

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

ОСОБЕННОСТИ ПЛЕНОЧНОГО ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОГО АЗОТА ПО СТРУКТУРИРОВАННЫМ ПОВЕРХНОСТЯМ*

Представлены результаты экспериментального исследования гидродинамики пленочного течения криогенной жидкости по поверхности единичных элементов структурированной насадки. На основе сравнения опытных данных показано влияние микротекстуры, перфорации на зоны растекания пленки жидкости по корругированной поверхности при различных значениях пленочного числа Рейнольдса. Приводятся результаты опытов по зависимости относительной доли жидкости, удерживаемой в одиночно орошаемом канале корругированных пластин различной толщины, от степени орошения. Показано, что наличие микротекстуры, ее направление относительно направления силы тяжести оказывают существенное влияние на перераспределение локального расхода жидкости, стекающей по поверхности сложной геометрии.

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

Введение

В химической промышленности широко распространены контактные газожидкостные теплообменные аппараты, в которых теплообмен между жидкостью и газом происходит при их непосредственном соприкосновении. К таким аппаратам относятся дистилляционные колонны, градирни, контактные выпарные аппараты, каталитические реакторы, абсорберы, скрубберы и т. д. [1–3]. Например, ректификация в колонных аппаратах (в зарубежной литературе, как правило, используется термин «дистилляция») является наиболее широко используемым в промышленности процессом для разделения смесей, а эффективность разделения – один из главных параметров, определяющих энергетические и другие эксплуата-

ционные расходы, капитальные затраты и габариты оборудования. Использование 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 движения по перекрестным каналам восходящего турбулизованного потока пара. Однако регулярные насадки по сравнению с насыпными весьма чувствительны, например, по эффективности разделения смесей при дистилля-

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

ции к равномерности распределения жидкости по сечению [4]. Результаты исследований и эксплуатации промышленных ректификационных колонн с широко используемыми в настоящее время регулярными насадками показали, что эффективность разделения при увеличении их диаметра может значительно снижаться, что сказывается на производительности и чистоте готовой продукции. Это связано с существенным влиянием неравномерности распределений 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 при разделении смесей вследствие целого ряда факторов. Поэтому проблема интенсификации тепло- и массообмена 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, изучены весьма слабо. Исследования особенностей течения пленок различных жидкостей по структурным элементам регулярных насадок интенсивно развиваются в последнее время [5–8]. Здесь следует упомянуть и проведение в этом направлении, например, комплексных экспериментальных исследований сложных каталитических систем с использованием структурированных насадок [9; 10]. Строгое теоретическое исследование, моделирование таких течений и процессов весьма затруднено и не является на сегодня решенной задачей в связи с чрезвычайно высокой сложностью их описания [8]. Значительное влияние на эффективность разделения смесей, интенсивность теплообмена при пленочных течениях жидкостей и их смесей по поверхностям, в том числе структурированным, оказывают эффекты перераспределения жидкости, особенности эволюции волновых характеристик на свободной поверхности, динамика образования несмоченных зон, исследуемые, например, в работах [11–19]. Ограниченное количество работ (см., например, [12; 14; 15; 18]) посвящено исследова-

нию гидродинамики и теплообмена при волновых пленочных течениях маловязких высокосмачивающих жидкостей (фреоны и их смеси, азот). 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.

Целью данной работы является экспериментальное изучение особенностей пленочного течения азота по единичным элементам структурированных насадок при различной степени орошения.

Методика эксперимента

Исследования были проведены на экспериментальной установке, принципиальная схема которой представлена на рис. 1. Опытные данные получены при течении жидкого азота, находящегося на линии насыщения, в диапазоне изменения пленочного числа Рейнольдса $Re = 4\Gamma/\nu = 40\text{--}900$. 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, $\text{м}^2/\text{с}$. 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.

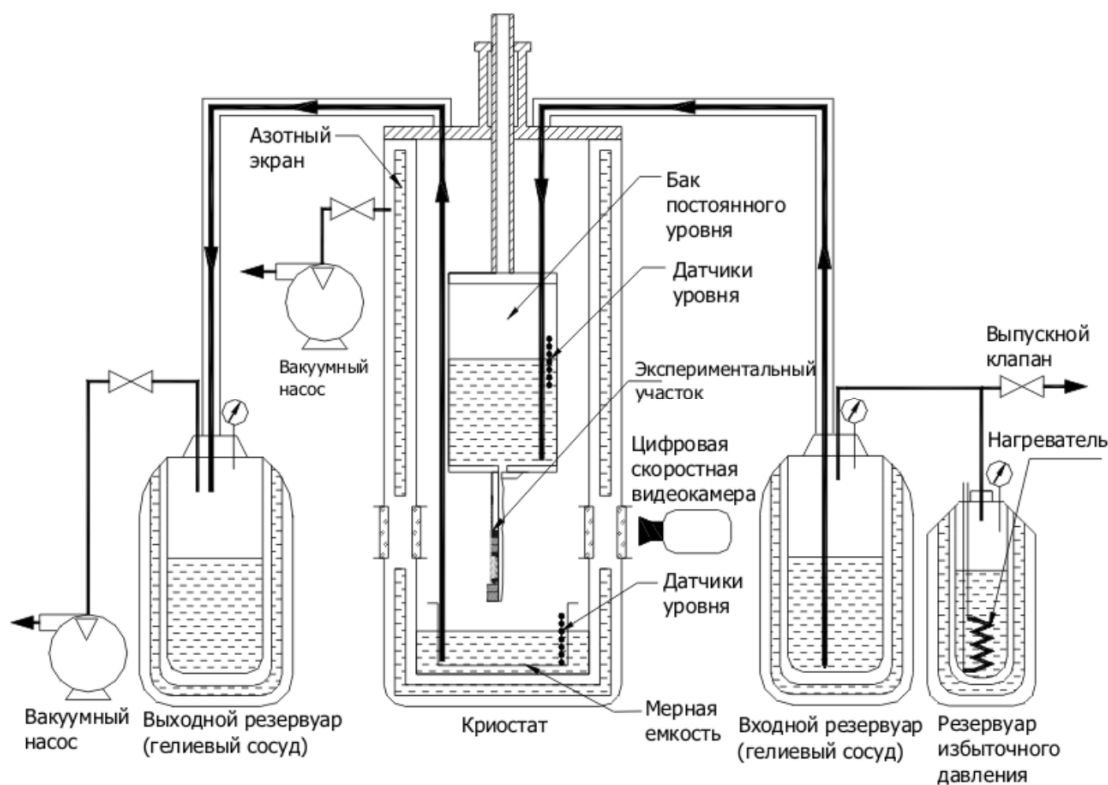


Рис. 1. Схема экспериментальной установки для исследования характеристик пленочного течения азота по структурированным поверхностям

Были проведены две экспериментальные серии опытов, в которых исследованы закономерности растекания и пленочного течения жидкого азота по поверхности одиночных структурированных перфорированных пластин насадок при различном направлении микротекстуры (горизонтальная и вертикальная ориентации) и изменении в практически реализуемом при дистилляции диапазоне степени пленочного орошения. Для обеспечения сравнительной базы были проведены также две дополнительные серии экспериментов на одиночных структурированных пластинах без микротекстуры: опыты при наличии и отсутствии отверстий. Таким образом, в экспериментах на оптическом криостате использовались следующие рабочие участки: перфорированная пластина с крупным гофрированием и горизонтальной текстурой (рис. 2, а); перфорированная пластина с крупным гофрированием и аналогичной текстурой, но с вертикальной ее ориентацией (рис. 2, б); перфорированная пластина с крупным гофрированием без микротекстуры (рис. 3, а); пластина с крупным гофрированием без перфорации и без

микротекстуры (рис 3, б). При проведении опытов на одиночных структурированных пластинах другие геометрические параметры оставались неизменными. Микротекстура имела амплитуду 0,2 мм и шаг 1,5 мм. Толщина пластин из алюминия составляла 0,2 мм. Угол наклона гофр к горизонтали составлял 47° , высота ребер – 7 мм, длина волны гофрирования – 10,1 мм, угол раскрытия ребер – 60° , диаметр отверстий составлял 4 мм. Параметры гофрирования пластины, микротекстуры, отверстий соответствуют аналогичным характеристикам целого ряда промышленных структурированных насадок, например типа Зульцер 500У. В опытах с горизонтальной микротекстурой опыты были проведены также при толщине пластины 0,15 мм. Исследования на данных рабочих участках позволили изучить влияние микротекстуры, ее ориентации, 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 ра-

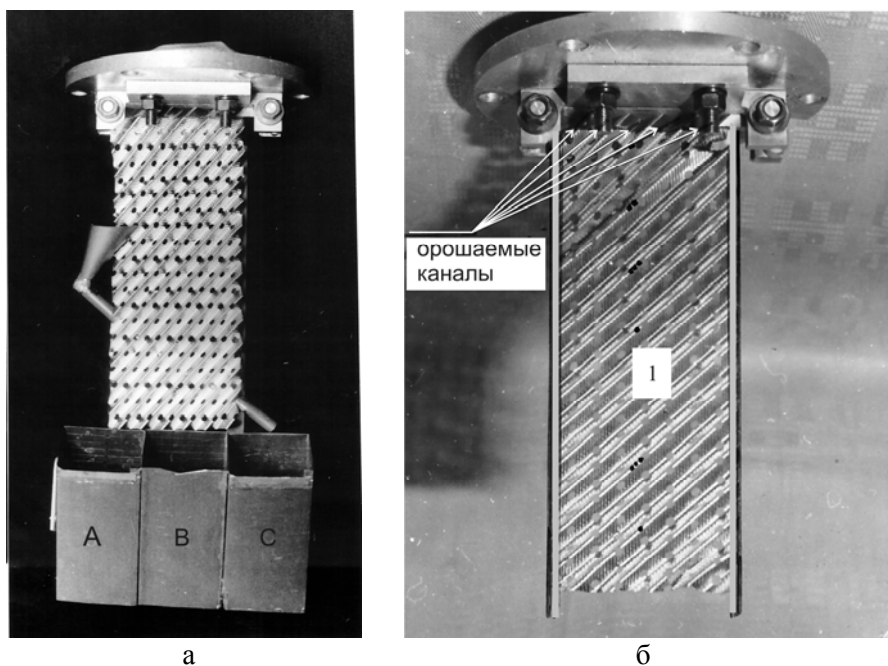


Рис. 2. Общий вид экспериментальной секции для исследования пленочного течения азота по рифленным перфорированным поверхностям с горизонтальным (а) и вертикальным (б) направлениями микротекстуры. А, В, С – мерные сосуды для измерения стекающих потоков азота с орошаемой и неорошаемой частей пластины; 1 – зона растекания жидкости – вся поверхность пластины

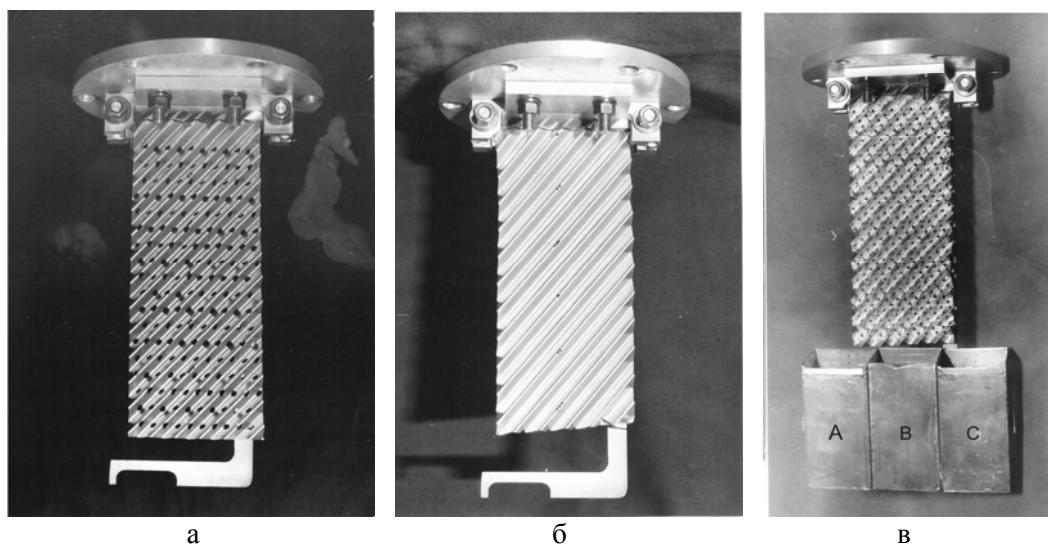


Рис. 3. Общий вид экспериментальных секций для исследования пленочного течения азота по рифленным перфорированной (а) и неперфорированной (б) поверхностям без микротекстуры; секции для измерения относительных долей жидкости, стекающей с левого и правого нижнего краев пластин, со средней нижней части пластин при орошении всех каналов на верхнем срезе пластин (в)

бочие участки через распределительную щель, образованную двумя пластинами, закрепленными на дне бака.

Установка заданного размера щели обеспечивалась прокладкой калиброванной ме-

таллической фольги толщиной 50 мкм. Форма распределительной щели имела ту же геометрию и углы изгиба, что и экспериментальные гофрированные пластины. Жидкий азот подавался на фронтальную

сторону (по рисунку) пластин. Во время экспериментов было обеспечено равномерное орошение каналов на верхнем срезе исследуемых пластин. В экспериментах применялись два метода орошения. В первом случае в верхней части всех исследованных пластин орошались все пять каналов. Во втором случае (в опытах на рифленной пластине с горизонтальной микротекстурой) 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. Для этого использовались три мерные емкости, расположенные под исследованными пластинами (см. рис. 2, а). При орошении всех каналов на верхнем срезе пластин дополнительно с регистрацией зон растекания пленки жидкого азота определялись относительные доли

жидкости, стекающей с левого и правого нижних краев пластин, а также со средней нижней части пластин. Для этого также применялся объемный метод измерения с использованием трех мерных емкостей, расположенных под исследуемыми пластинами (как показано на рис. 3, в).

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 режиму течения. Определены зоны растекания жидкости по поверхности рифленных пластин для различных чисел Рейнольдса (рис. 4). Показано, что размер зон растекания жидкости

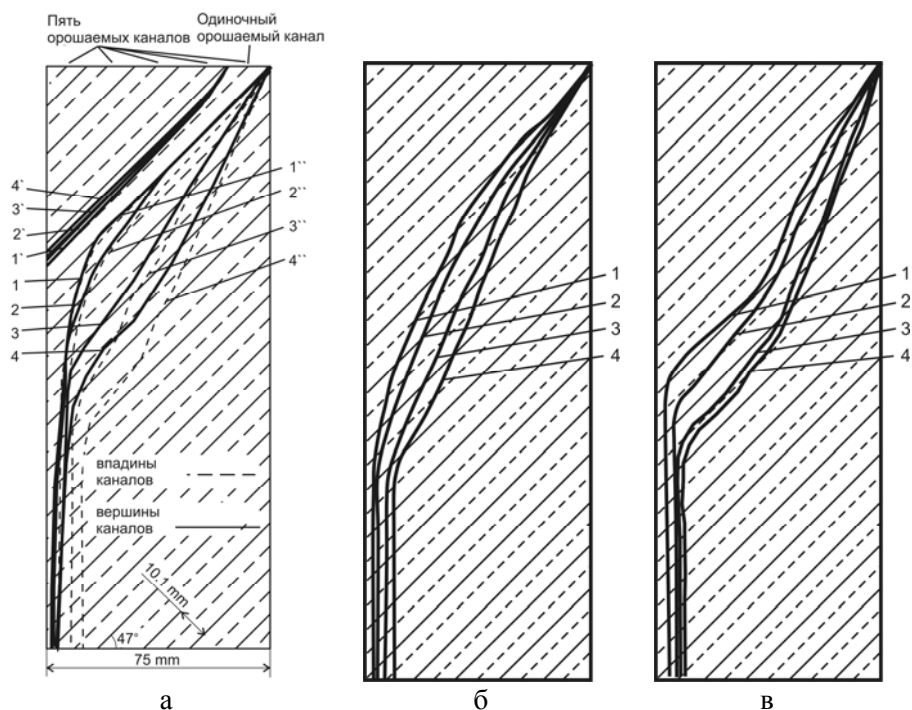


Рис. 4. Границы областей пленочного течения жидкого азота (угол наклона ребер – 47° , диаметр отверстий – 4 мм (на рисунке не показаны), толщина пластин – 0,2 мм): а – перфорированная пластина с горизонтальным направлением микротекстуры, одиночно орошаемый канал (1, 1'; 2, 2'; 3, 3'; 4, 4' – $q = 0,20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 258$; $q = 0,35 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 452$; $q = 0,52 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 667$; $q = 0,67 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 860$), соответственно (линии, помеченные цифрами с одним штрихом, соответствуют верхним границам линий смачивания; без штриха – нижним границам); пять орошаемых каналов (1'', 2'', 3'', 4'', линии, помеченные цифрами с двумя штрихами, соответствуют нижним границам линий смачивания); б, в – перфорированная пластина без микротекстуры (б) и пластина без микротекстуры и без отверстий (в) при орошении пяти каналов на верхнем срезе (1, 2, 3, 4 – $q = 1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 258$; $q = 1,75 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 452$; $q = 2,59 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 667$; $q = 3,34 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{с}$, $Re = 860$ соответственно)

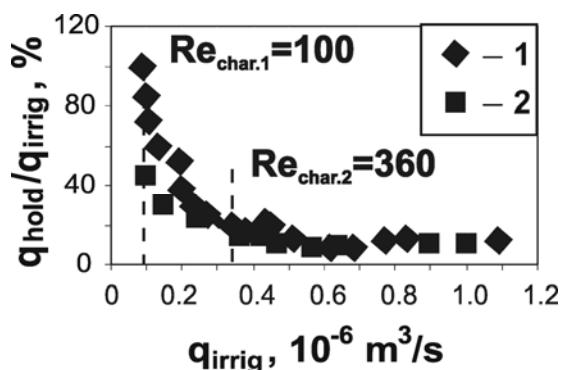


Рис. 5. Зависимость относительной доли азота, удерживаемого в одиночно орошаемом канале, от степени орошения (угол наклона ребер – 47° , горизонтальное направление микротекстуры, диаметр отверстий – 4 мм; 1, 2 – толщина пластин 0,2 и 0,15 мм соответственно)

весьма существенно зависит от степени орошения. Благодаря интенсивному перетoku через вершины крупных каналов с увеличением расхода жидкости размер зон растекания жидкости в неорошаемой (по каналам) части пластин существенно увеличивается. Анализ полученных результатов показывает, что наличие микротекстуры и ее ориентация оказывают существенное влияние на характер пленочного течения жидкости, размер и форму зон ее растекания по поверхности пластин.

Наличие горизонтальной микротекстуры в сравнении с нетекстурированной пластиной оказывает наибольшее влияние при малой степени орошения (при числах Рейнольдса меньше 300), когда средняя толщина пленки жидкости становится значительно меньше амплитуды микротекстуры. При наличии горизонтальной микротекстуры при малых значениях степени орошения размер смоченных зон заметно уменьшается (ср. рис. 4, а, б). При наименьшем значении числа Рейнольдса ($Re = 258$) жидкость практически не перетекает из орошаемых каналов в неорошаемую часть пластины. Визуализация течения жидкости на орошаемой (лицевой) и неорошаемой (обратной) сторонах пластин показывает значительный переток жидкости через отверстия, оказывающий также влияние на размер и форму зон ее растекания. Из проведенного анализа также следует, что размер смоченных зон на орошаемой стороне пластины с отверстиями существенно уменьшается по сравнению с данными для пластины без отверстий при

малой степени орошения, когда переток жидкости через отверстия на обратную сторону пластины заметно снижает общий расход жидкости на ее орошаемой стороне, а обратный поток через отверстия еще незначителен и не компенсирует взаимные общие перетоки с разных сторон пластины (ср. данные при $Re = 258$ и $Re = 452$ на рис. 4, б, в). Анализ опытных данных показывает, что наиболее сильное влияние на исследуемые характеристики оказывает направление микротекстуры. При вертикальном направлении микротекстуры, в отличие от случая с горизонтальным направлением микротекстуры, зона растекания жидкости распространяется на всю поверхность неорошаемых каналов (ср. рис. 4, а и 2, б) во всем исследованном диапазоне изменения степени орошения. Пленочное течение жидкости по вертикальным каналам микротекстуры способствует более значительному ее перетoku через вершины крупных ребер, обеспечивая смачивание всей поверхности пластины (см. рис. 2, б). В этом случае, как показывает визуализация, также существенно увеличивается переток жидкости через отверстия с одной стороны пластины на другую, заметно влияющий на перераспределение потока жидкости по поверхности пластин.

В опытах при орошении на верхнем срезе пластины одиночного канала получена зависимость относительной доли жидкости, удерживаемой в орошаемом канале, в зависимости от степени орошения (рис. 5). На рис. 5 величина q_{irrig} соответствует объемному расходу жидкости на входе в орошаемый канал, q_{hold} – объемному расходу жидкости, стекающей с левого края орошаемого канала. Показано, что при малой степени орошения ($Re \leq Re_{char.1} \approx 100$) вся жидкость течет только вдоль орошаемого канала. При достижении значения пленочного числа Рейнольдса $Re_{char.1}$ начинается переток части жидкости в нижележащие неорошаемые каналы. Как показывает визуализация, при малых расходах жидкости в случае орошения одиночного канала жидкость течет преимущественно в нижней части поверхности и впадине канала (см. рис. 4, а). Верхняя часть поверхности канала частично или полностью (в зависимости от степени орошения) остается несмоченной. Разрыв стекающей пленки будет приводить к выпадению значительной части поверхности из процесса массообмена и в итоге снижать

эффективность работы пленочного аппарата при уменьшении степени орошения (в особенности, при $Re \leq Re_{char.1}$).

Результаты высокоскоростной видеосъемки показывают, что динамические эффекты при распространении крупных волн оказывают значительное влияние на перераспределение жидкости в поперечном направлении по периметру больших каналов. Это связано с тем, что при пересечении крупными волнами горизонтальных микроканалов жидкость начинает более интенсивно перетекать в виде вторичных волн вдоль микротекстуры. Поэтому процесс, например, перетока через вершины крупных ребер является существенно нестационарным. Периодические вторичные волны, распространяющиеся по каналам горизонтальной микротекстуры при прохождении крупных волн по поверхности пластин, также оказывают существенное влияние на интенсивность перетока через крупные ребра.

С увеличением степени орошения относительная доля жидкости, удерживаемой в орошаемом канале, резко уменьшается благодаря перетоку в нижележащие каналы, и затем, при достижении $Re = Re_{char.2} \approx 360$, выходит на постоянное значение. Как показывает сравнение (см. рис. 4, а), положения нижних границ смоченных зон в то же время близки друг другу для двух рассмотренных случаев при орошении всех каналов или одиночного канала на верхнем срезе пластины. Здесь следует обратить внимание на то, что при одинаковых плотностях орошения Γ (для обеспечения в опытах аналогичных значений пленочного числа Рейнольдса) объемные расходы жидкости q при орошении пяти каналов были в пять раз больше, чем при орошении одиночного канала.

Таким образом, показано влияние микротекстуры, ее направления, перфорации на характеристики течения, динамику и расположение зон разрыва пленки жидкости и возникновение устойчивых сухих пятен на гофрированной поверхности при различных способах и степени орошения. Следует отметить, что распределители жидкости являются сложными и дорогостоящими элементами дистилляционных колонн со структурированными насадками и предназначены для обеспечения как можно более равномерного начального распределения жидкости, но с учетом неизбежных конструктив-

ных ограничений, связанных с необходимостью обеспечения выхода парового потока через заданные зоны поперечного сечения оросителя. 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 число точек орошения в реальных условиях ограничено (1 точка орошения примерно на 20–50 элементарных ячеек насадки, образуемых перекрестными каналами), всегда распределение локального расхода жидкости по сечению насадки является существенно неравномерным, часть ее гофрированной поверхности оказывается несмоченной, что приводит к уменьшению эффективности разделения как вследствие неравномерности распределения по сечению локальных расходов жидкости и пара, так и за счет уменьшения поверхности массообмена. Выявленные закономерности, несомненно, представляют интерес для разработчиков конструктивных элементов дистилляционных колонн, для создания современных моделей тепломассообмена при противоточном течении парожидкостного потока в структурированных насадках и их тестирования в широком диапазоне изменения степени орошения.

Заключение

Представлены результаты экспериментальных исследований по изучению характера, особенностей пленочного течения жидкости по поверхности единичных элементов регулярных канальных систем. Получены новые опытные данные по влиянию микротекстуры и ее направления, перфорации на зоны растекания пленки жидкости по корругированной поверхности при различных значениях пленочного числа Рейнольдса. Показано, что относительная доля жидкости, удерживаемой в одиночно орошаемом канале корругированных пластин, существенно зависит от степени орошения. Выявлено, что при малой степени орошения ($Re \leq Re_{char.1} \approx 100$) вся жидкость течет только вдоль орошаемого канала в зоне впадины и нижележащей от нее поверхности, не перетекая в нижележащие каналы.

Полученные результаты важны как для разработки оптимальных форм структури-

рованных поверхностей, совершенствования конструкций распределителей жидкости с целью интенсификации тепломассообмена 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. *Каган А. М., Лаптев А. Г., Пушинов А. С., Фарахов М. И.* Контактные насадки промышленных тепломассообменных аппаратов / Под ред. А. Г. Лаптева. Казань: Отечество, 2013. 454 с.
2. *Протасов С. К., Боровик А. А., Матвейко Н. П.* Исследование новой регулярной насадки // Химическая промышленность. 2013. Т. 90, № 2. С. 97–101.
3. *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 насадкой // Химическая промышленность. 2012. Т. 89, № 4. С. 170–180.
4. *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.
5. *Grunig J., Kim S.-J., 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.
6. *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.
7. *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.
8. *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.
9. *Boyer C., Fanget B.* Measurement of liquid flow distribution in trickle bed reactor of large diameter with a new gamma-ray tomographic system // *Chemical Engineering Science.* 2002. Vol. 57. P. 1079.
10. *Behrens M.* Hydrodynamics and mass transfer performance of modular catalytic structure packing. Delft, 2006. 279 p.
11. *Salvagnini W., Taqueda M. A.* Falling-Film Evaporator with Film Promoters // *Ind. Eng. Chem. Res.* 2004. Vol. 43. No. 21. P. 6832–6835.
12. *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.
13. *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.
14. *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.
15. *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.
16. *Чиннов Е. А., Шатский Е. Н.* Развитие искусственных возмущений в неизотермической пленке жидкости // *Теплофизика высоких температур.* 2011. Т. 49, № 6. С. 918–923.
17. *Чиннов Е. А., Шатский Е. Н.* Амплитуды трехмерных волн в неизотермической пленке жидкости // *Письма в ЖТФ.* 2013. Т. 39, вып. 5. С. 41–47.
18. *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.

19. Сердюков В. С., Суртаев А. С., Володин О. А. Исследование динамики парообразования при кипении в стекающих недогретых пленках жидкости // Вестн. Но-

восиб. гос. ун-та. Серия: Физика. 2014. Т. 9, вып. 2. С. 145–155.

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

THE FEATURES OF THE FILM FLOW OF LIQUID NITROGEN OVER THE STRUCTURED SURFACES

Experimental results on hydrodynamics of cryogenic liquid film flow over the surface of the single elements of the structured packing are presented. Based on the comparison of experimental data, the effect of microtexture and perforation on the zones of liquid film spreading over a corrugated surface is shown for different values of the film Reynolds number. The results of experiments on dependence of a relative portion of liquid held in a single irrigated channel of the corrugated plates with different thicknesses on irrigation degree are presented. It is shown that microtexture, its direction relative to the gravity has a significant effect on redistribution of the local flow rate of liquid flowing over the surface with complex geometry.

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