

УТВЕРЖДАЮ
Директор ИТ СО РАН
Д.М. Маркович

19 » ноября 2018 г.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

**Федерального государственного бюджетного учреждения науки
Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе
Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН)**

Диссертация на соискание степени доктора технических наук «Тепло – и массообмен при течении двухфазных потоков на поверхностях и в каналах сложной формы» выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук (ИТ СО РАН).

В период подготовки диссертации с 1987 по 2018 год соискатель Печеркин Николай Иванович работал в Лаборатории низкотемпературной теплофизики в должности старшего научного сотрудника.

В 1971 Печеркин Николай Иванович окончил Томский политехнический институт, в 1976 году окончил аспирантуру Института теплофизики СО АН СССР. С 1976 г. работает в Институте теплофизики в должности младшего научного сотрудника, научного сотрудника, старшего научного сотрудника. В 1987 г. защитил диссертацию на соискание степени кандидата технических наук по специальности 05.14.05 – Теоретические основы теплотехники.

По итогам обсуждения принято следующее заключение:

Актуальность темы

В работе проведено экспериментальное исследование процессов тепло- и массопереноса в различных условиях течения двухфазных газо-и парожидкостных потоков в каналах с различной формой и структурой поверхности, охватывающих диапазон размеров, характерных для тепломассообменного оборудования в энергетике, криогенной и низкотемпературной технике, химической технологии. К ним относятся каналы с внезапным расширением и поворотом потока, щелевые каналы компактных теплообменников, многоячеистые каналы регулярных насадок ректификационных колонн, а также структурированные поверхности, применяемые для интенсификации процессов тепломассопереноса в стекающих пленках различных жидкостей.

Течение двухфазного потока с различным паросодержанием в каналах, изменяющих направление движения и величину поперечного сечения, встречается во многих элементах энергетического оборудования – трубопроводах, теплообменниках, запорной и регуливающей арматуре. Анализ условий, в которых

находятся отдельные элементы оборудования, показывает, что наиболее характерными и опасными являются ударное воздействие капель, кавитационная эрозия, химическая и электрохимическая коррозия. Обеспечение безопасной и надежной работы теплообменного оборудования, запорной арматуры, трубопроводов, работающих в напряженных условиях, определяет актуальность и необходимость изучения процессов тепломассопереноса в каналах сложной формы при течении двухфазных потоков.

Прямоугольные мини-каналы являются элементами компактных пластинчатых теплообменников, которые широко используются для обеспечения требуемых тепловых режимов оборудования в энергетике, микроэлектронике, криогенике, авиационной и космической технике, химической технологии и многих других приложениях. Режимы течения двухфазного потока в теплообменниках, предназначенных, например, для ожижения природного газа, характеризуются широким изменением паросодержания по длине канала, практически от 0 до 1. Моделирование течения таких сред с помощью криогенных жидкостей позволяет получить максимально близкие закономерности течения и теплообмена, необходимые при проектировании теплообменников для ожижения природного газа и криогенных дистилляционных колонн.

В процессах абсорбции, дистилляции, выпаривания основными рабочими жидкостями являются растворы и смеси различных веществ, а пленочное течение является основным режимом течения жидкости. Вследствие малого термического сопротивления и большой межфазной поверхности стекающие пленки оказываются эффективными в процессах межфазного тепломассообмена, где не требуются большие температурные напоры и перепады давления. Для интенсификации теплообмена в стекающих пленках как в режиме испарения, так и пузырькового кипения, в промышленности используют так называемые развитые поверхности (различные типы оребрения, шипы, нанесение пористых покрытий, установку сеток с характерными размерами, сравнимыми с толщинами пленок и длинами волн).

Исследование теплообмена в стекающих пленках чистых веществ и их смесей, поиск наиболее эффективных структурированных поверхностей, способствующих повышению коэффициентов теплоотдачи и предельных тепловых потоков для обеспечения устойчивой работы тепломассообменных аппаратов, является актуальной теплофизической задачей.

Дистилляция и ректификация являются чрезвычайно энергоемкими процессами, поэтому эффективность разделения – один из главных параметров, определяющих эксплуатационные расходы, капитальные затраты и габариты данного оборудования. Противоточное течение пара и жидкости в сложных канальных системах структурированных насадок дистилляционной колонны является основным режимом для обеспечения переноса веществ на границе раздела, поэтому исследование процесса массопереноса и эффективности разделения является актуальной задачей. Основными конструктивными

параметрами, определяющими закономерности массопереноса в разделительных колоннах, являются характерные размеры и формы каналов насадок и структуры их поверхности, а также и размеры и форма пакетов насадок. Данные, полученные на лабораторных установках, как правило, не воспроизводятся в промышленных установках. Поэтому принципиально важным для решения этих задач является проведение исследований гидродинамики и тепломассообмена при противоточном течении пара и жидкости на крупномасштабных установках.

Исследование явлений переноса на межфазной границе, увеличение производительности колонн и эффективности разделения, разработка более эффективного оборудования для процессов разделения, повышение экономичности разделительных установок являются актуальными задачами, как для академических исследований, так и передовых исследовательских групп, связанных с ведущими производителями дистилляционных разделительных установок.

Цель работы

Экспериментальное исследование процессов тепло- и массопереноса в различных условиях течения двухфазных газо-и парожидкостных потоков в каналах с различной формой и структурой поверхности, охватывающих диапазон размеров, характерных для тепломассообменного оборудования в энергетике, криогенной и низкотемпературной технике, химической технологии.

Поставлены и решены следующие задачи:

- Экспериментальное исследование влияния газосодержания и других режимных параметров двухфазного потока на распределение локальных коэффициентов массоотдачи на внутренней поверхности канала с поворотом потока и канала с внезапным расширением с целью определения положения зон на внутренней поверхности каналов, наиболее подверженных воздействию двухфазного потока; определение степени интенсификации массообмена в каналах сложной геометрии в сравнении с прямыми трубами.
- Исследование влияния расходных характеристик стекающей пленки жидкого азота и спутного потока пара на распределение жидкости по периметру прямоугольного миниканала; измерение толщины пленки на широкой и на узкой стенках канала, визуализация течения.
- Экспериментальное исследование влияния различных типов структурированных поверхностей, включая сетчатые покрытия и микроструктурированные поверхности с полужамкнутыми порами, на режимы течения, интенсификацию теплообмена, кризис теплоотдачи в стекающих пленках смесей хладонов по вертикальным цилиндрам.
- Экспериментальное исследование закономерностей массопереноса на границе раздела фаз при противоточном течении пара и жидкости в каналах структурированных насадок в режиме разделения бинарной смеси в

дистилляционной колонне. Исследование влияния характеристик структурированных насадок и различных способов их установки в дистилляционные колонны с различной формой поперечного сечения (круглой, полуцилиндрической, квадратной) на гидравлическое сопротивление и эффективность разделения бинарной смеси в широком диапазоне изменения нагрузки колонны по паровой и жидкой фазам.

Научная новизна

- Получены новые опытные данные по распределению локальных коэффициентов массоотдачи на внутренней поверхности канала с поворотом потока и канала с внезапным расширением в пузырьковом, снарядном и вспененном режимах течения двухфазного потока. В канале с поворотом потока локальный максимум массоотдачи находится в зоне отрыва потока на внутренней образующей, а абсолютный максимум находится на выходе из канала на средней и на внешней образующих.

В канале с внезапным расширением проведена визуализация течения двухфазного потока. Исследовано влияние расходных характеристик газовой и жидкой фаз на переход от пузырькового режима к струйному течению за сечением расширения, получена эмпирическая зависимость для условий перехода. Зона максимума коэффициентов массоотдачи находится в области присоединения потока на расстоянии двух-трех диаметров от сечения расширения. Получены эмпирические зависимости для максимальных коэффициентов массообмена на внутренней поверхности исследуемых каналов при течении однофазного и двухфазного потоков.

- Получены новые экспериментальные данные по характеристикам волнового пленочного течения жидкого азота при спутном течении пара в узком прямоугольном миниканале. Впервые получены профили распределения толщины пленки жидкого азота по периметру канала при различных режимных параметрах.
- Получены новые опытные данные по теплообмену, волновым характеристикам, по кризису теплоотдачи в стекающих пленках смесей хладонов на структурированных поверхностях различных типов, включая поверхности с сетчатым покрытием и поверхность с микроструктурой. Исследовано влияние характеристик сетчатых покрытий на интенсификацию теплообмена в стекающей пленке смеси фреонов. Показаны области режимных параметров для исследованных структур, в которых имеет место интенсификация теплообмена по сравнению с гладкой поверхностью.

Впервые получены опытные данные по теплоотдаче и критическому тепловому потоку в стекающей пленке смеси хладонов на микроструктурированной поверхности с подповерхностными полостями, полученной методом деформирующего резания.

- Получены новые экспериментальные данные по влиянию режимных параметров, характеристик и способов установки структурированной насадки, условий её орошения на гидравлическое сопротивление и эффективность разделения бинарной смеси в дистилляционной колонне. При увеличении высоты упаковки структурированной насадки происходит увеличение высоты единицы переноса и высоты, эквивалентной теоретической тарелке. Обнаружено, что с увеличением отношения расходов жидкости и пара происходит уменьшение указанных величин в диапазоне изменения нагрузки колонны вплоть до начала развития кризиса массоотдачи. Уменьшение угла вращения слоёв насадки при неравномерном орошении приводит к значительному ухудшению разделения смеси.

Относительный перепад давления практически не зависит от высоты насадки, угла вращения слоев и условий орошения насадки в исследованном диапазоне изменения расходов пара и жидкости.

Впервые получены опытные данные по эффективности разделения смеси и перепаду давления на структурированных насадках с различными углами наклона ребер в колоннах с квадратной и полуцилиндрической формами поперечного сечения. Для насадки с низким гидравлическим сопротивлением (угол наклона ребер 60°) эффективность разделения в квадратной и круглой колоннах одинакова. Выявлены области режимных параметров и характеристики насадки, при которых эффективность разделения зависит от формы поперечного сечения колонны.

Основные закономерности по влиянию отношения расходов жидкости и пара, высоты насадки, других параметров на эффективность разделения и перепад давления, полученные для круглых колонн, действительны и для нецилиндрических колонн.

Научная и практическая ценность

В результате проведенного исследования определены основные закономерности тепло- и массопереноса в различных условиях течения двухфазных газо-и парожидкостных потоков в каналах с различной формой и структурой поверхности, охватывающих диапазон размеров, характерных для теплообменного оборудования в энергетике, криогенной и низкотемпературной технике, химической технологии.

Результаты исследования влияния газосодержания на интенсивность массопереноса на стенке криволинейного канала и канала с внезапным расширением, а также зависимости для максимальных коэффициентов массоотдачи на стенках каналов сложной формы, полученные в данной работе, могут быть использованы при разработке конструкций новых теплообменных аппаратов с двухфазными потоками, а также для теоретического описания процесса коррозионно-эрозионного износа каналов в системах циркуляции теплоносителя в энергетическом и химическом оборудовании.

Данные по режимам течения пленки жидкого азота и спутного потока пара в прямоугольном миниканале, полученные в данной работе, важны для выбора методик расчета теплообмена в каналах компактных теплообменников, могут быть использованы при проектировании установок для ожижения природного газа, дистилляционных установок, тепловых насосов и холодильных машин.

Полученные результаты по интенсификации теплообмена при пленочном течении маловязких жидкостей и их смесей на структурированных поверхностях различных типов имеют важное значение при анализе и выборе оптимальных режимов работы тепломассообменных аппаратов с подобными рабочими средами. Эти результаты могут быть использованы при разработке и внедрении в промышленное производство структурированных труб и других поверхностей, предназначенных для интенсификации тепломассообмена при пленочных течениях жидкости. Результаты исследований по гидродинамике будут полезны при моделировании и расчете процессов, связанных с течением жидкости на структурированных поверхностях: в насадках дистилляционных колонн, в выпарных аппаратах, в теплообменниках и других технических приложениях, использующих пленочные течения жидкости.

Результаты по эффективности разделения, перепаду давления, распределения локальных расходов жидкости, состава смеси на структурированных насадках различной формы, полученные в данной работе, важны для проектирования современных раздельных колонн и для обоснованного выбора типов насадок и режимов работы отдельных секций колонн с учетом реальных условий по расходам жидкости и пара, высоте колонны и других параметров.

Достоверность результатов работы

Достоверность полученных данных подтверждается оценкой погрешностей экспериментов, калибровкой измерительных датчиков, применением аттестованных средств измерения и измерительных приборов, сравнением с результатами других исследователей и с известными расчетными зависимостями, оценками тепловых и материальных балансов тепломассообменного оборудования, используемого в экспериментах, воспроизводимостью экспериментальных данных.

Положения, выносимые на защиту:

- Результаты экспериментального исследования влияния газосодержания на распределение локальных коэффициентов массоотдачи на внутренней поверхности канала с поворотом потока и канала с внезапным расширением и положение зон с максимальными коэффициентами массоотдачи. Результаты обобщения данных и эмпирические зависимости для максимальных коэффициентов массоотдачи в каналах сложной формы. Результаты по условиям перехода от пузырькового режима течения к струйному режиму в канале с внезапным расширением.

- Результаты экспериментального исследования характеристик волнового пленочного течения жидкого азота при спутном течении пара в узком прямоугольном миниканале. Результаты визуализации и измерения распределения толщины пленки жидкого азота по периметру прямоугольного миниканала при различных расходах жидкости и пара.
- Результаты исследования влияния параметров различных структур обогреваемой поверхности, включая поверхности с сетчатыми покрытиями и поверхность с микроструктурой, на интенсификацию теплообмена в стекающей пленке смесей хладонов (результаты измерения критических тепловых потоков, измерения и обобщения данных по коэффициентам теплоотдачи в режиме испарения и пузырькового кипения).
- Результаты экспериментального исследования и обработки данных по влиянию режимных параметров и способов установки структурированной насадки в разделительную колонну на эффективность разделения и гидравлическое сопротивление: опытные данные по влиянию отношения расходов жидкости и пара, высоты насадки, угла вращения слоёв, удельной поверхности на перепад давления, высоту единицы переноса и высоту, эквивалентную теоретической тарелке.

Результаты экспериментального исследования влияния формы поперечного сечения дистилляционной колонны на эффективность разделения бинарной смеси на структурированной насадке с различными углами наклона ребер: опытные данные по эффективности разделения смеси и перепаду давления на структурированной насадке в круглой, квадратной и полуцилиндрической колоннах. Обобщение данных и сравнение результатов проведенных экспериментов с расчетными моделями.

Личный вклад автора

Постановка задач исследований проводилась автором как лично, так и совместно с член-корр. РАН Павленко А.Н., к.т.н. Чеховичем. Автор в составе научного коллектива участвовал в создании всех экспериментальных установок, разработке методик измерения, проведении экспериментов. Непосредственно руководил разработкой и созданием двух экспериментальных установок и соответствующих методик измерений (установка по исследованию массообмена в каналах с поворотом потока и внезапным расширением и установка по исследованию теплообмена в стекающих пленках). Основные научные результаты и выводы, включенные в диссертацию и выносимые на защиту, получены соискателем лично. Обработка и анализ данных, представленных в диссертации, проведены автором лично. Автор подготовил к публикации совместно с соавторами полученные результаты исследований, вклад диссертанта был определяющим.

Основные публикации автора по материалам диссертации

По теме диссертации опубликовано 76 научных работ, в том числе 25 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 патент, 1 монография.

1. Pavlenko A.N., Pecherkin N.I., Zhukov V.E., Nazarov A.D., Meski G., Houghton P. Separation efficiency of mixtures by distillation using structured noncircular packings // Chemical Engineering and Processing - Process Intensification. 2018. Vol. 133. P. 211-220. (из перечня ВАК)
2. Pecherkin N.I., Pavlenko A.N., Zhukov V.E., Nazarov A.D., Meski G., Houghton P. Mixture separation in distillation column with semi-cylindrical structured packing // Journal of Physics: Conference Series. 2018. Vol. 1105 P. 012064 (из перечня ВАК)
3. Volodin O.A., Pecherkin N.I., Pavlenko A.N., Zubkov N.I. and Bityutskaya Yu.L. Heat transfer at boiling of R114/R21 refrigerants mixture film on microstructured surfaces // Journal of Physics: Conf. Series. 2017. Vol. 891. P. 012035. (из перечня ВАК)
4. Pavlenko A., Zhukov V., Pecherkin N., Nazarov A., Li X., Liu M., Sui H., Li H. Effect of the structured packing height on efficiency of freons mixture separation in a large-scale model of distillation column // MATEC Web of Conf. 2017. Vol. 115 P. 08003. (из перечня ВАК)
5. N. Pecherkin, A. Pavlenko, O. Volodin Heat transfer and crisis phenomena at the film flows of freon mixture over vertical structured surfaces // Heat Transfer Engineering. 2016. Vol. 37(3-4). P. 257-268. (из перечня ВАК)
6. A.N. Pavlenko, J. Zeng, N.I. Pecherkin, V.E. Zhukov, and O.A. Volodin Separation efficiency and pressure drop of SiC ceramic and Mellapak structured packings // Journal of Engineering Thermophysics. 2016. Vol. 25(1). P. 1-14. (из перечня ВАК)
7. N. I. Pecherkin, A. N. Pavlenko, O. A. Volodin Heat transfer and critical heat flux at evaporation and boiling in refrigerant mixture films falling down the tube with structured surfaces // Intern. Journal of Heat and Mass Transfer. 2015. Vol. 90(11). P. 149-158. (из перечня ВАК)
8. Aleksandr Pavlenko, Vladimir Zhukov, Nikolay Pecherkin, Vladimir Chekhovich, Oleg Volodin, Alexey Shilkin and Christoph Grossmann Investigation of flow parameters and efficiency of mixture separation on a structured packing // AIChE Journal. 2014. Vol. 60(2). P. 690-705. (из перечня ВАК)
9. О.А. Володин, А. Н. Павленко, Н.И. Печеркин, В.С. Сердюков Испарение и кипение пленки бинарной смеси фреонов на вертикальном цилиндре с сетчатым покрытием // Вестник НГУ. 2014. Т. 9(1). С. 70-78. (из перечня ВАК)
10. О. А. Володин, А. Н. Павленко, Н. И. Печеркин Теплообмен и волновые характеристики при течении пленки бинарной смеси фреонов по

- поверхности с трехмерной текстурой // Теплофизика высоких температур 2013. Т. 51(6). С. 864–874. (из перечня ВАК)
11. А. Н. Павленко, Н. И. Печеркин, О. А. Володин Теплообмен и кризисные явления при кипении в пленках смесей фреонов, стекающих по оребренной трубе // Теплофизика и аэромеханика. 2012. Т. 19(2). С. 143–154. (из перечня ВАК)
 12. Володин О.А., Печеркин Н.И. Теплообмен и кризисные явления в пленках смесей фреонов, стекающих по структурированной поверхности // Тепловые процессы в технике. 2012. Т. 4(2). С. 56–67. (из перечня ВАК)
 13. Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко, О. А. Володин Теплоотдача при испарении стекающих пленок смеси фреонов на гладкой и структурированной поверхностях // Теплофизика и аэромеханика. 2011. Т. 18(4). С. 605–616. (из перечня ВАК)
 14. Павленко А.Н., Жуков В.Е., Печеркин Н.И., Чехович В.Ю., Сандер С. , Хоуптон П. Развитие неравномерности распределения состава смеси в структурированной насадке дистилляционной колонны // Теоретические основы химической технологии. 2010. Т. 44(6). С. 651–659. (из перечня ВАК)
 15. A.N. Pavlenko, N.I. Pecherkin, V.Yu. Chekhovich, O.A. Volodin Hydrodynamics in falling liquid films on surfaces with complex geometry // Microgravity Sci. Technology. 2009. Vol. 21, Suppl. Issue 1. P. 207–213. (из перечня ВАК)
 16. Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Чехович В.Ю., Жуков В.Е., Сандер С., Хауптон П. Экспериментальное исследование влияния неравномерности орошения на входе структурированной насадки на эффективность разделения смеси фреонов // Теоретические основы химической технологии. 2009. Т. 43(1). С. 3–13. (из перечня ВАК)
 17. Pecherkin N.I., Chekhovich V.Yu. Mass transfer in a two-phase flow in a curvilinear channel // Journal of Engineering Thermophysics. 2008. Vol. 17(2). P. 113–119. (из перечня ВАК)
 18. Павленко А.М., Печеркин Н.И., Чехович В.Ю., Жуков В.Е., Сандер С., Хауптон П., Серов А.Ф., Назаров А.Д. Разделение смесей и распределение жидкости на структурированной насадке в крупномасштабной модели дистилляционной колонны // Теоретические основы химической технологии. 2006. Т. 40(4). С. 355–365. (из перечня ВАК)
 19. Павленко А.Н., Мацех А.М., Печеркин Н.И., Кнеер Р., Лель В.В., Суртаев А.С. Теплообмен и кризисные явления при интенсивном испарении в стекающих волновых плёнках жидкости // Теплофизика и аэромеханика. 2006. Т. 13, № 1. С. 93–105. (из перечня ВАК)
 20. Pavlenko A., Pecherkin N., Chekhovich V., Zhukov V., Sunder S., Houghton P., Serov A., Nazarov A. Large industrial-scale model of structured packing distillation column // Journal of Engineering Thermophysics. 2005. V.13, No. 1. P. 1–18. (из перечня ВАК)

21. Pavlenko A., Pecherkin N., Chekhovich V., Zhukov V., Sunder S., Houghton P., Serov A.F., Nazarov A. Two-phase Cocurrent Downflow of Liquid Nitrogen in a Vertical Rectangular Channel // *Journal of Engineering Thermophysics*. 2002. V. 11, No. 4. P. 321–333. (из перечня ВАК)
22. Серов А.Ф., Павленко А.М., Печеркин Н.И., Назаров А.Д., Кротов С.В., Жуков В.Е. Пузырьковый расходомер для исследования струйно-капельного течения в массообменных аппаратах // *Приборы и техника эксперимента*. 1998. Т. 5 С. 145–149. (из перечня ВАК)
23. С. В. Кротов, А. Д. Назаров, А. Н. Павленко, Н. И. Печеркин, Серов А.Ф., В. Ю. Чехович Емкостной измеритель локальной толщины пленки жидкости // *Приборы и техника эксперимента*. 1997. № 1. С. 149–152. (из перечня ВАК)
24. Чехович В.Ю., Печеркин Н.И. Тепломассообмен и трение на стенке в вертикальном газожидкостном потоке // *Изв. СО АН СССР. Сер. техн. наук*. 1989. № 4. С. 3–11. (из перечня ВАК)
25. Противоточная колонна с динамически управляемым распределителем жидкости / А. Н. Павленко, А. Ф. Серов, А. Д. Назаров, Н. И. Печеркин и др. – Патент RU 2631701 Рос. Федерация: заявитель и патентообладатель ФГБУН Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН, заявка № 2016134296 от 22.08.2016; дата гос. рег. 26.09.2017. (из перечня ВАК)
26. Павленко, А.Н., Печеркин Н.И., Володин О.А. Теплообмен и кризисные явления в стекающих пленках жидкости при испарении и кипении // монография; под ред. В. Е. Накорякова. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2016. – 193 с.
27. Pecherkin, N. Mass Transfer in Two-Phase Gas-Liquid Flow in a Tube and in Channels of Complex Configuration / N. Pecherkin, V. Chekhovich // *Mass Transfer in Multiphase Systems and its Applications* / Ed. by Mohamed El-Amin. – Croatia: InTech, 2011. – Chapter 8. – P. 155–178.
28. Oleg Volodin, Nikolay Pecherkin, Alexander Pavlenko, Nikolay Zubkov Heat transfer and crisis phenomena at boiling of refrigerant films falling down the surfaces obtained by deformational cutting // *Interfacial Phenomena and Heat Transfer* 2017. Vol. 5. P. 215–222.
29. N. I. Pecherkin, A. N. Pavlenko, O. A. Volodin Flow dynamics, heat transfer and crisis phenomena in the films of binary freon mixtures, falling over the structured surface // *Intern. Journal of Fluid Mechanics Research*. 2012. Vol. 39(2). P. 125–135.
30. Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко, В. Е. Жуков, А. Д. Назаров, Г. Мески, П. Хоуптон Влияние формы поперечного сечения колонны на эффективность разделения бинарной смеси на структурированных насадках // *Интерэкспо Гео-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр: Междунар. науч. конф «СибОптика-2018» (Новосибирск, 23-24 апреля 2018 г.): сб. материалов в 2 т.* – Новосибирск, СГУГиТ, 2018. Т.1. – С. 226 - 232.

31. О. А. Володин, Н. И. Печеркин, А. Н. Павленко, Н. Н. Зубков, Ю. Л. Битюцкая Влияние типа структурирования поверхности на теплоотдачу при испарении и кипении в стекающих пленках // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 5, № 1. С. 157–162.
32. Володин О.А., Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Зубков Н.Н., Битюцкая Ю.Л. Теплообмен при кипении в условиях пленочного течения бинарной смеси хладонов по поверхности с микроструктурой // Инновационная наука. 2016. № 12. С. 8–15.
33. Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Володин О.А., Чжан Л., Ли Х. Применение сетчатых покрытий для интенсификации теплообмена в стекающих пленках // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2016. Т. 5, № 1. С. 15–21.
34. Павленко А.Н., Печеркин Н.И., Володин О.А. Испарение и кипение пленки смеси хладонов, стекающей по цилиндру с сетчатым покрытием // Инновационная наука. 2016. № 9. С. 15–22.
35. Pecherkin N.I., Pavlenko A.N., Volodin O.A. Heat transfer in falling film of the refrigerants mixture on a vertical tube with wire mesh // Proc. of 3rd International Workshop on Heat Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control (IWHT2015). October 16-19, 2015, Taipei, Taiwan – 2015.
36. Tobias Keller, René Eiswirth, Alexey Shilkin, Carsten Knösche, Alexander Pavlenko, Nikolay Pecherkin, Vladimir Zhukov Maldistribution in packed columns – new findings, old challenges // Proc. 10th International Conference on Distillation & Absorption 2014, 14–17 September 2014, Friedrichshafen, Germany. 2014. P. 288–293.
37. Pecherkin N. I., Pavlenko A. N., Zhukov V. E., Sunder S., Meski G. Mixture separation on a structured packings designed for dividing wall columns // Proc. 21 Int. Congress of Chemical and Process Engineering CHISA 2014. 23–27 August 2014, Prague, Czech Republic. CD-ROM. Ser. Num. 0486. 2014.
38. Печеркин Н.И., Павленко А.Н., Володин О.А., Чехович В.Ю., Цой А.Н. Теплообмен и кризисные явления при кипении и испарении в стекающих пленках смесей фреонов // Труды 5 Российской Национальной Конф. по Теплообмену (РНКТ5), 25–29 октября 2010 г., Москва: Изд. МЭИ, 2010. Т. 4. С. 142.
39. Печеркин Н.И., Павленко А.Н., Володин О.А. Локальный теплообмен в стекающих пленках смесей фреонов на структурированной поверхности // Теплофизические основы энергетических технологий: Сб. научн. трудов Всероссийской научно-практической конф. Под ред. Г. В. Кузнецова, А. С. Заворина, К. В. Бувакова. Томск : Изд. ТПУ, 2010. С. 31–35.
40. В.Е. Жуков, А.Н. Павленко, Н.И. Печеркин, В.Ю. Чехович Использование кремниевых диодов для исследования динамики формирования крупномасштабной температурной неравномерности внутри структурированной насадки дистиляционной колонны // Интерэкспо Гео-Сибирь 2008. Т. 4, № 2. С. 166–170.

41. Печеркин Н.И., Павленко А.Н., Чехович В.Ю., Жуков В.Е., Серов А.Ф., Назаров А.Д. Использование емкостного метода измерений для регистрации локальных гидродинамических параметров парожидкостных потоков в миниканалах // Интерэкспо ГеоСибирь. 2007. Т. 4, № 2. С. 173–178.
42. А.Н. Павленко, Н.И. Печеркин, В.Ю. Чехович, В.Е. Жуков, А.Ф. Серов, А.Д. Назаров Двухфазное опускное течение жидкого азота в вертикальном прямоугольном канале // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. Процессы, модели, эксперимент. 2004. Т. 9, № 2(18). С. 56–63.
43. Печеркин Н.И., Чехович В.Ю., Нигматулин Б.И. Экспериментальное исследование распределения локальных коэффициентов массоотдачи на стенках каналов сложной формы // Труды Второй Российской Национальной Конференции по Теплообмену РНКТ2, 26–30 октября 1998 года, г. Москва. Т. 5. Москва: Изд. МЭИ, 1998. С. 67–70.
44. Pecherkin N., Chekhovich V. Gas-liquid flow in channel with abrupt expansion // Proc. of the Third Intern. Conf. on Multiphase Flow ICMF-98, Lyon, France, June 8-12, 1998. CD-ROM, No. 441. Lyon, France. 1998. 3 p.

Апробация работы

Результаты работы докладывались и обсуждались на 30 российских и 15 международных конференциях и семинарах: Минском международном форуме «Тепломассообмен-ММФ» (Минск, 1988); конференции «Методы и средства измерения теплофизических параметров - Теплофизика-96» (Обнинск, 1996); Third Int. Conf. on Multiphase Flow ICMF-98, (Lyon, France, 1998); 2nd Int. Symp. on Two-Phase Flow Modelling and Experimentation, (Pisa, Italy, 1999); Third Int. Conf. on Transport Phenomena in Multiphase Systems «Heat-2002» (Baranov Sandomierski, Poland, 2002); на 1-ой научной школе-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики», (Алушта, Украина, 2003); Int. Congress of Chemical and Process Engineering «CHISA», (Prague, Czech Republic, 2008, 2014); Fourth Int. Topical Team Workshop on Two-Phase Systems for Ground and Space Applications, (Novosibirsk, Russia, 2009); The 7th Int. Conf. on Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics «HEFAT 2010» (Antalya, Turkey, 2010); Всероссийской молодежной конференции «Устойчивость и турбулентность течений гомогенных и гетерогенных жидкостей» (Новосибирск, 2010); Всероссийской научно-практической конференции «Теплофизические основы энергетических технологий» (Томск, 2010); XI Всероссийской школе-конференции молодых ученых «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики» (Новосибирск, 2010); XVIII Школе-семинаре молодых ученых и специалистов под руководством академика РАН А.И. Леонтьева (Звенигород, 2011); VIII Школе-семинаре молодых ученых и специалистов академика РАН В.Е. Алемасова «Проблемы тепломассообмена и гидродинамики в машиностроении» (Казань, 2012 г); XIX Школе-семинаре молодых ученых и специалистов под

руководством академика РАН А.И. Леонтьева (Орехово-Зуево, 2013); The 6th Int. Conf. on Fluid Mechanics «ICFM-6» (Guangzhou, China, 2011); The 7th Int. Conf. on Diffusion in Solids and Liquids «DSL-7» (Algarve, Portugal, 2011); The Int. Workshop on Heat Transfer Advances for Energy Conservation and Pollution Control «IWHT» (China, 2013, Taiwan, 2015); 10th Int. Conf. on «Distillation & Absorption» (Friedrichshafen, Germany, 2014); Международных семинарах «Topical issues of heat and mass transfer at phase transitions and multiphase flows in modern chemical technology and energy equipment» ISHM, Новосибирск (2014, 2015, 2016, 2017, 2018); Всероссийской научной конференции «Теплофизика и физическая гидродинамика», Ялта (2016, 2017); Международном научном конгрессе «Интерэкспо Гео-Сибирь» (Новосибирск, 2007, 2008, 2016-2018); 1-st Thermal and Fluid Engineering Summer Conference (TFESC-15), New York City, USA, 2015; Сибирском теплофизическом семинаре «СТС» (Новосибирск, 2005, 2010, 2014, 2015, 2017, 2018); Российской национальной конференции по теплообмену «РНКТ» (Москва, 1998, 2002, 2010, 2014, 2018). Результаты, приведенные в диссертации, включались в перечень важнейших достижений ИТ СО РАН (2008, 2012).

Решение о рекомендации работы к защите

Диссертация «Тепло – и массообмен при течении двухфазных потоков на поверхностях и в каналах сложной формы» Печеркина Николая Ивановича рекомендуется к защите на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Заключение принято на заседании семинара Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института теплофизики им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук под руководством академика РАН С.В. Алексеенко.

Присутствовало на заседании 49 чел., в том числе 1 академик, 2 член-корреспондента, 22 доктора наук и 18 кандидатов наук.

Результаты голосования: «за» – 49 чел., «против» – 0 чел., «воздержалось» – 0 чел., протокол № 8-2018 от «19» ноября 2018 г.



Председатель семинара
Алексеенко С.В., д.ф.-м.н., академик РАН



Секретарь семинара
Мулляджанов Р.И., к.ф.-м.н., с.н.с.
лаборатории физических основ
энергетических технологий ИТ СО РАН