

А. Н. Павленко¹, О. А. Володин¹, В. С. Сердюков^{1,2}

¹ *Институт теплофизики им. С.С. Кутателадзе СО РАН
пр. Акад. Лаврентьева, 1, Новосибирск, 630090, Россия*

² *Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск, 630090, Россия*

pavl@itp.nsc.ru, volodin@ngs.ru, vsserd@gmail.com

О ВЛИЯНИИ УГЛА НАКЛОНА РЕБЕР НА РАСТЕКАНИЕ ПЛЕНКИ ЖИДКОСТИ ПО СТРУКТУРИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ*

Представлены результаты экспериментального исследования гидродинамики пленочного течения жидкого азота по поверхности единичных элементов структурированной насадки. На основе сравнения опытных данных показано влияние угла наклона крупных ребер, перфорации на зоны растекания пленки жидкости по корругированной поверхности с микротекстурой при различных значениях пленочного числа Рейнольдса. Показано, что угол наклона крупных ребер оказывает существенное влияние на перераспределение локального расхода жидкости, стекающей по поверхности сложной геометрии. Анализ результатов высокоскоростной видеосъемки выявил, что в окрестности вертикального бокового среза корругированных пластин формируются интенсивные струйные потоки, в том числе с отрывом от поверхности течения пленки. Этот негативный фактор может приводить к значительному накоплению, потоку жидкости в зонах вертикальных краев структурированной насадки и на внутренней стенке теплообменников аппаратов, а в итоге к значительному возрастанию степени неравномерности распределения локального расхода жидкости по поперечному сечению, например, дистилляционных колонн.

Ключевые слова: стекающие пленки жидкости, смачивание, структурированные насадки, оребрение, микротекстура.

Введение

Использование дистилляционных колонн со структурированными насадками в сравнении с тарельчатыми колоннами обеспечивает существенно меньшее гидравлическое сопротивление в расчете на единицу переноса, более высокие нагрузки по пару и жидкости, что значительно повышает производительность колонн и снижает затраты энергии на получение полезных продуктов. Это достигается эффективным массообменом при течении вниз по поверхности сложной геометрии тонкой пленки жидкости, как правило волновой, и движении по

перекрестным каналам восходящего турбулизированного потока пара. Однако регулярные насадки по сравнению с насыпными весьма чувствительны, например по эффективности разделения смесей при дистилляции, к равномерности распределения жидкости по сечению [1; 2]. Неравномерность распределения параметров потоков по сечению и высоте колонны, определяемой как начальными условиями орошения жидкости и ввода пара в насадку, так и внутренними процессами перераспределения потоков жидкости и пара, существенно снижает эффективность разделения смесей. Поэтому задачи интенсификации тепло- и массооб-

* Исследование выполнено в ИТ СО РАН за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-49-00010).

мена в таких многоканальных системах, дальнейшее развитие оптимальных аппаратов насадочного типа являются чрезвычайно актуальными. Несмотря на широкое использование на практике данных режимов в контактных аппаратах, закономерности гидродинамики и тепломассообмена при таких течениях, выявление которых служит основой для разработки как конструктивных, так и технологических методов интенсификации процессов разделения смесей, исследованы весьма слабо. В связи с этим особенности течения пленок различных жидкостей по структурным элементам регулярных насадок различной геометрии интенсивно изучаются в последнее время [3–9]. Использование авторами работы [10] волоконно-оптических датчиков измерения локальной толщины пленки позволило установить картину течения вязкой жидкости (этанола), определить волновые характеристики пленочного течения в единичной ячейке структурированной насадки Koch 1Y. В работе [11] приведены опытные данные по влиянию микротекстуры на формирование пленки жидкости (также этанола) на вертикальной поверхности. В [11] показано, что наличие горизонтально ориентированной микротекстуры приводит к возникновению более сложной волновой структуры на поверхности пленки, чем на гладкой поверхности. Значительное влияние на эффективность разделения смесей, интенсивность теплообмена при пленочных течениях жидкостей и их смесей по поверхностям, в том числе структурированным, оказывают перераспределение жидкости, особенности эволюции волновых характеристик на свободной поверхности, динамика образования несмоченных зон [12–22].

Количество работ, посвященных исследованию гидродинамики и теплообмена при волновых пленочных течениях маловязких высокосмачивающих жидкостей (фреоны и их смеси, азот), ограничено (см., например, [13; 15; 16; 19; 23]). В то же время исследования характеристик пленочного течения криогенных жидкостей по поверхностям сложной геометрии являются весьма актуальными, поскольку такие гидродинамические режимы реализуются в условиях дистилляции на структурированных насадках при криогенном разделении жидкого воздуха для получения чистых кислорода, азота, аргона и других продуктов. Фреоны и их

смеси в качестве хладагентов находят широкое применение в холодильном оборудовании, тепловых трубах, теплонасосной технике.

В работе [23] представлены результаты экспериментальных исследований по влиянию микротекстуры и ее направления на зоны растекания пленки азота по корругированной поверхности при различных значениях пленочного числа Рейнольдса. Показано, что относительная доля жидкости, удерживаемой в одиночно орошаемом канале корругированных пластин с углом наклона ребер 47° , существенно зависит от степени орошения. Выявлено, что при малой степени орошения вся жидкость течет только вдоль орошаемого канала в зоне впадины и нижележащей от нее поверхности, не перетекая в нижележащие каналы. При большей степени орошения происходит интенсивный переток жидкости в нижележащие каналы, что обеспечивает смачивание и течение жидкости на значительной части поверхности корругированных пластин в неорошаемой зоне.

Известно, что угол наклона ребер является важным геометрическим параметром структурированных насадок, определяющим эффективность разделения смесей и гидравлические потери при дистилляции. Увеличение угла наклона ребер приводит к существенному снижению перепада давления, но при этом сопровождается и резким падением эффективности разделения смесей. Это может быть обусловлено значительными изменениями характера течений пленки жидкости и восходящего турбулизированного потока пара в сложных перекрестных каналах структурированной насадки при различных углах наклона ребер.

Целью данной работы является экспериментальное изучение особенностей пленочного течения азота по единичным элементам структурированных насадок при различных углах наклона ребер.

Методика эксперимента

Исследования были проведены на экспериментальной установке, принципиальная схема которой и используемые методики измерений детально описаны в [23]. Опытные данные получены при течении жидкого азота, находящегося на линии насыщения, в диапазоне изменения пленочного числа

Рейнольдса $Re = 4\Gamma/\nu = 40\text{--}4000$. Здесь $\Gamma = q/l$ – плотность орошения, $\text{м}^2/\text{с}$; q – объемный расход жидкости, $\text{м}^3/\text{с}$; l – периметр орошаемых каналов на верхнем срезе пластины, м ; ν – коэффициент кинематической вязкости, $\text{м}^2/\text{с}$. Эта область чисел Рейнольдса соответствует практически реализуемому при дистилляции диапазону изменения степени пленочного орошения.

Рабочая жидкость подается через криогенный трубопровод из гелиевого сосуда в бак постоянного уровня жидкости, размещенный во внутренней полости оптического криостата. Из бака постоянного уровня жидкость через щелевой распределитель поступает на рабочий участок и далее стекает в измерительные сосуды. Из внутренней полости криостата жидкий азот через криогенный трубопровод откачивается в выходной гелиевый сосуд. Через четыре оптических окна выполнялась визуализация течения и съемка с использованием высокоскоростной цифровой видеокамеры Phantom 7.0. Для исключения эффектов испарения жидкой пленки на экспериментальном участке (за счет теплопритоков через боковую, верхнюю и нижнюю поверхности внутренней полости криостата) криогенная емкость защищена вакуумированной полостью, охлаждаемыми экранами и внешней азотной ванной. В ходе проведения опытов были проведены три экспериментальные серии, в которых исследованы закономерности растекания и пленочного течения жидкого азо-

та по поверхности одиночных структурированных перфорированных пластин насадок из алюминия при углах направления крупных ребер 30° , 47° и 75° . Фотографии использованных для этих опытов экспериментальных секций представлены на рис. 1. При проведении опытов на одиночных структурированных пластинах другие геометрические параметры оставались неизменными. Микротекстура с горизонтальным направлением имела амплитуду $0,2$ мм и шаг $1,5$ мм. Толщина пластин составляла $0,2$ мм, высота ребер – 7 мм, длина волны гофрирования – $10,1$ мм, угол раскрытия ребер – 60° , диаметр отверстий – 4 мм. Параметры гофрирования пластины, микротекстуры, отверстий соответствуют аналогичным характеристикам целого ряда промышленных структурированных насадок, например типа Зульцер 500У. Исследования на данных рабочих участках позволили изучить влияние угла наклона больших ребер, эффект отверстий на динамику течения жидкости по элементам структурированной насадки при различной степени орошения. Рабочие участки шириной 75 мм и длиной 300 мм присоединялись ко дну бака постоянного уровня. Жидкость поступала на рабочие участки через распределительную щель, образованную двумя пластинами, закрепленными на дне бака.

Установка заданного размера щели обеспечивалась прокладкой калиброванной металлической фольги толщиной 50 мкм.

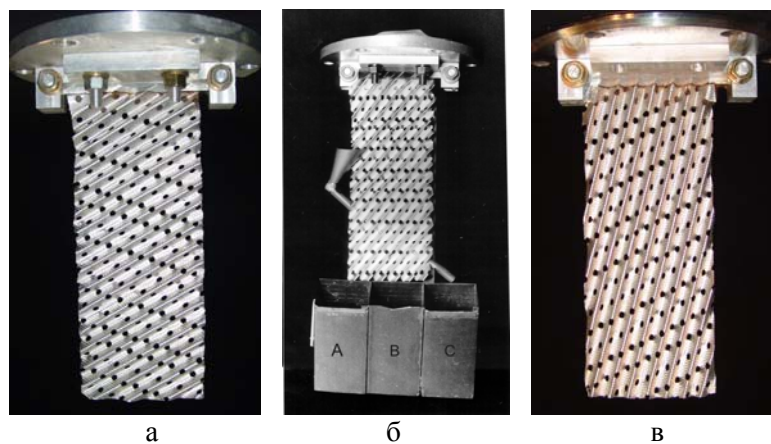


Рис. 1. Общий вид экспериментальных секций для исследования пленочного течения азота по рифленным перфорированным поверхностям с различными углами наклона ребер: *а* – 30° ; *б* – 47° ; *в* – 75° . А, В, С – мерные сосуды для измерения стекающих потоков азота с орошаемой и неорошаемой частей пластины

Формы распределительных щелей для каждого экспериментального участка, как видно на рис. 1, имели ту же геометрию и углы изгиба, что и экспериментальные гофрированные пластины на их верхнем срезе. Жидкий азот подавался на фронтальную сторону (по рисунку) пластин. На верхнем срезе пластины с углом наклона ребер 30° орошался один центральный канал, с углом наклона ребер 47° – орошались пять каналов, с углом наклона ребер 75° – шесть каналов. Во время экспериментов было обеспечено равномерное орошение каналов на верхнем срезе исследуемых пластин. В дополнительных опытах на рифленной пластине с углом наклона ребер 47° также орошался только один крайний правый канал, что позволило определить объемным методом измерения зависимость относительной доли жидкости, перетекающей из орошаемого канала в неорошаемую часть пластины, от степени орошения [23]. Для этого использовались три мерные емкости, расположенные под исследованными пластинами (см. рис. 1, б). Следует иметь в виду, что при одинаковых плотностях орошения Γ (для обеспечения в опытах аналогичных значений пленочного числа Рейнольдса) объемные расходы жидкости q на пластине с углом наклона ребер 47° при орошении пяти каналов были в пять раз больше, чем при орошении одиночного канала.

Результаты и обсуждение

В результате проведенных исследований получены новые опытные данные по динамике течения стекающих пленок азота по поверхности одиночных элементов структурированных насадок в диапазоне изменения пленочного числа Рейнольдса, соответствующего ламинарно-волновому и турбулентному режимам течения. Определены зоны растекания жидкости по поверхности рифленных пластин для различных чисел Рейнольдса (рис. 2). Анализ полученных результатов показывает, что размер и форма зон растекания жидкости весьма существенно зависят как от степени орошения, так и от угла наклона ребер. Благодаря интенсивному перетoku через вершины крупных каналов с увеличением расхода жидкости размер зон растекания жидкости в неорошаемой (по каналам)

части пластин с углами наклона ребер 30° и 47° существенно увеличивается. Наиболее интенсивное растекание жидкости по поверхности пластины в зоне неорошаемых каналов наблюдается при угле наклона ребер 30° . В то же время, как видно из рис. 2, а, при уменьшении расхода жидкости может частично осушаться верхняя половина орошаемого канала. Когда в нижних каналах, где еще наблюдается течение жидкости (третий, шестой и восьмой каналы ниже орошаемого канала в зависимости от степени орошения), достигается минимальный локальный расход жидкости, переток жидкости в нижележащие каналы прекращается. Опытные данные, представленные на рис. 2, б, показывают, что при угле наклона ребер 47° при наименьшем значении числа Рейнольдса ($Re = 258$) жидкость практически не перетекает из орошаемых каналов в неорошаемую часть почти по всей ширине пластины. Как показывает визуализация, при малых расходах жидкости в случае орошения одиночного канала жидкость течет преимущественно в нижней части поверхности и впадине канала (см. рис. 2, б). Верхняя часть поверхности канала частично или полностью (в зависимости от степени орошения) остается несмоченной. Как показывает сравнение (см. рис. 2, б), положения нижних границ смоченных зон близки друг другу для двух рассмотренных случаев при орошении всех каналов или одиночного канала на верхнем срезе пластины.

Используемые для орошения структурированных насадок распределители жидкости в современных дистилляционных колоннах имеют, как правило, плотность точек орошения в диапазоне от 50 до 800 м^{-2} в зависимости от их удельной поверхности. Поскольку, как следует из приведенных оценок, число точек орошения в реальных условиях ограничено (1 точка орошения примерно на 20–50 элементарных ячеек насадки, образуемых перекрестными каналами), перетекание жидкости из орошаемых каналов в соседние каналы важно для обеспечения смачивания как можно большей поверхности структурированной насадки. Разрыв стекающей пленки при малых расходах жидкости, когда еще отсутствует или ограничен подток жидкости из вышележащих каналов, будет приводить к выпадению значительной части поверхности из процес-

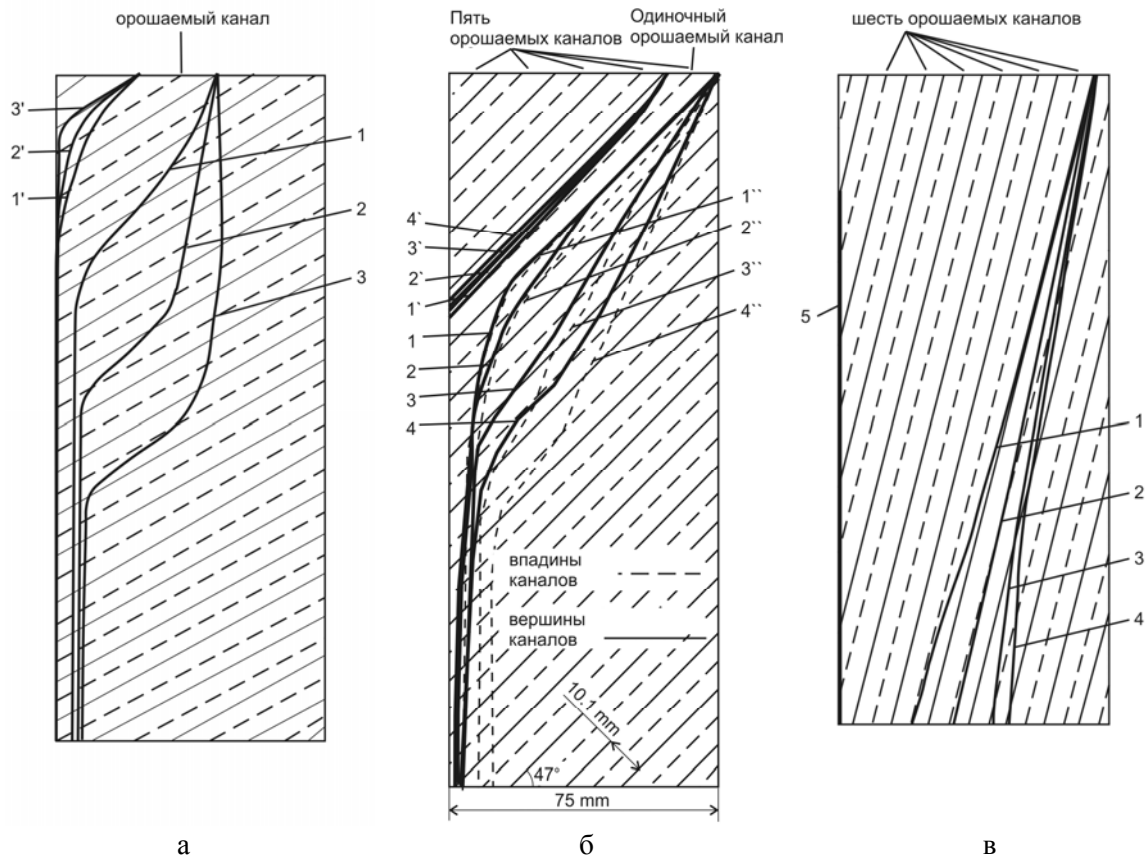


Рис. 2. Границы областей пленочного течения жидкого азота на рифленых поверхностях (отверстия на рисунке не показаны): а – угол наклона ребер 30° (1, 2, 3 – $q = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 304$; $q = 1,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 1164$; $q = 4,6 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 3996$ соответственно); б – 47° (одиночно орошаемый канал: 1, 1'; 2, 2'; 3, 3'; 4, 4' – $q = 0,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 258$; $q = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 452$; $q = 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 667$; $q = 0,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 860$ соответственно; линии, помеченные цифрами с одним штрихом, соответствуют верхним границам линий смачивания; без штриха – нижним границам; пять орошаемых каналов: 1'', 2'', 3'', 4'' – $q = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 258$; $q = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 452$; $q = 2,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 667$; $q = 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 860$ соответственно; линии, помеченные цифрами с двумя штрихами, соответствуют нижним границам линий смачивания); в – 75° (1, 2, 3, 4 – $q = 1,05 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 228$; $q = 2,42 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 526$; $q = 3,33 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 708$; $q = 5,84 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 1268$ соответственно)

са массообмена и в итоге снижать эффективность работы пленочного аппарата при уменьшении степени орошения.

Наименьшая степень перетекания жидкости в неорошаемые каналы пластины наблюдается при угле наклона ребер 75° . Следует отметить, что при таком угле наклона при наименьшем расходе жидкости происходит даже частичное осушение поверхности крайнего правого (по рисунку) орошаемого канала в нижней части пластины (кривая 1 на рис. 2, в). Перетекание жидкости в нижележащие неорошаемые каналы в этом случае отсутствует. Высокоскоростная видеосъемка показывает, что при наибольшем угле наклона ребер наиболее интенсивное тече-

ние жидкости сосредоточено во впадинах каналов. При наибольшем значении числа Рейнольдса (кривая 4 на рис. 2, в) жидкость смачивает частично лишь поверхность двух нижележащих неорошаемых каналов. При близких значениях числа Рейнольдса на пластине с углом наклона ребер 30° течение жидкости распространяется на поверхность шести нижележащих неорошаемых каналов, на пластине с углом наклона ребер 47° – на поверхность четырех нижележащих неорошаемых каналов.

Визуализация течения жидкости на орошаемой (лицевой) и неорошаемой (обратной) сторонах пластин показывает, что может происходить значительный переток

жидкости через отверстия, оказывающий существенное влияние на размер и форму зон ее растекания. Показано, что интенсивность перетока через отверстия существенно зависит как от локального расхода жидкости в каналах, так и от их расположения на поверхности каналов. Анализ кинофотограмм показывает, что при уменьшении плотности орошения одиночных каналов до значений $0,05\text{--}0,07 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$ (в зависимости от расположения отверстий) переток азота через отверстия полностью прекращается. Эта область изменения величины Γ соответствует диапазону изменения пленочного числа Рейнольдса от 115 до 160. Как было показано в [23], при значениях $Re \leq Re_{\text{char.1}} \approx 100$ наблюдается полное прекращение перетока азота через вершины крупных ребер. В то же время обтекание жидкостью отверстий, расположенных у вершины каналов, способствует более интенсивному ее перетоку через вершины каналов. Таким образом, наличие отверстий способствует перетеканию жидкости в нижележащие каналы корругированной пластины как за счет многократных перетоков жидкости через них (с орошаемой стороны пластины на обратную и наоборот), так и за счет снижения порогового значения – барьера для ее перетока через вершины каналов.

Важно также отметить, что при расходах жидкости, реализованных в опытах, в окрестности вертикального бокового среза пластин формируются интенсивные струйные потоки, в том числе с отрывом от поверхности течения пленки. Это является негативным фактором, который может приводить к значительному накоплению, потоку жидкости в зонах вертикальных краев структурированной насадки и на внутренней стенке дистилляционных колонн. Эти эффекты могут быть одной из важных причин, обуславливающих наличие высокой степени неравномерности распределения локального расхода жидкости по поперечному сечению дистилляционных колонн и в итоге приводящих к существенному снижению эффективности разделения смесей.

Заключение

Получены новые опытные данные по влиянию угла наклона крупных ребер на зоны растекания пленки жидкости по корругированной поверхности при различных

значениях пленочного числа Рейнольдса. Показано значительное влияние угла наклона крупных ребер, перфорации на характеристики течения, размер, форму зон ее растекания по поверхности пластин, расположение зон разрыва пленки жидкости и возникновение устойчивых сухих пятен на гофрированной поверхности. Выявлено, что интенсивность перетока жидкости на обратную сторону пластины и через вершины крупных ребер существенно зависит как от расположения отверстий на корругированной поверхности, так и от степени орошения. На основе анализа результатов высокоскоростной видеосъемки показано, что в окрестности вертикального бокового среза корругированных пластин формируются интенсивные струйные потоки, в том числе с отрывом от поверхности течения пленки. Это может приводить к значительному накоплению, потоку жидкости в зонах вертикальных краев структурированной насадки и на внутренней стенке теплообменных аппаратов, и быть причиной значительного возрастания степени неравномерности распределения локального расхода жидкости по поперечному сечению, например, дистилляционных колонн.

Полученные результаты важны как для разработки оптимальных форм структурированных поверхностей, совершенствования конструкций распределителей жидкости с целью интенсификации теплообмена и повышения эффективности разделения смесей при дистилляции на структурированных насадках для широкого диапазона изменения степени орошения, так и для построения моделей описания процессов разделения смесей в данных условиях, учитывающих реальный характер пленочного течения жидкости по поверхностям сложной геометрии.

Список литературы

1. Павленко А. Н., Печеркин Н. И., Чехович В. Ю., Жуков В. Е., Сандер С., Хоуптон 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.
2. Pavlenko A. N., Zhukov V. E., Pecherkin N. I., Chekhovich V. Yu., Volodin O. A.,

Shilkin A., Grossmann C. Investigation of flow parameters and efficiency of mixture separation on a structured packing // *AIChE J.* 2014. Vol. 60. Is. 2. P. 690–705.

3. *Viva A., Aferka S., Brunazzi E., Marchot P., Crine M., Toye D.* Processing of X-ray tomographic images: a procedure adapted for the analysis of phase distribution in Mellapak Plus 752.Y and Katapak-SP packings // *Flow Measurement and Instrumentation.* 2011. Vol. 22. P. 279–290.

4. *Пушинов А. С.* Влияние формы насадки и ее геометрических характеристик на гидродинамику и эффективность процессов тепло- и массообмена в колонных аппаратах с регулярной и насыпной и насадкой // *Химическая промышленность.* 2012. Т. 89, № 4. С. 170–180.

5. *Протасов С. К., Боровик А. А., Матвейко Н. П.* Исследование новой регулярной насадки // *Химическая промышленность.* 2013. Т. 90, № 2. С. 97–101.

6. *Grunig J., Kim S.-J., and Kraume M.* Liquid film flow on structured wires: fluid dynamics and gas-side mass transfer // *AIChE. J.* 2013. Vol. 59. Is. 1. P. 295–302.

7. *Janzen A., Steube J., Aferka S., Kenig E. Y., Crine M., Marchot P., Toye D.* Investigation of liquid flow morphology inside a structured packing using X-ray tomography // *Chemical Engineering Science.* 2013. Vol. 102. P. 451–460.

8. *Городилов А. А., Пушинов А. С., Беренгартен М. Г.* Совершенствование конструкции хордовой насадки // *Химическое и нефтегазовое машиностроение.* 2014. № 2. С. 10.

9. *Keller T., Eiswirth R., Knosche C., Pavlenko A., Pecherkin N., Zhukov V.* Maldistribution in packed columns – new findings, old challenges // *Proc. of X Intern. Conference on Distillation & Absorption.* Friedrichshafen, Germany, 2014.

10. *Алексеев С. В., Маркович Д. М., Евсеев А. Р., Бобылев А. В., Тарасов Б. В., Карстен В. М.* Экспериментальное исследование распределения жидкости в колонне со структурными насадками // *Теорет. основы хим. технологии.* 2007. Т. 41, № 4. С. 442.

11. *Перепелица Б. В.* О влиянии микротекстуры на формирование пленки жидкости на вертикальной поверхности // *Теплофизика и аэромеханика.* 2011. Т. 18, № 3. С. 519–522.

12. *Salvagnini W., Taqueda M. A.* Falling-Film Evaporator with Film Promoters // *Ind.*

Eng. Chem. Res. 2004. Vol. 43. No. 21. P. 6832–6835.

13. *Печеркин Н. И., Павленко А. Н., Володин О. А.* Теплоотдача при испарении стекающих пленок смеси фреонов на гладкой и структурированной поверхностях // *Теплофизика и аэромеханика.* 2011. Т. 18, № 4. С. 605–616.

14. *Christians M., Thome J. R.* Falling film evaporation on enhanced tubes, part 1: Experimental results for pool boiling, onset-of-dryout and falling film evaporation // *Int. J. of Refrigeration.* 2012. Vol. 35. No. 2. P. 300–312.

15. *Володин О. А., Павленко А. Н., Печеркин Н. И.* 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.

16. *Володин О. А., Павленко А. Н., Печеркин Н. И., Сердюков В. С.* Испарение и кипение пленки бинарной смеси фреонов на вертикальном цилиндре с сетчатым покрытием // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика.* 2014. Т. 9, вып. 1. С. 70–78.

17. *Чиннов Е. А., Шатский Е. Н.* Развитие искусственных возмущений в неизотермической пленке жидкости // *Теплофизика высоких температур.* 2011. Т. 49, № 6. С. 918–923.

18. *Чиннов Е. А., Шатский Е. Н.* Амплитуды трехмерных волн в неизотермической пленке жидкости // *Письма в ЖТФ.* 2013. Т. 39, вып. 5. С. 41–47.

19. *Чернявский А. Н., Павленко А. Н.* Определение времени ожидания вскипания в стекающих волновых пленках жидкости при нестационарном тепловыделении // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика.* 2013. Т. 8, вып. 3. С. 71–81.

20. *Чиннов Е. А., Шатский Е. Н.* Воздействие на контактную линию посредством искусственных возмущений в неизотермической пленке жидкости // *ТВТ.* 2014. Т. 52, № 3. С. 477–480.

21. *Chinnov E. A.* Wave – thermocapillary effects in heated liquid films at high Reynolds numbers // *Int. J. Heat Mass Transfer.* 2014. Vol. 71. No. 4. P. 106–116.

22. *Сердюков В. С., Суртаев А. С., Володин О. А.* Исследование динамики парообразования при кипении в стекающих недогретых пленках жидкости // *Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика.* 2014. Т. 9, вып. 2. С. 145–155.

23. Павленко А. Н., Володин О. А., Сердюков В. С. Особенности пленочного течения жидкого азота по структурированным

поверхностям // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2015. Т. 10, вып. 1. С. 33–41.

Материал поступил в редколлегию 03.02.2015

A. N. Pavlenko¹, O. A. Volodin¹, V. S. Serdyukov^{1,2}

¹ Kutateladze Institute of Thermophysics of SB RAS
1 Lavrentiev Ave., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

² Novosibirsk State University
2 Pirogov Str., Novosibirsk, 630090, Russian Federation

pavl@itp.nsc.ru, volodin@ngs.ru, vsserd@gmail.com

EFFECT OF THE RIB INCLINATION ANGLE ON LIQUID FILM SPREADING OVER THE STRUCTURED SURFACE

Results of experimental studies on hydrodynamics of the film flow of liquid nitrogen over the surface of the single elements of structured packing are presented. The effect of inclination angle of the large ribs and perforation on the zones of liquid film spreading over the corrugated surface with microtexture at different Reynolds numbers of the film is shown based on a comparison of experimental data. It is shown that the angle of large rib inclination has a significant influence on redistribution of the local flow rate of liquid flowing on the surface with complex geometry. Analysis of results of the high-speed video revealed that in a vicinity of the vertical lateral edges of corrugated plates, the intense rivulet flows are formed, including those with separation from the film flow surface. This negative factor can lead to significant liquid accumulation and flow near the vertical edges of the structured packing and on the inner wall of the heat exchanging apparatuses and, finally, to a significant increase in the degree of maldistribution of local liquid flow rate over the cross-section, for instance, of the distillation columns.

Keywords: flowing liquid films, wetting, structured packings, ribbing, microtexture.