Heat transfer in turbulent</p>

	2.2 ИТ СО РАН	<p>separated flow behind a rib on the surface of square channel at different orientation angles relative to flow direction//International Journal of Heat and Mass Transfer. 2012. N 55. P. 726-733.</p> <p>3. Терехов В.И., Ярыгина Н.И. Методы интенсификации теплоотдачи в отрывных потоках // Тепловые процессы в технике. - 2012. - №1. - С. 18-28.</p> <p>4. Дьяченко А.Ю., Терехов В.И., Ярыгина Н.И. Экспериментальное изучение влияния вихревой пелены от малого препятствия на отрывное течение в каверне // Теплофизика и аэромеханика. - 2013. - Т. 20, № 6. - С. 723-730.</p> <p>5. Дьяченко А.Ю., Терехов В.И., Ярыгина Н.И. Коэффициенты давления и теплоотдачи в каверне при наличии преграды на ее нижней кромке // Известия ВУЗов. Физика. - 2013 - Т. 56, № 6/3. – С. 122-124. 5. 6.</p> <p>6. Дьяченко А.Ю., Терехов В.И., Ярыгина Н.И. Процессы теплопереноса в поперечной каверне при двух модификациях внешней турбулентности // Ползуновский вестник. - 2013. - № 3/2. - С. 21-23.</p> <p>7. D'yachenko A.Yu., Terekhov V.I., Smulsky Ya.I., Yarygina N.I. Dynamic and thermal characteristics of the mixing of two separated flows with different scales // Proc. 15th Int. Heat Transfer Conference, IHTC-15. August 10-15. - 2014. - Kyoto, Japan.- Paper IHTC-15-8762. - ICHMT Digital Library - 12 p.</p> <p>8. А.Ю. Дьяченко, Я.И. Смульский, В.И. Терехов, Н.И. Ярыгина Тurbulentное перемешивание возмущений от малой преграды с отрывным сдвиговым слоем за уступом // Теплофизика и аэромеханика. - 2015. - Т. 22, № 12.</p>
--	---------------	--

Директор Института  
теплофизики СО РАН,  
член корреспондент РАН



С.В. Алексеенко