

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

диссертационного совета Д 003.053.01 при ИТ СО РАН

о диссертационной работе Печеркина Николая Ивановича

«Тепло – и массообмен при течении двухфазных потоков на поверхностях и в каналах сложной формы», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соответствие темы и содержания диссертации специальности и отрасли наук диссертационного совета Д 003.053.01 при ИТ СО РАН. Диссертационная работа посвящена экспериментальному исследованию 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 миниканалы компактных теплообменников, многоячеистые каналы регулярных насадок ректификационных колонн, а также структурированные поверхности, применяемые для интенсификации процессов тепломассопереноса в стекающих пленках различных жидкостей.

Диссертационное исследование по своему содержанию соответствует п. 6 «Экспериментальные исследования, физическое и численное моделирование процессов переноса массы, импульса и энергии в многофазных системах и при фазовых превращениях» и п. 7 «Экспериментальные и теоретические исследования процессов совместного переноса тепла и массы в бинарных и многокомпонентных смесях веществ, включая химически реагирующие смеси» паспорта специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника.

Соответствие содержания диссертационной работы специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника, по которой она представляется к защите, подтверждается апробацией работы, ее научной новизной и практической значимостью. Диссертация Печеркина Н.И. представляет собой законченное и самостоятельное исследование, в которой решена крупная и актуальная задача в области тепло- и массопереноса в различных условиях течения двухфазных газо-и парожидкостных потоков в каналах с различными масштабами, формой и структурой поверхности. Результаты исследования являются основой для разработки и создания высокоэффективного тепломассообменного оборудования в энергетике, криогенной и холодильной технике, химической технологии.

Апробация работы: Результаты исследований по теме диссертации докладывались и обсуждались на 30 всероссийских и 15 международных научных конференциях и семинарах. Перечень конференций и семинаров представлен в автореферате.

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. Зона максимума коэффициентов массоотдачи находится в области присоединения потока на расстоянии (2–3)-х диаметров от сечения расширения. Предложены эмпирические зависимости для максимальных коэффициентов массообмена на внутренней поверхности исследуемых каналов при течении однофазного и двухфазного потоков.
- Впервые получены профили распределения толщины пленки жидкого азота по периметру канала при различных режимных параметрах течения жидкого азота и спутного потока пара в узком прямоугольном миниканале.
- 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. Достигнута 3^x -кратная интенсификация теплообмена в режиме пузырькового кипения. Критический тепловой поток близок к величине теплового потока полного испарения, $q = 10\text{--}14 \text{ Вт/см}^2$.
- 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 числа слоёв структурированной насадки происходит увеличение высоты единицы переноса и высоты, эквивалентной теоретической тарелке на 10–50%. 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 слоёв и условий орошения насадки в исследованном диапазоне изменения расходов пара и жидкости.

- 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, характеризующиеся безусловной новизной. Показано, что 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:

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 тепломассообменных 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 дистиляционных 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.

Материалы диссертации изложены в 25 статьях в изданиях, рекомендованных ВАКом (1 патент), 1 монографии, 1 главе в книге, 17 работах в других периодических изданиях и в трудах конференций и семинаров, указанных в диссертации и в автореферате.

На результаты работ, полученных соискателем в соавторстве, а также на заимствованный материал, имеются ссылки на авторов или источники заимствования.

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. В подготовке совместных публикаций по результатам исследований вклад диссертанта был определяющим.

Экспертная комиссия рекомендует принять к защите диссертационную работу Печеркина Н.И. «Тепло – и массообмен при течении двухфазных потоков на поверхностях и в каналах сложной формы», по специальности 01.04.14 – Теплофизика и теоретическая теплотехника по техническим наукам в диссертационном совете Д 003.053.01 при ИТ СО РАН.

Дата

04.12.2018г.

Председатель комиссии

д.т.н., профессор

Члены комиссии:

д.ф.-м.н.

д.ф.-м.н.

 Терехов В.И.

 Кашинский О.Н.

 Трифонов Ю.Я.

