

A-33435

БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОЛИТЕХНИЧЕСКАЯ АКАДЕМИЯ

На правах рукописи
УДК 536.24

Ван Цзиньянь

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
НА КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Специальность 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск, 1993

Работа выполнена на кафедре "Промышленная теплоэнергетика и теплотехника" Белорусской государственной политехнической академии, а также в АНК "Института тепло- и массообмена им. А. В. Лыкова" АН Беларуси.

- Научный руководитель - кандидат технических наук, с.н.с.
С. В. Конев
- Официальные оппоненты - доктор технических наук, профессор,
В. П. Бубнов
доктор технических наук, профессор,
Л. Л. Васильев
- Ведущее предприятие - Белорусский теплоэнергетический институт, г. Минск.

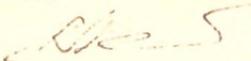
Защита состоится "27" Января 1994 г. в 14 часов на заседании специализированного совета К 056.02.09 при Белорусской государственной политехнической академии по адресу: 220027 Республика Беларусь, г. Минск, проспект Ф. Скорины, 65, корп. 2. К. 201.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусской государственной политехнической академии.

Отзыв на автореферат просьба присылать в двух экземплярах с заверенной подписью на имя ученого секретаря специализированного совета.

Автореферат разослан "24" декабря 1993 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
д. т. н., проф.

 А. Д. Качан

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

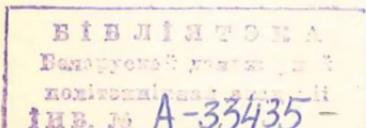
АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Интенсивное развитие ряда отраслей техники, дефицит энергоресурсов, проблемы охраны окружающей среды потребовали создания новых теплообменных устройств и аппаратов, обладающих высокой тепловой эффективностью, надежностью и энергоемкостью. Одним из перспективных современных рекуперативных теплообменных устройств являются теплообменники на основе тепловых труб, определенными преимуществами среди которых обладают теплообменники на коллекторных тепловых трубах (КТТ) раздельного типа.

В некоторых странах уже начаты исследования КТТ и теплообменников на их основе, а также применение их для утилизации низкопотенциальной тепловой энергии. Несмотря на то, что в странах СНГ имеется существенный задел в теоретических исследованиях отдельных процессов тепло- и массообмена, детального анализа и исследования работы КТТ и теплообменников на их основе не проведено. Поэтому настоящая работа актуальна, особенно применительно к развитию эффективных и энергоемких теплообменных аппаратов для энергетики, химической, автомобильной и других отраслей техники.

Перспективы применения теплообменников на КТТ для утилизации тепловой энергии обусловлены такими преимуществами, как:

- удобство при стыковке с крупногабаритным теплообменным оборудованием;
- надежное разделение массовых потоков горячего и холодного трактов;
- возможность передачи тепловой энергии на значительные расстояния;
- реализация теплопереноса между одним и несколькими трактами;

Для конкретного проектирования и изготовления эффективных и надежных теплообменных аппаратов на основе КТТ необходимо изучение процессов гидродинамики и теплопереноса в КТТ, а также эксплуатационных характеристик работы теплообменников на КТТ.



ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Изучение процессов переноса энергии и вещества в КТТ, разработка методики расчетов теплообменников на КТТ и исследование характеристик работы теплообменника на КТТ.

НАУНАЯ НОВИЗНА. С целью улучшения эксплуатационных параметров и повышения тепловой эффективности проведено комплексное исследование особенностей гидродинамики и теплопереноса в КТТ, и определены характеристики работы теплообменника на КТТ.

Установлены основные закономерности течения пара близкого к состоянию насыщения при изменении величины поперечного сечения. Проанализированы характеристики пульсации при циркуляции теплоносителя в КТТ. Разработана теоретическая модель работы КТТ, учитывающая ряд факторов тепло- и массопереноса при циркуляции теплоносителя.

Теоретически и экспериментально исследованы процессы кипения в испарителе и конденсации в охлаждаемой зоне КТТ. Рассмотрено влияние степени заполнения теплоносителя в КТТ и определено ее рациональное значение. Проанализированы основные ограничения теплопередающей способности КТТ. Разработана методика расчета теплообменников на КТТ.

НА ЗАЩИТУ ВНОСЯТСЯ:

1. Математическая модель КТТ, учитывающая циркуляцию рабочего вещества и особенности, связанные с расширением потока в раздающем коллекторе.

2. Методика расчета коллекторной тепловой трубы и теплообменников на их основе.

3. Совокупность экспериментальных данных по стационарным и динамическим режимам КТТ.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ. По результатам работы создана методика расчетов КТТ и теплообменников на их основе и разработана программа численных расчетов на ЭВМ. Полученные теоретические и экспериментальные данные использованы при разработке теплообменников на КТТ в соответствии с Республиканской научно-технической программой "Разработка научных проблем энергосбережения и создания экологически безопасных энергетических

источников и технологий" (Энергетика 2, раздел Энергетика 68), применительно к биохимической технологии для Научно-производственного внедрческого предприятия "Энергия"(г.Москва), а также в автомобильной промышленности для Хозрасчетного центра "Политехник" (г.Минск).

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Результаты проведенных исследований докладывались на следующих конференциях:

1. Восьмая международная конференция по тепловой трубе, г.Пекин, 1992 г.;
2. Вторая международная конференция по динамике газа и жидкости, г. Пекин, 1993 г.;
3. Второй международный научно-технический семинар "Охлаждение электроники. Внедрение наукоемких технологий", г. Новосибирск, 1993 г..

ПУБЛИКАЦИИ. Материалы диссертационной работы изложены в пяти публикациях.

ОБЪЕМ И СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложения, и содержит 103 страницы машинописного текста, 71 иллюстрация, 4 таблиц. Список использованной литературы включает 91 наименования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, определены цели и задачи исследования, изложены основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена анализу современного состояния рассматриваемых вопросов и формулировке задач исследования.

Исследование КТТ началось сравнительно недавно, следствием чего является ограниченное количество публикаций. Отсутствует единая теория тепло- и массообмена и методика расчета КТТ.

В результате анализа существующей литературы показано, что исследования носят частный, отрывочный характер. Показано, что в КТТ образуются колебания скорости течения из-за возникновения

роста и всплытия пузырей; течение пара может быть однофазным и двухфазным; конструкции КТТ, в основном, функционируют в режиме термосифона, однако наличие фитиля позволяет использовать их при работе против поля тяжести. С прикладной точки зрения КТТ находят применения в электротехнике и энергетике.

Для обеспечения развития теории и практики коллекторных тепловых труб и теплообменников на их основе сформулированы основные направления исследований, а именно: создание общей теоретической модели работы КТТ с отдельными каналами для пара и жидкости, уделяя основное внимание особенностям, имеющимся в сборных и раздающих коллекторах; разработка методики расчета теплообменника на КТТ; экспериментальное исследование особенностей переноса в рассматриваемом типе теплопередающих устройств.

Во второй главе диссертации приведены результаты теоретического анализа гидродинамики и теплообмена в КТТ. При рассмотрении циркуляции теплоносителя в КТТ приняты следующие допущения:

- стационарный режим работы КТТ;
- состояние рабочего вещества на выходе испарителя - пар, а на выходе конденсатора - жидкость;
- паровой и жидкостный потоки - адиабатны;
- теплоноситель несжимаем.

При теоретическом рассмотрении в качестве движущей силы принята разность плотностей жидкой и паровой фаз теплоносителя при воздействии гравитационных сил. Механизм движения теплоносителя в КТТ рассмотрен в виде естественной циркуляции двухфазного потока в замкнутом контуре. С учетом стационарного режима циркуляции и исходя из баланса давления,

$$\Delta p_{ДВ} = g (\rho_{ж} - \rho_{п}) h = \Sigma \Delta p_{Г,1} \quad (1)$$

получены выражения для массового потока и передающей мощности:

$$m = \sqrt{\frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) g \Delta h}{\Sigma A_1}} \quad (2)$$

$$Q = \gamma \times \sqrt{\frac{(\rho_{ж} - \rho_{п}) g \Delta h}{\Sigma A_1}} \quad (2a)$$

В результате анализа показано, что резкое сужение сечения

парового канала в сборном коллекторе испарителя приводит к существенному ограничению передаваемого теплового потока, а в раздающем коллекторе конденсатора может приводить к переходу пара в метастабильное состояние и образованию тумана.

Исходя из рассмотрения гидродинамики течения теплоносителя в коллекторах (секциях) с притоком и оттоком массы через стенку, при принятых допущениях $\partial r / \partial t = 0$ и $R \ll L$ для цилиндрических координат ($\beta = 1$ и $\theta = 0$) получены выражения для распределения давления в раздающем коллекторе.

$$P_{1i} = P_{1o} + \rho \frac{u_{1o}^2 - u_{1i}^2}{2} + \rho \sum_{k=1}^i \frac{u_{1k}^2 G_k}{G_o - \sum_{k=1}^i G_k} - \rho \sum_{k=1}^i \frac{\lambda_k \Delta L_k}{d_k} u_{1k-1}^2 \quad (3)$$

и сборном коллекторе,

$$P_{2i} = P_{2o} + \rho \frac{u_{2o}^2 - u_{2i}^2}{2} + \rho \sum_{k=1}^i \frac{u_{2k}^2 G_k}{G_o - \sum_{k=1}^i G_k} + \rho \sum_{k=1}^i \frac{\lambda_k \Delta L_k}{d_k} u_{2k-1}^2 \quad (4)$$

Как правило, падение давления в каналах формируется силами трения, ускорения и гравитации, т. е.

$$\Delta P_{12} = \Delta P_a + \Delta P_f + \Delta P_g \quad (5)$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_a = \rho_2 \frac{u_{2k}^2}{2} - \rho_1 \frac{u_{1k}^2}{2} \\ \Delta P_f = \int_0^L \frac{\lambda}{d} \frac{1}{2\rho_{\text{ж}}} \left(\frac{G_k}{A} \right) (1 + x(\rho_{\text{ж}}/\rho_{\text{п}} - 1)) dz \\ \Delta P_g = \int_0^L \left(\frac{x}{\rho_{\text{п}}} + \frac{1-x}{\rho_{\text{ж}}} \right) g dz \end{array} \right.$$

Изменение паросодержания теплоносителя вдоль канала определяется следующими уравнениями:

для конденсатора

$$\left\{ \begin{array}{l} x > 0, \quad \frac{dx}{dz} = - \frac{q_1 \pi}{\Gamma_{\text{ж}} G_1} \\ x = 0, \quad \frac{dx}{dz} = 0 \end{array} \right. \quad (6)$$

для испарителя

$$\left\{ \begin{array}{l} x > 0, \quad \frac{dx}{dz} = \frac{q_1 \pi}{\Gamma_{\text{ж}} G_1} \\ x = 0, \quad \frac{dx}{dz} = 0 \end{array} \right. \quad (7)$$

Уравнения (3 - 7) определяют гидравлическую характеристику течения теплоносителя в испарителе и конденсаторе. Рис.1 численно иллюстрирует процессы в различных компоновках (Ф-, П-, Z-схемы) испарителя и конденсатора КТТ.

В КТТ важное место занимает степень заполнения теплоносителем объема конструкции, $\phi = N_{\text{ж}} / N_0$. В испарителе высота заполнения жидким теплоносителем определяется изменением плотности теплового потока, как показано на рис.2. При нагреве уровень жидкости повышается вследствие зарождения пузырей в каналах. При малых плотностях теплового потока уровень паро-жидкостной смеси недостаточен для заполнения верхней части испарителя (рис.2б). Для существенных значений плотности теплового потока в каналах наступает развитое кипение, сопровождающееся увеличением количества пузырей, вследствие чего паро-жидкостная смесь заполняет каналы полностью (рис.2в). Такое состояние является предельным, так как дальнейший рост q ведет к заполнению двухфазной смесью верхнего коллектора и парового канала (рис.2г), что в свою очередь увеличивает гидравлическое сопротивление и ухудшает теплообмен в КТТ. Рассматриваемая модель определяет рациональную степень заполнения теплоносителем, как функцию q и ряда параметров,

$$\phi = f(q, N_0, d_1, \rho_{\text{ж}}, \rho_{\text{п}}, \mu_{\text{ж}}, \sigma, g) \quad (8)$$

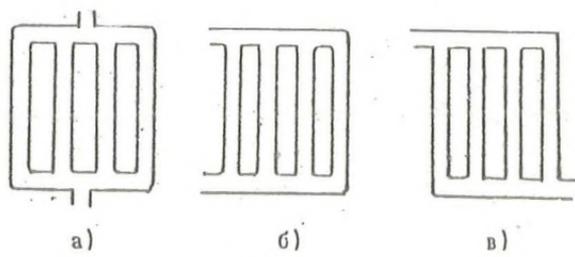
В результате предложена формула для расчета величины объема заполнения теплоносителем для нормальной работы КТТ,

$$V_{\text{ж}} = (0,2 - 0,5) V_{\text{и}} + V_{\text{кж}} + (0,05 - 0,1) V_{\text{к}} \quad (9)$$

Из теоретического анализа получено, что основными ограничениями в КТТ раздельного типа являются звуковой предел, а также ограничение по кипению.

Показано, что испарительная и конденсационная секции могут быть разнесены на значительное расстояние до 100 м, определяемое разницей уровней Δh и теплопотерями по паровому и жидкостному каналам, что в свою очередь зависит также от степени заполнения.

В третьей главе представлена методика расчета теплообменников на КТТ, основой которой является тепловая эффективность, определяемая как условиями замкнутой циркуляции массообменного контура, так и спецификой многоканальности коллекторных секций. С учетом этого, для фазовых переходов первого рода величина водяного



□ - схема П - схема Z - схема

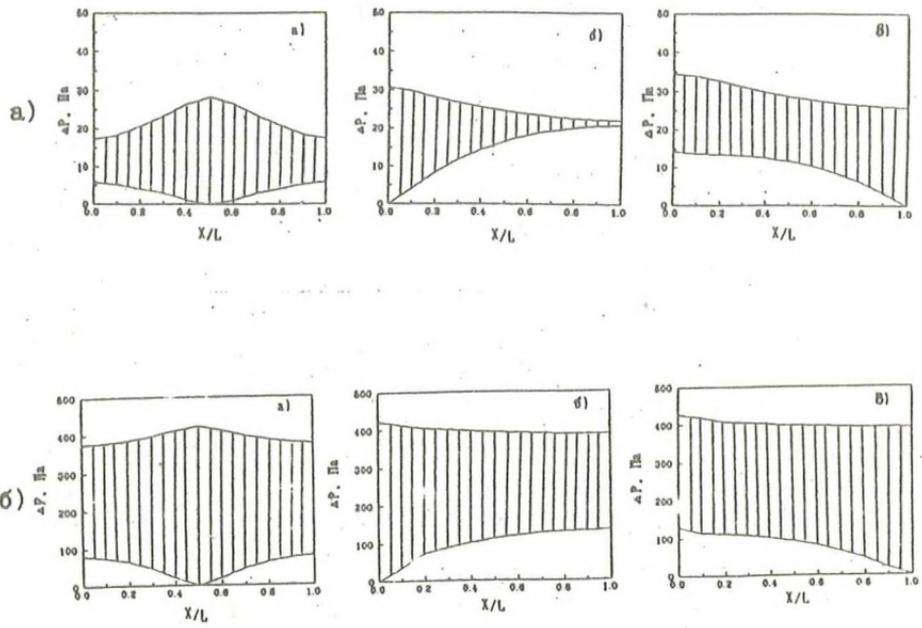


Рис. 1. Основные варианты компоновки и эпюры статического давления по длине коллекторов в испарителе (а) и конденсаторе (б).

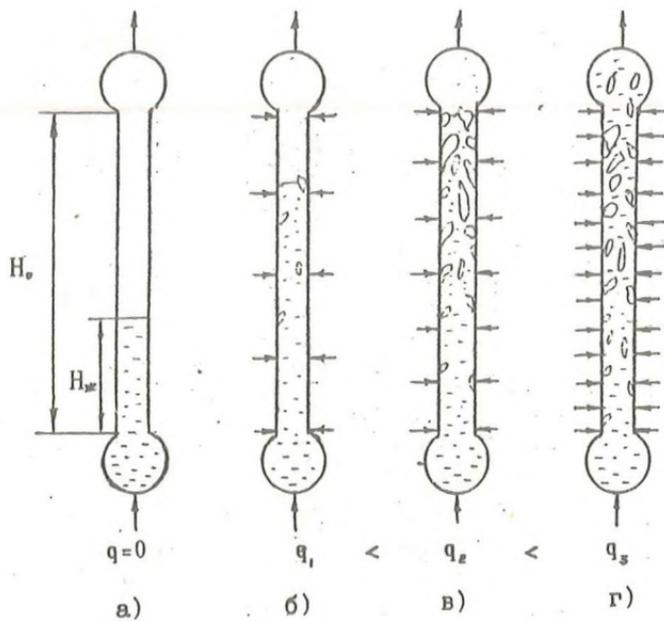


Рис. 2. Режим кипения при различных плотностях теплового потока в каналах испарителя.

эквивалента промежуточного теплоносителя существенно больше, чем для внешних потоков ($W_{Ц} \gg W_{Х}, W_{Г}$) и с учетом подхода для теплообменных систем с принудительной циркуляцией промежуточного теплоносителя, получены выражения для определения эффективности теплообменников на КТТ.

Для случая $W_{Г} \leq W_{Х}$,

$$\epsilon = \frac{1}{\frac{W_{Г}}{W_{Х}} \left[\frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{K_{ХФХ}}{W_{Х}}\right)} \right] + \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{K_{ГФГ}}{W_{Г}}\right)}} \quad (10)$$

Для случая $W_{Г} > W_{Х}$,

$$\epsilon = \frac{1}{\frac{W_{Х}}{W_{Г}} \left[\frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{K_{ГФГ}}{W_{Г}}\right)} \right] + \frac{1}{1 - \exp\left(-\frac{K_{ХФХ}}{W_{Х}}\right)}} \quad (11)$$

Из анализа следует, что для расчета рассматриваемых теплопередающих устройств, как и для обычных теплообменников существует два подхода: исходя из коэффициента теплопередачи как функции среднелогарифмического напора ΔT_m и тепловой эффективности зависящей от единицы переноса тепла (NTU). Показано, что для теплообменников на КТТ подход ϵ - NTU имеет преимущества по сравнению с методом $K - \Delta T_m$, вследствие, как правило, существенного различия в величине теплообменных поверхностей испарителя и конденсатора. Для представления NTU в виде $NTU = KF/W$ и отношения водяных эквивалентов $R = \frac{W_{min}}{W_{max}}$ получена обобщенная форма записи (10) и (11),

$$\epsilon = f(R, NTU_{Г}, NTU_{Х}) \quad (12)$$

В качестве иллюстрации рассмотренной методики проведены численные расчеты, некоторые из результатов которых приведены на рис. 3.

Для реальных процессов в теплообменниках на КТТ и с учетом потерь тепловой энергии по паровому и жидкостному каналам получено скорректированное выражение для тепловой эффективности:

$$\epsilon' = \epsilon \left(1 - \frac{\delta t}{\Delta T} \right) \quad (13)$$

В четвертой главе приведены описание техники и методики экспериментов, результаты исследований и оценка достоверности

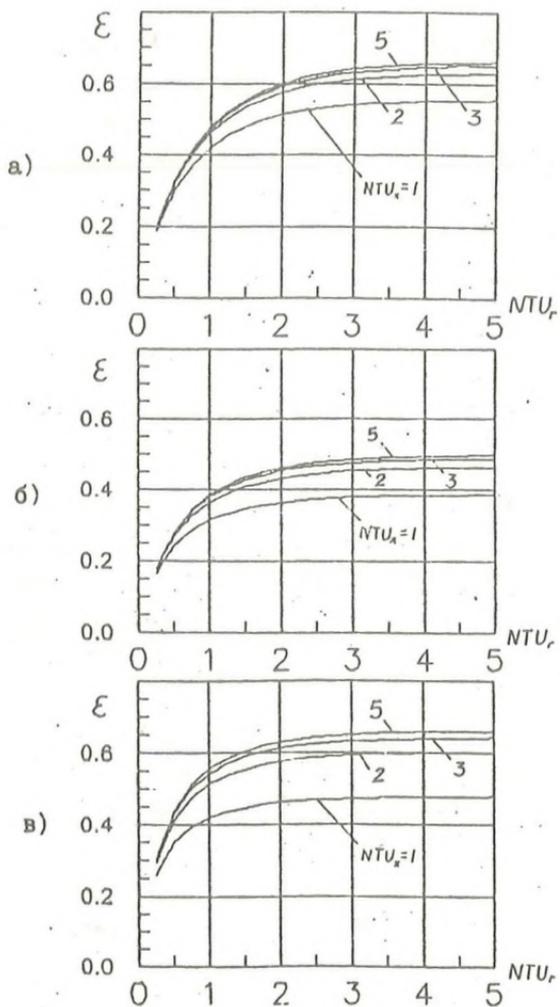


Рис. 3. Тепловая эффективность теплообменника на КТТ:
 а - $W_K > W_T$; б - $W_K = W_T$; в - $W_K < W_T$.

полученных данных, включая сравнение с теоретическими моделями и численными расчетами.

Для экспериментов разработана универсальная установка, позволяющая изучать как динамику, так и стационарные режимы переноса энергии и вещества внутри кольцевой КТТ, а также теплотехнические параметры КТТ с теплообменными оребренными секциями. В качестве теплоносителей использовались H_2O , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$, CaF_2Cl_2 . В процессе теплотехнических и визуальных исследований контурных КТТ и теплообменников на их основе при использовании вышеуказанных теплоносителей изучались гидродинамика и теплообмен при расширении парового потока, режимы течения, температурные распределения и максимальные тепловые потоки.

В первую очередь исследована работоспособность замкнутой циркуляции в КТТ в зависимости от теплофизических параметров различных теплоносителей, результаты которых представлены на рис. 4, 5. Полученные зависимости $T - f(Q)$ и $T - f(L)$ показывают, что в КТТ имеют место перепады температур, в основном, в паровой фазе зоны конденсации, что определяется существенными значениями водного эквивалента теплоносителя. При этом, в качестве положительного фактора, экспериментально выявлена возможность существенного повышения передаваемого теплового потока за счет использования энтальпии потоков путем перегрева пара и переохлаждения жидкости. Результаты визуальных исследований на стеклянных образцах с различной степенью расширения показали появление существенных перепадов температур при конденсации вплоть до появления тумана.

Серия экспериментальных исследований теплообменника на КТТ проведена с использованием секций с высокоэффективным подрезанным оребрением. На рис. 6 представлены результаты сравнения экспериментальных данных и численного расчета характеристик работы теплообменника на КТТ (теплоноситель - H_2O) при условии регулирования массовой скорости воздушного потока в межреберном пространстве конденсаторной секции ($0 - 0,69$ кг/с). Показано удовлетворительное совпадение экспериментальных данных с численными расчетами по предложенной методике. Среднее рассогласование составляет 16%. Для работы теплообменника на КТТ при изменении мощности нагревателя перед испарительной секцией ($0 - 5$ кВт)

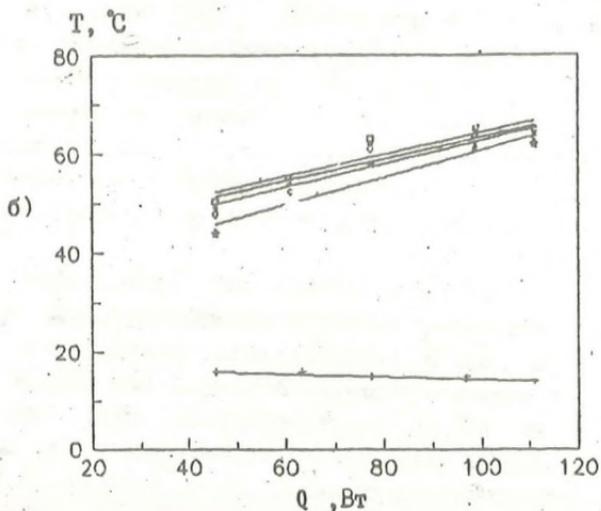
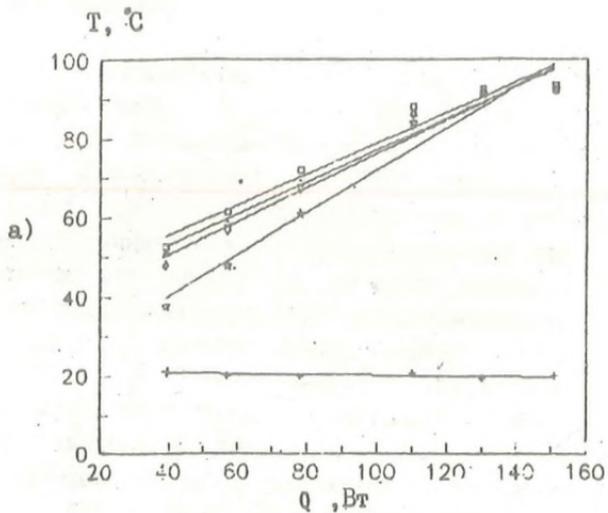


Рис. 4. Зависимости температурного поля в КТТ от теплового потока: а - H_2O ; б - $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (Номер термопар, \square - N1; \triangle - N2; \diamond - N3; \star - N4; $+$ - N5)

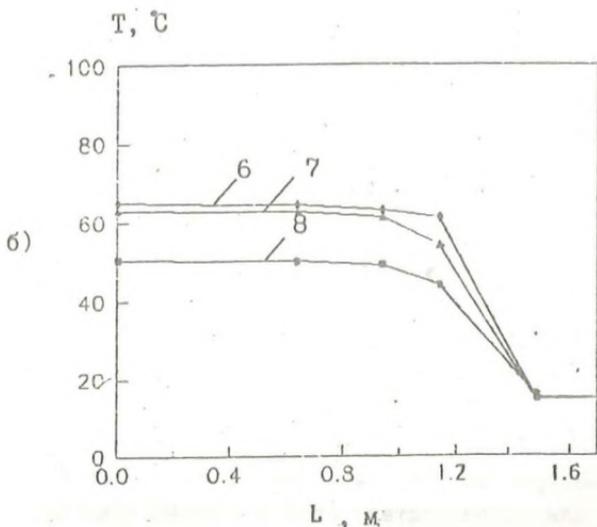
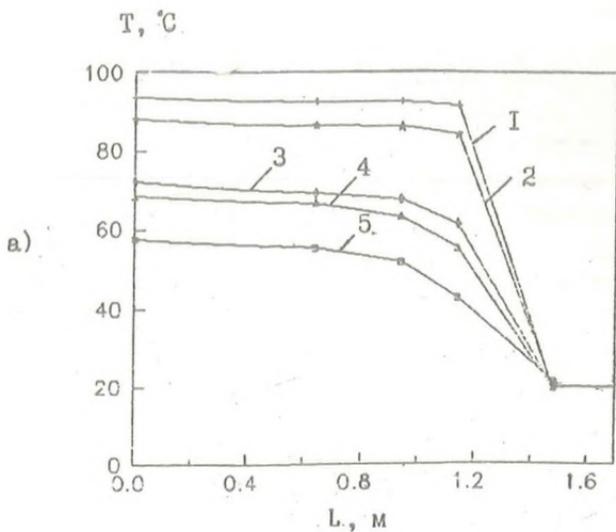


Рис. 5. Распределение температур теплоносителя вдоль контура циркуляции: а - H_2O ; б - $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (1 - $Q = 151$ Вт; 2 - $Q = 110$ Вт; 3 - $Q = 77$ Вт; 4 - $Q = 60$ Вт; 5 - $Q = 40$ Вт; 6 - $Q = 45$ Вт; 7 - $Q = 77$ Вт; 8 - $Q = 110$ Вт)

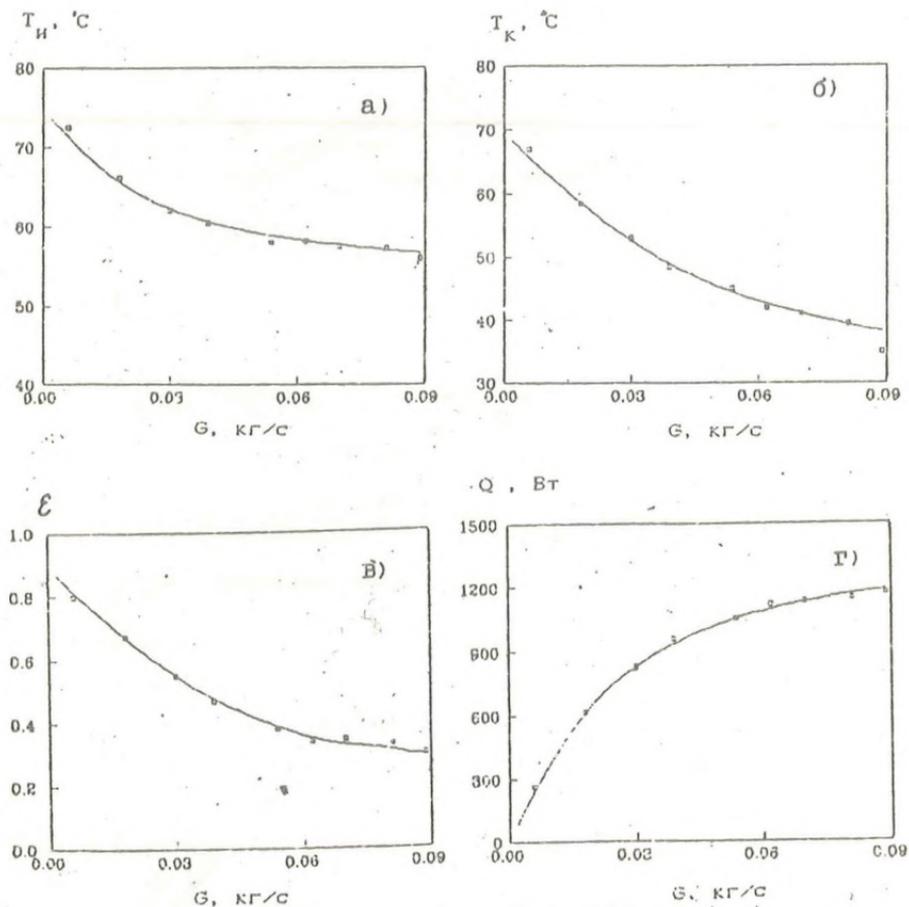


Рис. 6. Характеристики работы экспериментального теплообменника на КТТ для теплоносителя воды при изменении массового расхода воздушного потока через конденсатор: а - $T_{и} = f(G)$; б - $T_{к} = f(G)$; в - $\epsilon = f(G)$; г - $Q = f(G)$.

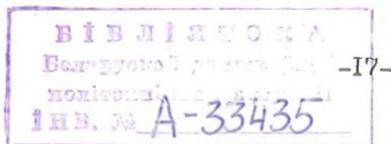
среднее рассогласование не превысило 18%.

Исследование влияния степени заполнения теплоносителем на работу теплообменника на КТТ позволило получить рациональную величину $\phi_{\text{опт}} = 35 \div 55\%$, зависящую от объема испарителя. При $\phi > \phi_{\text{опт}}$ за счет интенсивного кипения паро-жидкая смесь входит в паровой канал, увеличивая гидравлическое сопротивление, причем теплопередающая способность теплообменника снижалась. При $\phi < \phi_{\text{опт}}$ низкое значение ϕ приводит к возникновению кризиса кипения в верхней зоне испарителя из-за уменьшения нагреваемой поверхности.

Глава пятая посвящена разработке теплообменников на КТТ для утилизации низкопотенциальной тепловой энергии, замкнутых химических циклов, а также для обеспечения тепловых режимов оборудования.

На основе теоретических и экспериментальных исследований, методики расчета проведена разработка двух калориферов - утилизаторов на КТТ для обеспечения замкнутого цикла биохимического производства при одновременной утилизации низкопотенциальной тепловой энергии, необходимой для процесса микробиохимического синтеза для ПВП "Энергия", г. Москва. Калориферы состоят из двух теплообменных секций (испаритель и конденсатор), паровой и жидкостной труб, соединяющих эти секции. Конструкции калориферов разрабатывались по методике, приведенной в главе 3 с численными расчетами эксплуатационных параметров, в соответствии с созданной программой для ЭВМ. Калорифер No.1 выполнен из одного модуля КТТ, а калорифер No.2 - из двух модулей. Каждая секция модуля выполнена из набора стальных оребренных труб (22 x 2 мм), в качестве промежуточного теплоносителя использовался аммиак, тракты - покрыты теплоизоляцией толщиной 5 мм. Проведено экономическое обоснование использования разработанных калориферов - утилизаторов на КТТ. Показано, что при средних эксплуатационных условиях окупаемость теплообменника составляет 3 - 5 месяцев.

Применительно к автомобильной промышленности также разработаны теплообменники двух типов с высокоэффективными подрезанными оребрением: компактный и с разнесенными теплообменными секциями для Хозрасчетного центра "Политехник" г. Минск.



ВЫВОДЫ

1. Проведен анализ работы теплообменников на коллекторных тепловых трубах для утилизации тепловой энергии, создания экологически безопасных замкнутых циклов и обеспечения тепловых режимов оборудования.

2. Предложена модель работы и проведено теоретическое исследование особенностей гидродинамики и теплопереноса в КТТ с учетом условия замкнутости массообменного контура и коллекторной структуры теплообменных секций. Представлен численный расчет компоновок Ф-, П-, Z- схем теплообменников на КТТ, особое внимание уделено степени заполнения теплоносителя.

3. Разработана методика расчета теплообменников на КТТ, позволяющая рассчитывать как геометрические параметры, так и тепловую эффективность. Методика реализована в виде программы расчета на ЭЭВМ.

4. В результате экспериментальных исследований подтверждены аналитические выводы, выяснены особенности работы КТТ, связанные с конотруктивными особенностями для ряда теплоносителей, а именно "контурность" системы и "коллекторность" теплообменных секций. Рассогласование расчета и экспериментальных данных не превышало 18%. Экспериментальные данные по степени заполнения теплоносителем обобщены в эмпирическую зависимость.

5. Результаты комплекса исследований использованы при разработке теплообменников на КТТ в соответствии с Республиканской научно-технической программой " Энергетика - 2": Разработка научных проблем энергосбережения и создания экологически безопасных энергетических источников и технологий, а также для химической и автомобильной промышленности.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. С. В. Конев, Ван Цзиньянь Коллекторные тепловые трубы // Препринт No.7, АНК ИТМО им. А. В. Лыкова, 1992, С.1-44.
2. S. V. Konev, J. L. Wang Exploration of heat exchanger on the basis of the collector heat pipe // Proceedings of the 8-th International Heat Pipe Conference, September 14 - 19 , 1992, pp.586-589, Beijing, China.

3. J. L. Wang, S. V. Konev Preliminary investigation of two phase natural circulation in a separate heat pipe // Proceedings of the Second International Conference of Fluid Mechanics, 1993, p.6, Beijing, China.
4. С. В. Конев, Ван Цзиньянь Математическая модель стационарных процессов в конденсаторе коллекторной тепловой трубы // Тепло- и массоперенос: модели, теоретические и экспериментальные исследования - Минск, 1993, С.72-77 -(Сб. науч. тр./ АНК ИТМО им. А. В. Лыкова АНБ).
5. J. L. Wang S. V. Konev Investigation of collector evaporator - condenser systems for the electronics cooling // Proceedings of the 2-nd International Seminar "Electronics cooling, high intensive technologies", July, 1993, p.15, Novosibirsk, Russia.

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

G, m -- массовой расход; ρ -- плотность; u -- скорость; A -- площадь сечения; P -- давления; Q -- тепловой поток; g^* -- скрытая теплота парообразования; h, H -- высота; A_1 -- коэффициент; x -- степень сухости; D, d -- диаметр; λ -- коэффициент сопротивления; μ -- вязкость; π -- периметр; Φ -- степень заполнения теплоносителем; σ -- сила напряженности; V -- объем; q -- плотность теплового потока; t, T -- температура; R -- отношение водяных эквивалентов; K -- коэффициент теплопередачи; F -- теплообменная площадь; W -- водяной эквивалент; ϵ -- тепловая эффективность; NTU -- число единиц теплопереноса. ИНДЕКСЫ: и -- испаритель; к -- конденсатор; п -- пар; ж -- жидкость; i -- номер; кж -- канал жидкости; г -- горячий поток; х -- холодный поток.



Ван Цзиньянь

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
НА КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЕПЛОВЫХ ТРУБАХ

Специальность 05.14.04 - Промышленная теплоэнергетика

Автореферат диссертации на соискание
ученой степени кандидата технических наук

Подписано в печать 22.12.93 г.
Формат 60x84 1/16. Бум. тип. № 2. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 1,4. Уч.-изд. л. 1,5. Тираж 100. Заказ 215.

Отпечатано на ротапринтере АНК "Институт тепло- и массообмена
им. А.В. Лыкова" АНБ. 220072, Минск, ул. П. Бровки, 15.