

На правах рукописи

СТАРИКОВА ЕЛЕНА ЮРЬЕВНА

**ТЕПЛООБМЕН ПРИ КИПЕНИИ НА ТРУБАХ
РАЗНОЙ ОРИЕНТАЦИИ В ЗЕРНИСТОМ СЛОЕ**

05. 14. 04 – Промышленная теплоэнергетика

*Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук*

Томск 2001

Общая характеристика работы.

Актуальность работы.

В последнее время уделяется большое внимание исследованию теплообменных процессов в зернистых средах, что связано с широкой областью применения таких процессов в различных инженерных приложениях. Зернистые материалы применяются в аппаратах насадочного типа для увеличения поверхности контакта фаз, в химических реакторах с зернистым слоем катализатора, в регенеративных теплообменниках, в ядерных реакторах и т.д. В теплоэнергетике расширяется использование глубинного тепла Земли, которое извлекают методом “подземного котла”. Широкое распространение получили методы интенсификации нефтеотдачи нефтяных пластов и увеличения добычи вязких сортов нефти, основанные на паротепловом воздействии на пласты.

Процесс теплообмена при кипении чрезвычайно широко распространен в технике. Кипение жидкостей имеет место в многочисленных выпарных аппаратах, работающих в химической, пищевой, нефтяной и других отраслях промышленности, при генерации пара в паровых котлах и испарителях на электростанциях, при испарительном охлаждении конструкций металлургических печей, в атомных реакторах и во многих других аппаратах современной техники.

Организация процесса кипения на поверхностях, покрытых пористыми или зернистыми структурами, в большинстве случаев существенно улучшает процесс теплообмена, в частности процесс охлаждения, по сравнению с другими способами снятия тепловой нагрузки. В теплоэнергетике широко используют процесс нагрева и испарения жидкостей в трубах разной ориентации. Знание закономерностей процессов тепло- и массотдачи в таких условиях позволяет улучшить теплотехнические характеристики теплообменников, экономить расход теплоты, использовать новые источники энергии.

В настоящее время имеется ограниченное количество работ, посвященных исследованию теплообмена при кипении и конденсации пара на поверхности, помещенной в зернистый слой. Впервые эти процессы были рассмотрены в работах Парминтера, Ченга и Накорякова.

Цель работы.

Задачей настоящего исследования является получение экспериментальных данных о теплообмене при кипении на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои, с достаточной степенью достоверности в широком диапазоне изменения параметров, влияющих на процесс, для установления закономерности теплообмена; экспериментальное изучение возможности использования нового хладагента R227 в качестве рабочего вещества в испарителях холодильных машин; исследование стойкости используемых в эксперименте кон-

струкционных материалов; разработка методики и рекомендаций по расчету теплообменного оборудования, в котором происходят процессы кипения в зернистом слое.

Научная новизна.

1. Впервые получены экспериментальные данные по теплообмену при кипении на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои, состоящие из сферических частиц различного диаметра, в широком диапазоне изменения определяющих параметров.

2. Показано наличие различных режимов кипения на трубах разной ориентации в различных зернистых слоях, при отсутствии резкого перехода от одного режима к другому.

3. Определена зависимость критических тепловых потоков от угла наклона трубы.

4. Разработана методика автоматизированного сбора и обработки информации при исследовании теплообмена при фазовых превращениях на поверхностях с зернистым слоем.

Автор защищает.

1. Методы экспериментального исследования и экспериментальное оборудование для проведения опытов по теплообмену при кипении на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои.

2. Результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении хладонов на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои.

Практическая ценность.

1. Проведены экспериментальные исследования процесса кипения на новом, неисследованном ранее озонобезопасном хладоне R227, который рекомендован для применения в холодильной технике.

2. Разработана методика расчета теплообменных аппаратов с кипением жидкостей в зернистых слоях.

3. Результаты исследований используются в учебном процессе в курсах "Процессы и аппараты химической технологии", "Теоретические основы теплотехники", "Основы автоматизированного проектирования", курсовом и дипломном проектировании.

Апробация работы.

Работа докладывалась на научно-методических семинарах и научных конференциях Кузбасского государственного технического университета, Ке-

мерово, 1999 - 2001 гг.; на 3-й Международной научно-практической конференции “Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири”, Кемерово, 1999 г.

Личное участие автора

Работа выполнена в Кузбасском государственном техническом университете под руководством докт. техн. наук П.Т. Петрика при участии канд. техн. наук И.В. Дворовенко и канд. техн. наук А.Р. Богомолова.

Автором разработана и освоена методика проведения экспериментов, выполнены работы по разработке и созданию экспериментального стенда, создано программное обеспечение для проведения экспериментов и обработки опытных данных, проведены эксперименты, результаты которых представлены в данной работе.

Объем работы.

Диссертация состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованной литературы и приложения. Общий объем диссертации составляет 110 страниц текста, в том числе 28 рисунков и графиков, 15 таблиц, список литературных источников составляет 114 наименований.

Содержание работы.

В первой главе рассматривается современное состояние вопроса о кипении жидкостей на поверхностях, помещенных в зернистые и пористые слои.

В многочисленных работах авторы на основании имеющихся экспериментальных данных делают попытку их обобщения различными эмпирическими и полуэмпирическими уравнениями, выражающими зависимость интенсивности теплообмена, критических тепловых потоков и гистерезисных явлений от структуры и параметров пористых покрытий различных по форме и ориентации поверхностей. Анализ известных экспериментальных работ показывает, что полученные данные и сделанные на их основе выводы отличаются друг от друга, а в некоторых случаях противоречат друг другу.

Так, например, в большинстве работ авторы получили результаты, показывающие увеличение интенсивности теплообмена (от незначительного до десятикратного), в то же время в ряде работ утверждается, что пористый слой практически не влияет на интенсивность теплообмена, либо снижает ее. Также противоречивы данные о величине критического теплового потока $q_{кр}$. В ряде работ кризис кипения наступал при тепловых потоках, превышающих соответствующую величину для гладкой поверхности от 1,5 до 4 раз, и даже на порядок, однако, в некоторых работах не обнаружено влияние пористого слоя на величину $q_{кр}$, а некоторыми исследователями отмечается, что переход от пузырькового к пленочному кипению наступает значительно раньше, чем в тех же условиях на гладкой поверхности.

Обнаружено, что основными параметрами пористого покрытия, влияющими на кризис, являются пористость и размер пор; а также, что наблюдается существенное увеличение времени развития кризиса по сравнению с гладкой трубой. Достоверность результатов, полученных различными авторами, не вызывает сомнений, а противоречия в выводах возникают из-за различия условий проводимых экспериментов и невозможности учета влияния всех параметров на процесс в отдельных сериях экспериментальных исследований.

Разные авторы отмечают взаимное влияние различных факторов на интенсивность теплообмена и сложности, возникающие при математическом обобщении действия этих факторов; фактически на данном этапе исследований можно получить только качественное представление о зависимости коэффициента теплоотдачи от отдельных параметров.

Одно перечисление влияющих параметров, как правило, сложно взаимосвязанных между собой, показывает, что создание теории теплообмена при кипении на поверхности с пористым покрытием является задачей многоплановой и ее решение требует проведения дальнейших теоретических и экспериментальных исследований для создания модели, описывающей данный процесс. Сегодня пористые структуры таят в себе больше неизведанного, чем понятого и освоенного.

Не удалось обнаружить в литературе зависимостей, определяющих теплообмен при кипении жидкостей в зернистых слоях на наклонных трубах разной ориентации.

На основе анализа опубликованного в литературе теоретического и экспериментального материала поставлена задача настоящего исследования.

Во второй главе приведена методика проведения опытов по теплообмену при кипении на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои; описаны экспериментальный стенд и методика измерений, примененные в исследованиях; обоснован выбор рабочих веществ (хладоны R12 и R227); описана методика сбора и обработки информации с помощью ЭВМ. Сделан анализ погрешности измерений при определении коэффициента теплоотдачи.

Экспериментальные исследования теплообмена при кипении на трубах разной ориентации в зернистой среде проводились на стенде, принципиальная схема которого представлена на рис. 1. Основной частью стенда является емкость, состоящая из двух, расположенных под углом друг к другу полостей, выполняющих роль кипятильника 1 и конденсатора 2. В кипятильнике были установлены рабочие трубки 4 и 5. Для задания различных углов наклона труб к горизонту конденсатор и испаритель подвешивались на шарнирной опоре 10.

В экспериментах были использованы слои из стеклянных шариков диаметром 0,8 мм и 1,1 мм и стальных шариков 1,3 мм. Для измерения температуры стенки трубки в двух ее сечениях были закреплены по 4 хромелькопелевых термопары 8.

В третьей главе рассматриваются результаты экспериментального исследования теплообмена при кипении различных хладонов на гладких трубах и трубах, помещенных в зернистый слой. Для отработки методики эксперимента

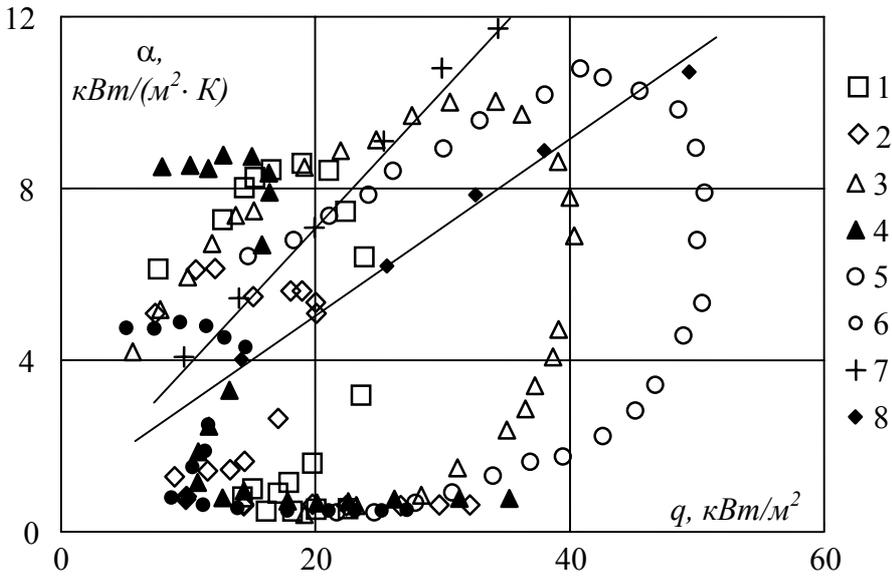


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплоотдачи от удельного теплового потока при кипении хладагента R12

1 - $d=0,8$ мм, горизонтальная; 2 – вертикальная; 3 - $d=1,1$ мм, горизонтальная; 4 - вертикальная; 5 - $d=1,3$ мм, горизонтальная; 6 - вертикальная; 7 – гладкая горизонтальная; 8 - вертикальная

перед началом основного опыта проводились исследования теплообмена на гладких трубах. Дается сравнение данных, полученных при кипении хладонов на гладких трубах, с данными других авторов. Как показали исследования, наши данные незначительно отличаются от данных других авторов (приблизительно на 5%), что говорит об удовлетворительной точности

методики экспериментального исследования теплообмена при кипении хладонов на трубе.

На рис. 2 представлена обработка опытных данных, полученных при кипении хладагента R12 на горизонтальной и вертикальной трубах, помещенных в зернистые слои, в координатах $\alpha=f(q)$. Форма и структура кривых кипения аналогична классическим кривым кипения, полученным ранее большим числом ученых при исследовании процессов кипения на гладких поверхностях. На наших кривых довольно четко различается три режима кипения: пузырьковый, переходный и пленочный. Для всех размеров частиц при горизонтальном положении трубы наблюдается большая интенсивность теплоотдачи.

На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости $\alpha=f(q)$ при кипении хладагента R227. При проведении экспериментов на хладагенте R227 не удалось получить полных кривых кипения, содержащих пузырьковый, пленочный и переходный режимы при всех положениях трубы.

Основное отличие наблюдаемых нами процессов кипения обоих хладонов в зернистых слоях от кипения жидкостей на гладких поверхностях состоит в обнаруженном длительном, плавном переходе от пузырькового к пленочному кипению, т.е. кризисов кипения как резкой смены видов кипения мы не наблюдаем.

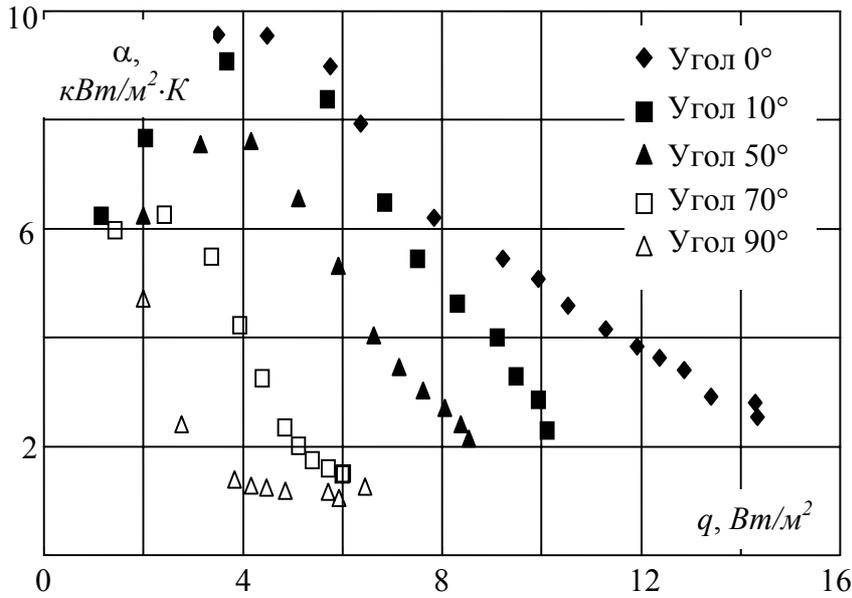


Рис. 3. Зависимость коэффициента теплоотдачи от удельного теплового потока при кипении хладона R227 на наклонных трубах, диаметр частиц $d=1,1$ мм

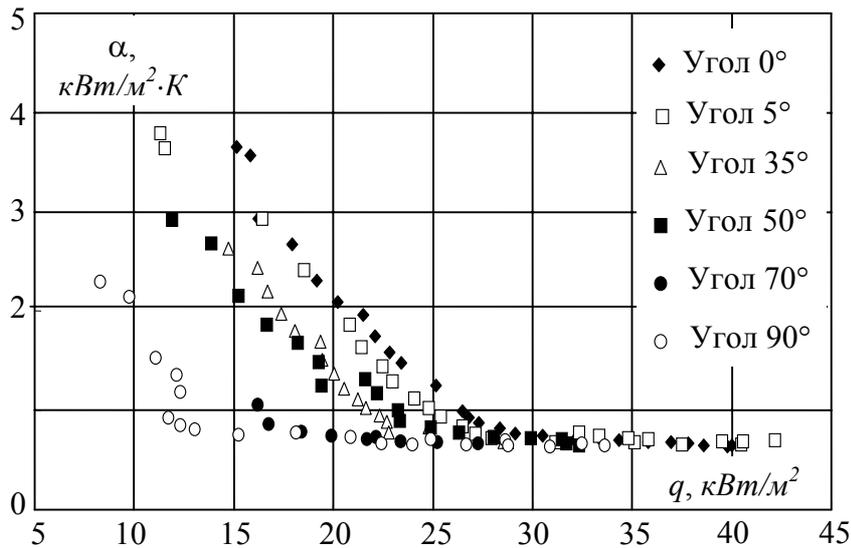


Рис. 4. Зависимость коэффициента теплоотдачи от удельного теплового потока при кипении хладона R227 на наклонных трубах, диаметр частиц $d=0,8$ мм

потока, при котором коэффициент теплоотдачи становится постоянным ($\alpha = \text{const}$) и имеет минимальное значение $\alpha_{кр2} = \alpha_{\min}$, и, таким образом, при $q > q_{кр2}$ осуществляется пленочный режим кипения. При $q_{кр1} < q < q_{кр2}$ – область переходного режима кипения, в котором имеет место локальное запаривание в отличие от пленочного режима, когда происходит сплошное запаривание поверхности трубы.

Значения $q_{кр1} \approx 15 \div 40$ кВт/м² во всех экспериментах. Причем, чем меньше угол наклона трубы к горизонту, тем больше значения $\alpha_{кр1}$ и $q_{кр1}$.

Расчет по формуле Кутателадзе

$$q_{кр1} = 0,13r \sqrt{\rho''^4 \sigma g (\rho' - \rho'')} \quad (1)$$

дали. Видимо, в этой области оба вида кипения и во времени и по поверхности непрерывно сменяют друг друга, пока не произойдет полное запаривание.

На рис. 2, 3 и отчасти 4 видно, что кривые $\alpha = f(q)$ имеют максимумы, т.е. при увеличении удельного теплового потока значение коэффициента теплоотдачи α увеличивается до определенного значения $\alpha_{\max} = \alpha_{кр1}$, соответствующего значению удельного теплового потока $q_{кр1}$, называемого первым критическим тепловым потоком. Ввиду того, что наблюдается продолжительная переходная область от пузырькового к пленочному кипению будем полагать вторым критическим тепловым потоком $q_{кр2}$ значение теплового

позволил определить значение первой критической плотности теплового потока для хладона R12 на гладкой трубе: $q_{кр1}=340 \text{ кВт/м}^2$, а для хладона R227 $q_{кр1}=300 \text{ кВт/м}^2$.

Сравнение результатов эксперимента с этой величиной показывает, что первая критическая плотность теплового потока на трубах, помещенных в зернистый слой, почти на порядок ниже, чем на гладкой трубе. Этот факт можно объяснить тем, что при пузырьковом кипении в зернистой среде частицы слоя оказывают тормозящее воздействие движению пузырей от поверхности нагрева. С ростом тепловой нагрузки и увеличением количества и размеров паровых пузырей они начинают скапливаться у поверхности и оттеснять от нее жидкость, что ведет к образованию паровой пленки у поверхности трубы и к переходу к пленочному режиму кипения при более низких плотностях теплового потока, чем на поверхности без зернистого слоя.

На рис. 2 для сравнения нанесены экспериментальные точки и линии, полученные при исследовании процесса кипения хладона R12 на гладкой трубе. Как видно из графиков, на гладких трубах процесс пузырькового кипения происходит менее интенсивно, чем на трубах, помещенных в зернистые слои, т.е. видно, что наблюдается интенсификация теплообмена при кипении хладона на трубе, помещенной в различные зернистые слои. Кроме того, кипение на гладких трубах происходило только в пузырьковом режиме в нашем эксперименте, т.к. достичь критических плотностей тепловых потоков более 300 кВт/м^2 не представлялось возможным.

Обработка экспериментальных значений $q_{кр1}$, полученных при кипении хладонов R12 и R227, позволила предложить зависимость, аналогичную (1)

$$q_{кр1} = Akr\sqrt{\rho''}^4\sqrt{\sigma g(\rho' - \rho'')} \quad (2)$$

В формуле (2) A – коэффициент пропорциональности, равный по данным опытов $15 \cdot 10^6 \text{ 1/м}^2$. На рис. 5 представлено сравнение экспериментальных данных с расчетом по уравнению (2). График показывает удовлетворительное совпадение экспериментальных данных с расчетом.

На рис. 6 и 7 представлены графики зависимости $\alpha=f(\Delta T)$. Анализируя графики, можно сделать вывод, что для обоих хладонов автотель-

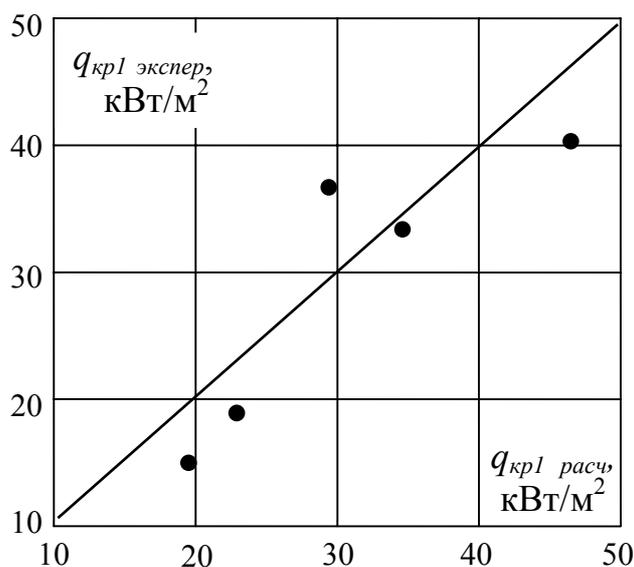


Рис. 5. Сравнение расчетных и экспериментальных значений первых критических тепловых потоков

ность α от ΔT наступает раньше для более мелкой фракции зернистого слоя ($d=0,8$ мм) и большего угла наклона трубы к горизонту. Кроме того, в присутствии засыпки с более крупными частицами ($d=1,1$ для R227 и $d=1,3$ мм R12) на горизонтальной трубе процесс пузырькового и переходного режимов кипения

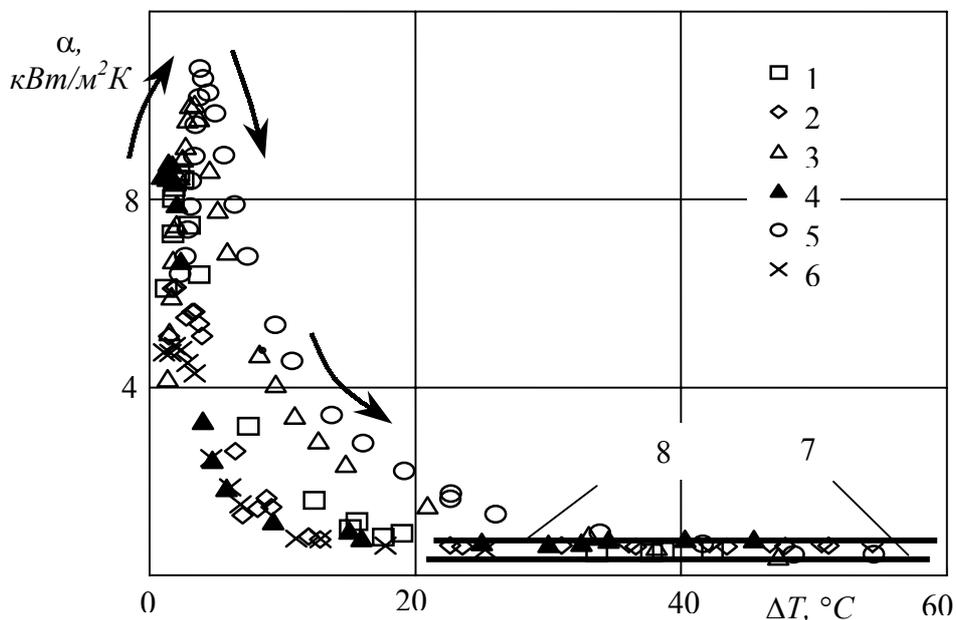


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплоотдачи от разности температур при кипении хладона R12

1 – диаметр частиц $d=0,8$ мм, горизонтальная труба, 2 – вертикальная; 3 – диаметр частиц $d=1,1$ мм, горизонтальная труба, 4 – вертикальная; 5 – диаметр частиц $d=1,3$ мм, горизонтальная труба, 6 – вертикальная; 7 – расчет по (3) при $B=0,25$; 8 – расчет по (3) при $B=0,37$

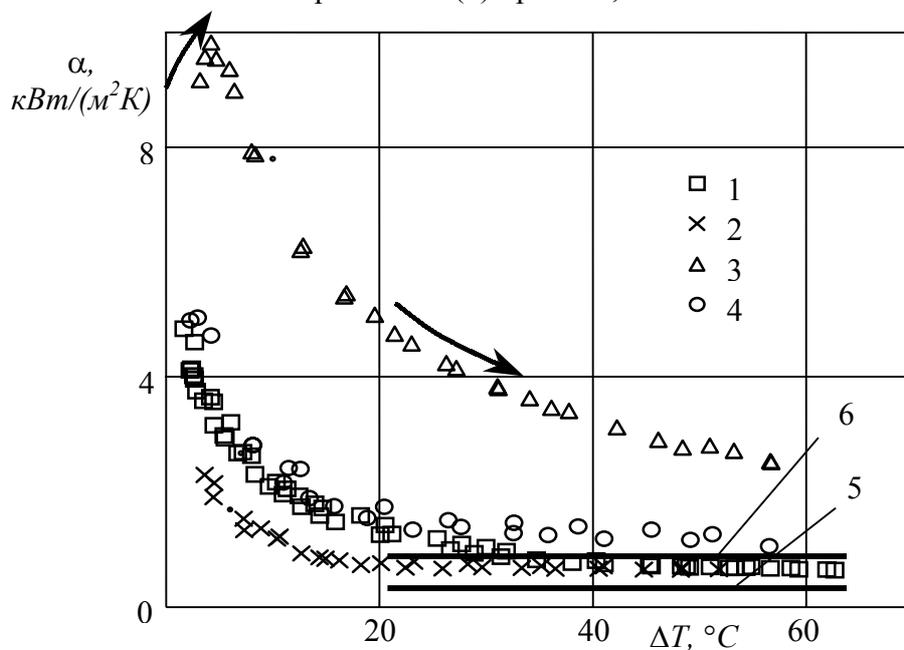


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплоотдачи от разности температур при кипении хладона R227

1 – диаметр частиц $d=0,8$ мм, горизонтальная труба, 2 – вертикальная; 3 – диаметр частиц $d=1,1$ мм, горизонтальная труба, 4 – вертикальная; 5 – расчет по (3) при $B=0,25$; 6 – расчет по (3) при $B=0,49$

ния происходит намного интенсивнее, чем в случае с меньшими частицами. Влияние ориентации трубы также очевидно: в случае горизонтального положения наблюдается большая интенсивность теплоотдачи, чем для вертикального расположения рабочего участка.

На рис. 7 представлены кривые $\alpha=f(\Delta T)$ только для вертикального и горизонтального, дабы излишне не загромождать поле чертежа. Данные для других углов наклона трубы находятся в промежутке между представленными линиями. На рис. 6 и 7 стрелками показано направление ведения процесса кипения: от пузырькового к пленочному режиму. На графиках выполнено также сравнение наших экспериментальных данных с расчетными значениями коэффициентов теплоотдачи при пленочном кипении на гладких поверхностях по формуле

$$\alpha = B \left(\frac{(\lambda'')^2 \rho'' c_p'' (\rho' - \rho'') g}{\mu''} \right)^{0,33} \quad (3)$$

На рис. 6 и 7 результаты расчетов по формуле (3) при значении коэффициента $B=0,25$ представлены линиями 7 и 5 соответственно. Можно отметить, что наши экспериментальные данные располагаются несколько выше расчетных линий, особенно для хладагента R227, что говорит о некоторой интенсификации теплообмена при пленочном кипении в зернистом слое по сравнению с гладкой поверхностью. Кроме того, линиями 8 и 6 на этих рисунках представлены результаты расчетов по формуле (3) при значениях коэффициента $B=0,37$ для хладагента R12 и $B=0,49$ для хладагента R227. Таким образом, при пленочном кипении жидкостей в зернистых слоях коэффициент теплоотдачи может быть рассчитан по формуле (3), которая удовлетворительно обобщает полученные нами экспериментальные данные.

На основе анализа зависимостей $\alpha=f(q)$ для хладагента R227 для разных уг-

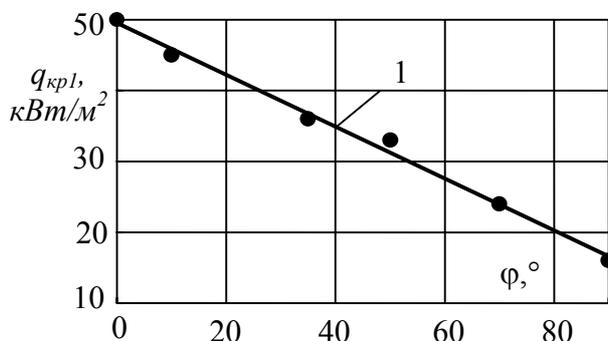


Рис. 8. Зависимость первого критического теплового потока от угла наклона трубы при кипении хладагента R227; диаметр частиц засыпки $d=1,1$ мм; 1 – расчет по (4)

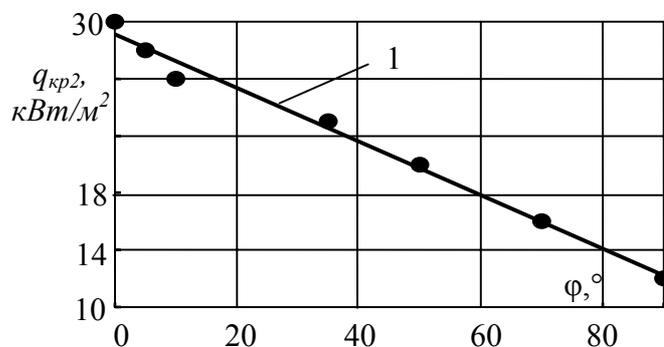


Рис. 9. Зависимость второго критического теплового потока от угла наклона трубы при кипении хладагента R227, диаметр частиц засыпки $d=0,8$ мм; 1 - расчет по (5)

лов наклона трубы были построены графики зависимости $q_{кр1}=f(\varphi)$ для зерни-

стого слоя с диаметром частиц 1,1 мм (рис. 8) и $q_{кр2}=f(\varphi)$ для зернистого слоя с диаметром частиц 0,8 мм (рис. 9).

Как видно из рис. 8 и 9, зависимости критических тепловых потоков от угла наклона трубы носят линейный характер. Графики зависимостей $q_{кр1}=f(\varphi)$ и $q_{кр2}=f(\varphi)$ аппроксимируются линейными полиномами:

$$q_{кр1}=49,5-0,36\varphi, \text{ кВт/м}^2, \quad (4)$$

$$q_{кр2}=29,1-0,19\varphi, \text{ кВт/м}^2. \quad (5)$$

Как видно из рис. 2-4, данные экспериментальных исследований для разных положений трубы не обобщаются в координатах $\alpha=f(q)$. Поэтому нами сделана попытка обобщения данных в приведенных координатах. На рис.10 - 12 представлены результаты обработки экспериментальных данных в приведенных координатах: $\alpha'_1=f(q'_1)$ и $\alpha'_2=f(q'_2)$, где $\alpha'_1 = \alpha/\alpha_{кр1}$ и $\alpha'_2 = \alpha/\alpha_{кр2}$ – приведенные коэффициенты теплоотдачи, а $q'_1 = q/q_{кр1}$ и $q'_2 = q/q_{кр2}$ – приведенные удельные тепловые потоки.

Как видно из рис. 10, профили кривых $\alpha'_1=f(q'_1)$ для хладона R12 для горизонтального и вертикального положений трубы имеют одинаковый характер.

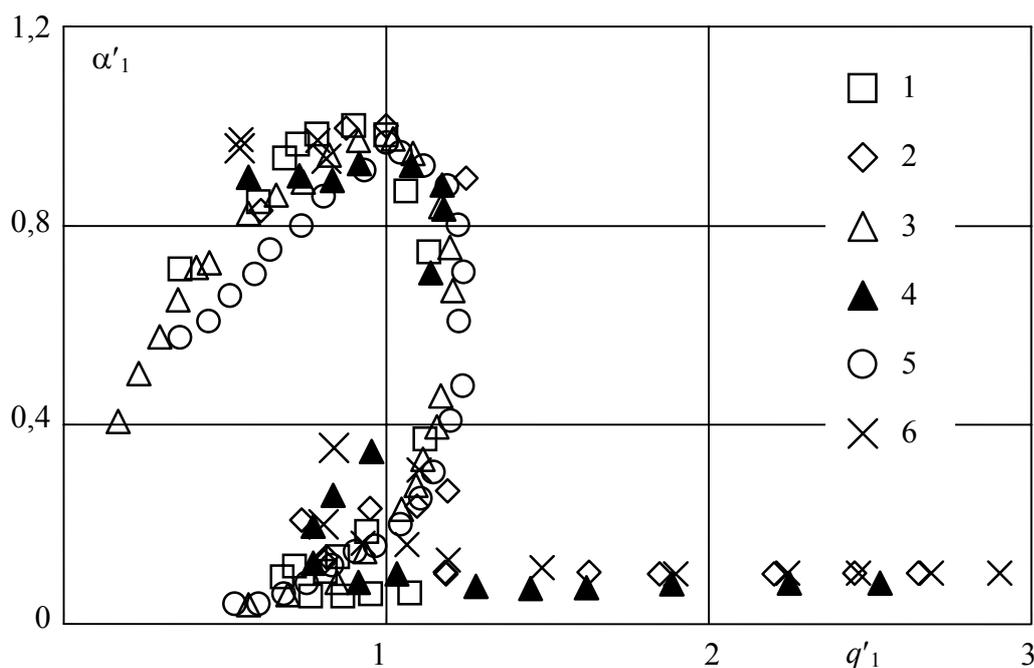


Рис. 10. Зависимость приведенного коэффициента теплоотдачи от приведенного теплового потока при кипении хладона R12

1 - $d=0,8$ мм, горизонтальная; 2 - вертикальная;

3 - $d=1,1$ мм, горизонтальная; 4 - вертикальная;

5 - $d=1,3$ мм, горизонтальная; 6 - вертикальная

Таким образом, в приведенных координатах экспериментальные данные в пределах погрешности эксперимента могут быть обобщены единой кривой $\alpha'_1=f(q'_1)$. Кроме того, на графике отчетливо различаются три различных закономерности

теплообмена, отвечающие различным режимам: пузырьковому, переход-

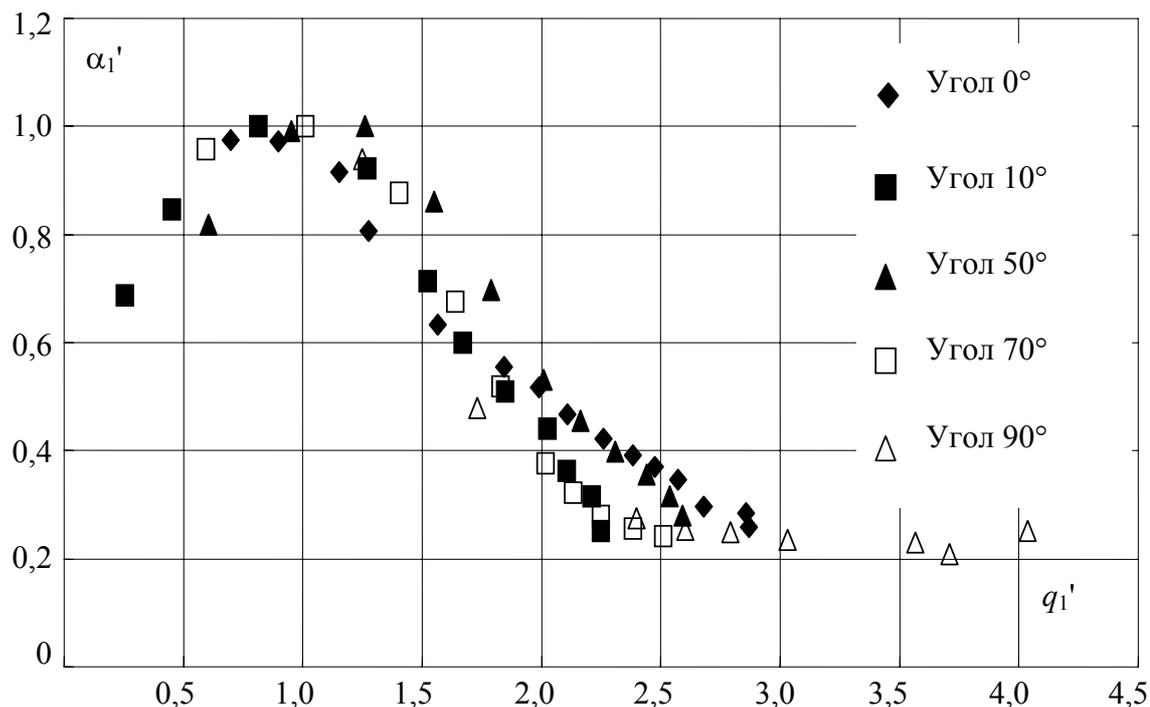


Рис. 11. Зависимость приведенного коэффициента теплоотдачи от приведенного теплового потока при кипении хладона R227, диаметр частиц засыпки 1,1 мм

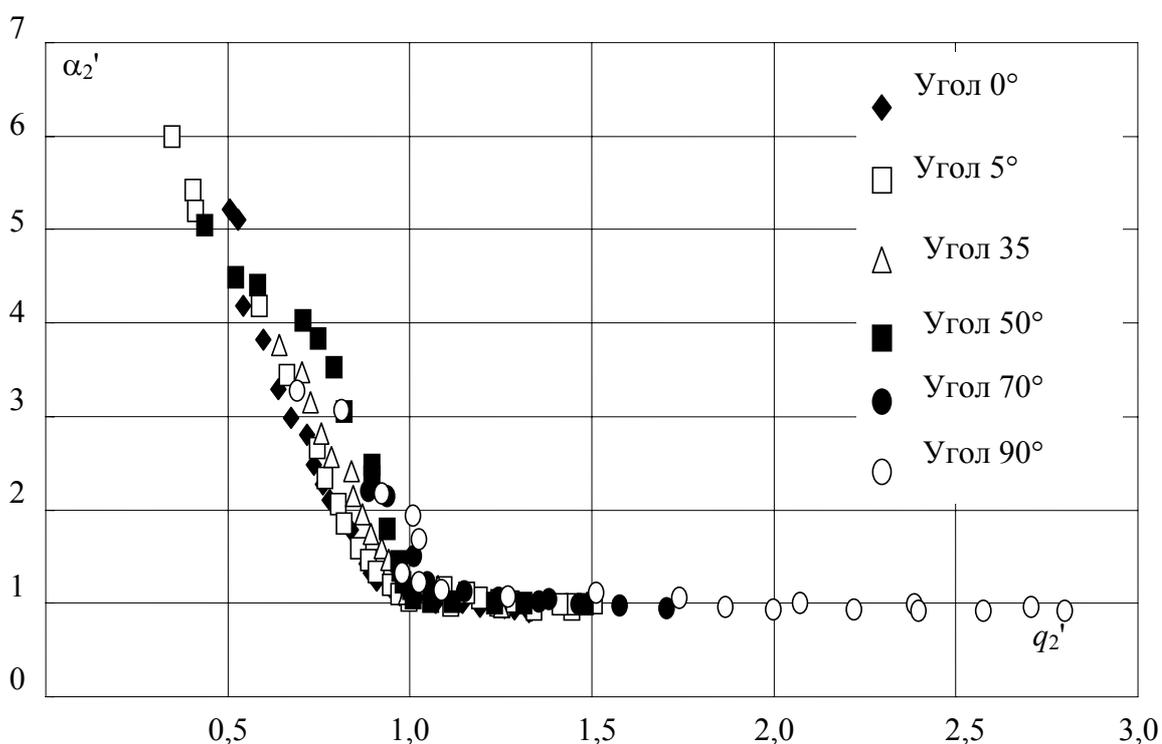


Рис. 12. Зависимость приведенного коэффициента теплоотдачи от приведенного теплового потока при кипении хладона R227 на наклонных трубах, диаметр частиц $d=0,8$ мм

ному и пленочному кипению. Как видно из рис. 11, профили кривых $\alpha_1'=f(q_1')$ для хладона R227 для засыпки с размерами шаров 1,1 мм для всех углов накло-

на трубы подобны: на всех кривых имеется протяженная область переходного режима и только при вертикальном положении трубы ($\varphi=90^\circ$) имеет устойчивую область пленочного кипения при $q_1' > 2$. Аналогичную картину видим на рис. 12, т.е. профили кривых $\alpha_2' = f(q_2')$ для засыпки с размерами шаров 0,8 мм одинаковы, имеется протяженная область переходного режима.

Устойчивое пленочное кипение также наблюдается при вертикальном положении трубы ($\varphi=90^\circ$). Графики показывают достаточно хорошее обобщение экспериментальных данных в приведенных координатах.

ВЫВОДЫ:

1. Выполнены экспериментальные исследования по теплообмену при кипении хладонов R12 и R227 на наклонных трубах, помещенных в зернистые слои.

2. Показано, что при кипении на трубах, помещенных в зернистые слои, в отличие от кипения на гладких трубах, переходный режим является достаточно устойчивым и может быть выделен в самостоятельный режим.

3. Показано, что интенсивность теплообмена на трубах, помещенных в зернистые слои, при пузырьковом и пленочном режимах кипения выше, чем на гладких трубах.

4. Установлено, что значения тепловых потоков, при которых происходит переход от пузырькового к пленочному кипению на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои, почти на порядок ниже, чем при кипении на гладких трубах. Показано, что величина первого критического теплового потока прямо пропорциональна проницаемости зернистого слоя. Предложена зависимость для расчета этих тепловых потоков.

5. Определено влияние угла наклона трубы к горизонту на интенсивность теплообмена.

6. Установлено, что при пленочном режиме кипения в зернистых слоях теплоотдача может быть рассчитана по зависимостям, используемым для расчета коэффициента теплоотдачи при кипении на гладких поверхностях с поправкой на интенсификацию.

7. По результатам исследования предложена методика расчета теплообменного оборудования с кипением жидкости в зернистых слоях.

ОБОЗНАЧЕНИЯ

c_p - теплоемкость рабочего вещества, Дж/(кг·К); d - диаметр частицы зернистого слоя, м; g - ускорение свободного падения, м/с²; q - плотность теплового потока, Вт/м²; q' - приведенная плотность теплового потока; $q_{кр}$ - критическая

плотность теплового потока, Вт/м²; r - скрытая теплота парообразования, Дж/кг; ΔT - температурный напор стенка-рабочее вещество, К; α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); α' - приведенный коэффициент теплоотдачи; φ - угол наклона трубы, °; λ - коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К); μ - коэффициент динамической вязкости, Па·с; ρ'' - плотность пара, кг/м³; ρ' - плотность жидкости, кг/м³; σ - коэффициент поверхностного натяжения, Н/м.

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в работах:

1. Петрик П.Т., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В., Старикова Е.Ю. Влияние зернистого слоя на критическую плотность теплового потока при кипении на горизонтальной трубе // Вестн. КузГТУ. – 2000. - №2. С. 28-29.

2. Старикова Е.Ю., Петрик П.Т., Дворовенко И.В., Богомолов А.Р. Кипение жидкостей в пористых и зернистых средах. Обзор исследований // Вестн. КузГТУ. – 2000. - №3. С 9-11.

3. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Дадонов П.В. Исследование теплообмена при кипении хладона R227 на наклонных трубах // Вестн. КузГТУ. – 2000. -№6. С. 14-15.

4. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Дадонов П.В. Кипение хладона R227 в зернистом слое при различных углах наклона трубы // Вестн. КузГТУ. – 2001. – № 1. - С. 13-15.

5. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Дворовенко И.В. Влияние угла наклона трубы на критические плотности тепловых потоков при кипении хладона R227 в зернистом слое // Вестн. КузГТУ. – 2001. №2. – С. 5-6.

6. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В. Исследование теплообмена при кипении хладона R12 на горизонтальных и вертикальных трубах, помещенных в зернистый слой // Вестн. КузГТУ. – 2001.- №2.- С. 6-7.

7. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В. Влияние зернистого слоя на теплоотдачу при кипении хладона R12 на вертикальной трубе // Вестн. КузГТУ.- 2001.- №3. – С. 57-58.

8. Петрик П.Т., Старикова Е.Ю., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В. Кипение хладонов на трубах разной ориентации, помещенных в зернистые слои // статья прошла рецензирование и принята к публикации в №1 (т. 75) ИФЖ за 2002 г.