

М40-7159



Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской
Революции и ордена Трудового Красного Знамени
Высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

На правах рукописи

ЧЕРНОВ Александр Николаевич

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ХАРАКТЕРИСТИК
ВИХРЕВЫХ ТРУБ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНОГО
И ПРИРОДНОГО ГАЗА

05.04.03 Гидравлические машины, машины и
аппараты криогенной холодильной техники

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва-1983

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском
и проектном институте по переработке газа.

Научный руководитель – доктор технических наук,
профессор Бобровников Г.Н.

Научный консультант – кандидат технических наук
Поляков А.А.

Официальные оппоненты – доктор технических наук,
профессор Епифанова В.И.; кандидат технических наук Чижиков Ю.В.

Ведущее предприятие: ВНИИ

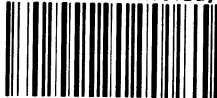
Защита диссертации состоится "30" мая 1983 г.
в 16 час. 00 мин. на заседании специализированного
совета К 053.15.07 в Московском Высшем техническом училище
им. Н.Э. Баумана, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ
им. Н.Э. Баумана.

Автореферат разослан "20" апреля 1983 г.

Ученый сек
специализирова
кандидат техни

M 407159



1407159

Чернов А.Н. Разработка метода Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Для успешного решения народнохозяйственных задач по переработке нефтяного и природного газа необходимо создание новой технологии и техники сбора, подготовки к транспорту и переработки нефтяного и природного газа, отличающихся от существующих - меньшими капитальными затратами, металлоемкостью, сроками изготовления и монтажа, но большими надежностью, автономностью и степенью агрегатирования технологических установок. При этом эффективно применение расширительных машин и в частности вихревых труб, которые используют для извлечения тяжелых компонентов из нефтяного и природного газа (пропана, бутана, пентана, гексана и др.) за счет конденсации при охлаждении с помощью вихревой трубы, а также за счет конденсации при расширении газа в ней.

Относительная конструктивная простота вихревых труб, отсутствие движущихся деталей, надежность, минимальная стоимость и габариты позволяют создавать установки в полной мере отвечающие требованиям предъявляемым к новой технологии.

Однако применение таких установок в настоящее время ограничено. Основная причина в том, что решение технологических и оптимизационных задач при проектировании и технико-экономическом обосновании их затруднено отсутствием методов позволяющих рассчитывать характеристики вихревых труб (составы, содержание газовой и жидкой фаз и температуры выходящих потоков) в широком диапазоне составов, давлений и температур нефтяного и природного газа.

Цель работы. Разработка метода расчета характеристик вихревых труб для переработки нефтяного и природного газа. Обеспечение таким образом работ по проектированию, технико-экономическому обоснованию и внедрению новой техники и технологии. Наряду с этим целью работы является дальнейшее совершенствование конструкции вихревых труб.

Методы исследований. При разработке метода расчета применяли теоретические и экспериментальные методы, используя в качестве теоретической базы математическую модель энергетического и компонентного разделения углеводородных смесей в вихревой трубе. Расчеты проводили численными методами на ЭВМ ЕС-1050.

М В Т У
им. Н.Э. Баумана

БИБЛИОТЕКА

Экспериментальные методы использовали при получении данных для корректировки теоретической модели, проверки применимости разработанных методов для решения практических задач, а также для проверки эффективности разработанных рекомендаций по совершенствованию конструкции вихревых труб.

Научная новизна. Проведен анализ условий межфазового равновесия углеводородов в вихревой камере. Показано, что наиболее существенные изменения их происходят вдоль оси камеры, а изменения в радиальном и угловом направлениях пренебрежимо малы.

В первом приближении процесс компонентного разделения углеводородных смесей может быть представлен, как перераспределение конденсирующихся компонентов между тремя коаксиальными потоками в вихревой камере: пленкой конденсата на стенке, пристеночным газом и приосевым газожидкостным потоком. Данные потоки представляются с постоянными значениями углеводородных составов смеси, статических давлений и температур по радиусу (в пределах данного потока), но с переменными по длине вдоль оси камеры.

Разработана математическая модель энергетического и компонентного разделения углеводородных смесей в вихревой трубе, которая определяет изменение характеристик газожидкостных углеводородных смесей при течении их в вихревой трубе и на выходе из нее с учетом влияния испарения и конденсации.

Впервые определены характеристики процессов энергетического и компонентного разделения углеводородных смесей в трехпоточной вихревой трубе при работе с выводом конденсата и части пристеночного газа отдельно от горячего потока. Экспериментально определена зависимость статического давления на выходе из соплового канала от расхода пристеночного газа, выводимого отдельно от горячего потока, при работе вихревой трубы в режиме максимальной холодопроизводительности.

Практическая ценность и реализация работы. Разработана методика расчета температур, составов, содержаний газовой и жидкой фаз потоков выходящих из вихревой трубы, при работе ее на углеводородных смесях с давлениями, температурами, составами нефтяного и природного газа.

Получены данные по эффективности извлечения пропана, бутана, пентана и гексана из нефтяного газа в процессе низкотемпературной конденсации с вихревой трубой.

Разработана новая модификация трехпоточной вихревой трубы, позволяющая увеличить эффективность применения вихревых труб в установках переработки нефтяного и природного газа на 28%.

Методика расчета и полученные в ходе экспериментов рекомендации используются Всесоюзным научно-исследовательским и проектным институтом по переработке газа при разработке и совершенствовании техники и технологии переработки и подготовки нефтяного и природного газа. Разработаны технологические схемы малогабаритных установок переработки нефтяного газа для месторождений Тюменской, Оренбургской областей и Башкирской АССР. Разработан и испытан опытно-промышленный образец вихревой трубы для подготовки природного газа в системе газлифтной добычи нефти.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на II и III Всесоюзных научно-технических конференциях по вихревому эффекту и его промышленному применению (г.Куйбышев, 1975, 1979 гг.), на Всесоюзной конференции молодых специалистов Министерства нефтяной промышленности (г.Краснодар, 1980 г.), на Отраслевых научно-технических конференциях по переработке нефтяного газа Министерства нефтяной промышленности (г.Краснодар, 1977-1982 гг.); на Всесоюзном совещании "Создание бурового и нефтегазопромыслового оборудования для условий Сибири и Крайнего Севера" (г.Тюмень, 1982 г.)

Публикация. Основные положения работы изложены в 6 статьях, тезисах докладов совещаний и конференций, 9 научно-технических отчетах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы из 108 наименований и приложений, изложена на 136 страницах машинописного текста и включает в себя 37 рисунков на 36 страницах.

Содержание работы

В первой главе рассмотрены и проанализированы существующие методы расчета характеристик вихревых труб, а также сложившиеся к настоящему времени пути совершенствования их

конструкций.

Методы расчета характеристик существуют в основном для вихревых труб, работающих на воздухе. Известны методы, основанные как на теоретических моделях, происходящих внутри вихревых труб процессов, так и эмпирические – использующие накопленный экспериментальный материал. Точность расчета, требующаяся при проектировании установок с вихревыми трубами, достигается при применении эмпирических методов.

Для создания эмпирических методов расчета характеристик вихревых труб для переработки нефтяного и природного газа необходимы экспериментальные данные по температурам, составам и содержаниям газовой и жидкой фаз в зависимости от давлений, температур и содержаний конденсирующихся компонентов в исходном потоке, от режимов работы вихревой трубы (степени расширения и массовой доли расхода холодного потока), а также от ее геометрических характеристик. Учитывая невозможность получения экспериментальных данных в том диапазоне содержаний конденсирующихся компонентов, который имеет место в нефтяном и природном газе, предоставляется целесообразным подойти к решению задачи создания метода расчета характеристик, сочетая теоретические и экспериментальные методы, для чего необходимо разработать математическую модель процессов энергетического и компонентного разделения углеводородных газовых смесей в вихревой трубе. Задача эксперимента заключается в проверке модели и ее корректировке.

Анализ путей совершенствования конструкций вихревых труб показал, что для переработки нефтяного и природного газа наиболее перспективны трехпоточные вихревые трубы, которые дают возможность наиболее эффективно выделять образующийся в вихревой трубе конденсат. Однако для реализации перспектив необходима разработка рекомендаций по конструированию ряда их элементов.

Во второй главе описывается разработка математической модели энергетического и компонентного разделения углеводородных газовых смесей и методика ее расчета на ЭВМ.

Обобщение результатов анализа рассматриваемых процессов, содержащихся в известных исследованиях вихревых труб при работе на многокомпонентных смесях, дало возможность представить

их следующим образом. Исходная углеводородная смесь из n -компонентов расширяется в сопловом канале как одномерный, теплоизолированный поток с конденсацией. Вследствие быстрого изменения значений статических давлений и температур конденсация начинается позже достижения смесью состояния насыщения. Так как при конструировании вихревых труб перенасыщение стремится максимально снизить, то конденсация представляется равновесной. Образовавшийся газожидкостный поток тангенциально вводится в вихревую камеру и образует вращающийся поток с неравномерным распределением статических давлений, возрастающим по радиусу от оси к стенке камеры. Перемещение этого потока вдоль камеры приводит к снижению радиального градиента давлений и образованию в приосевой зоне потока, движущегося в противоположную сторону. При этом в газе происходит перераспределение энергии, приводящее к нагреву пристеночных слоев и охлаждению приосевых. Процессы в вихревой камере включают в себя комплекс процессов конденсации и испарения, происходящих в результате изменения условий межфазового равновесия, определяющихся изменениями статических давлений и температур.

Для математического описания процессов в вихревой камере, вследствие их сложности и недостаточной теоретической изученности механизма перераспределения энергии, а также движения капельной жидкости в высокоскоростных вращающихся потоках, используют модели, учитывающие наиболее существенные стороны явлений и эмпирические зависимости, полученные из экспериментальных данных о структуре потока.

В данном случае разработка модели затруднена отсутствием данных, позволяющих из комплекса фазовых переходов выбрать те, которые оказывают наиболее существенное влияние на характеристики процесса энергетического и компонентного разделения. Для получения таких данных проведен анализ изменений условий межфазового равновесия углеводородов при течении потоков в вихревой камере.

В результате установлено, что наиболее существенные изменения условий межфазового равновесия внутри вихревой камеры происходят вдоль ее оси. Изменениями их в радиальном и угловом направлениях можно пренебречь. Исходя из этого можно пренебречь и фазовыми переходами, происходящими при перемещении конденсата

и газа в радиальном направлении и представить, что наиболее существенные фазовые переходы происходят при осевых перемещениях потоков в вихревой камере. Вследствие пренебрежимо малых фазовых переходов при перемещении фаз в радиальном направлении, можно пренебречь и непрерывной радиальной неравномерностью углеводородных составов в пределах пленки жидкости, пристеночного газа и приосевого потока и характеризовать ее в первом приближении тремя величинами, постоянными в пределах пленки, пристеночного газа и приосевого потока, но переменными вдоль оси x вихревой камеры.

Для представленных таким образом двухфазных углеводородных потоков получена система уравнений, описывающая изменение характеристик потоков при течении в вихревой трубе.

Характеристики потока на выходе из соплового канала определяются уравнениями расхода, энергии, количества движения и материального компонентного баланса смеси одномерного, теплоизолированного, многокомпонентного газожидкостного потока с равновесными фазовыми переходами.

Принято, что характеристики пристеночного потока на входе в вихревую камеру при $x = 0$ равны характеристикам потока на выходе из соплового канала. Для пленки жидкости на стенке вихревой камеры: энтальпия $h_w'' = h_c''$; расход составляющих ее компонентов $G_{iw}'' = G_{ic}''$; давление $p_w'' = p_c$; температура $T_w'' = T_c$, при этом h_c'' ; G_{ic}'' ; p_c и T_c энтальпия, расход, давление и температура жидкой фазы в потоке на выходе из соплового канала. Аналогично для пристеночного газа при $x = 0$; $h_w' = h_c'$; $G_{iw}' = G_{ic}'$; $p_w' = p_c$; $T_w' = T_c$.

Изменение расходов компонентной смеси в потоках при течении вдоль оси x вихревой камеры определяются следующими уравнениями:

- для пленки жидкости на стенке

$$dG_{iw}'' = k_{iw}'' \cdot x_{iw}'' \cdot E \cdot dz; \quad (1)$$

$$E = \left[\left(\sum_{i=1}^n x_{iw}'' \cdot M_i \right) / M_i \right] \cdot \sum_{i=1}^n G_{iw}''; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{iw}'' = \sum_{i=1}^n \frac{x_{iw}''}{e_w \cdot (k_i - 1) + 1} = 1; \quad (3)$$

- для пристеночного газа

$$d G'_{iw} = (k_{iw} \cdot x''_{iw} \cdot E - U \cdot G'_{iw}) \cdot dz; \quad (4)$$

$$U = (M_x \cdot G_0) / (L_{вх} \cdot \sum_{i=1}^n G'_{iw}), \quad (5)$$

- для приосевого потока

$$d G_{ie} = U \cdot G_{ie} \cdot dz; \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^n G_{ie} = G_0 \cdot (1 - z / L_{вх}) \cdot M_x; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ie}'' = \sum_{i=1}^n \frac{x_{ie}}{e_e \cdot (k_{ie} - 1) + 1} = 1; \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^n x'_{ie} = \sum_{i=1}^n x''_{ie} \cdot k_{ie}; \quad (9)$$

$$x_{ie} = G_{ie} / \sum_{i=1}^n G_{ie}; \quad (10)$$

$$x'_{ie} = G'_{ie} / \sum_{i=1}^n G'_{ie}; \quad (11)$$

$$x''_{ie} = G''_{ie} / \sum_{i=1}^n G''_{ie}, \quad (12)$$

где M_x - массовая доля расхода холодного потока;

$L_{вх}$ - длина вихревой камеры.

Значения констант равновесия k_i и удельных энтальпий h_i определяются по уравнению состояния Редлиха-Квонга для реальных многокомпонентных углеводородных смесей.

Изменение теплосодержания в пристеночном потоке с учетом расхода энергии на испарение:

$$d \left(\sum_{i=1}^n h'_{iw} \cdot G'_{iw} + \sum_{i=1}^n h''_{iw} \cdot G''_{iw} \right) = q_w \cdot dz, \quad (13)$$

то же в приосевом с учетом расхода энергии на конденсацию:

$$d \left(\sum_{i=1}^n h'_{ie} \cdot G'_{ie} + \sum_{i=1}^n h''_{ie} \cdot G''_{ie} \right) = q_e \cdot dz, \quad (14)$$

где q_w - приток тепла к пристеночному потоку, q_e - расход энергии пристеночного потока на нагрев приосевого.

Для определения величин q_w и q_e , а также зависимостей $P_w(z)$ и $P_e(z)$ использовали экспериментальные данные, полученные при исследовании газодинамических характеристик потоков

вихревой камеры. При этом учитывалось то, что в данном математическом описании целесообразно использовать экспериментальные результаты, полученные при работе вихревой трубы без фазовых переходов, когда влияние состава смеси на характеристики не существенно. Таким образом получены эмпирические уравнения вида:

$$q_w \cdot dz = c_{pw} \cdot G'_w \cdot d [T_r' - (T_r' - T_c') \exp(-0,264 \cdot z)]; \quad (I5)$$

$$q_e \cdot dz = c_{pe} \cdot G'_e \cdot d [T_r' - (T_r' - T_x') \exp(-0,228 \cdot z)]; \quad (I6)$$

$$P_w = P_r - (P_r - P_c) \cdot \exp(0,086 \cdot z); \quad (I7)$$

$$P_e = P_r - (P_r - P_x) \cdot \exp(0,065 \cdot z), \quad (I8)$$

где $c_{pw}; c_{pe}$ - теплоемкости;

$T_r'; T_x'$ - температуры горячего и холодного потоков, при работе вихревой трубы без фазовых переходов;

$P_r; P_c; P_x$ - давление в горячем, холодном потоке и на выходе из соплового канала соответственно.

Решение данной системы уравнений при заданных $G_0; h_0; x_{i_0}; P_0; P_x; P_r; P_c; T_0; P_0; M_x; L$, а также T_x' и T_r' (температурные характеристики, определенные экспериментально, при работе вихревой трубы без фазовых переходов), относительно T_w и G_{iw} при $z = L_{\text{эк}}$ дает характеристики горячего потока T_r и G_{ir} , а относительно T_e и G_{ie} при $z = 0$ дает характеристики холодного потока T_x ; G_{ix} . Значения $T_r; T_x; G_{ir}; G_{ix}$ определены с учетом происходящих в вихревой трубе фазовых переходов и компонентного разделения.

Использование данной модели при решении основной задачи работы - разработке методики расчета характеристик вихревых труб, работающих на нефтяном и природном газе, позволяет решить проблему получения экспериментальных данных в широком диапазоне содержания в этих газах конденсирующихся компонентов, ограничив задачу эксперимента проверкой достоверности модели и определением характеристик вихревой трубы при работе без фазовых переходов, при котором достаточно определить характеристики при одном из составов, так как в этом случае влияние состава

несущественно.

В третьей главе описана установка, методика и результаты экспериментального исследования характеристик вихревой трубы на углеводородных газовых смесях, а также разработка рекомендаций для создания более эффективной модификации трехпоточной вихревой трубы.

Для получения достоверных данных при проверке возможности использования математической модели для решения технологических задач по созданию промышленных установок, производительность вихревой трубы выбрана равной производительности промышленных образцов: $Q = 250 \text{ млн. м}^3/\text{год}$.

Экспериментальная установка спроектирована как опытно-промышленная установка низкотемпературной конденсации, схема которой представлена на рис. I.

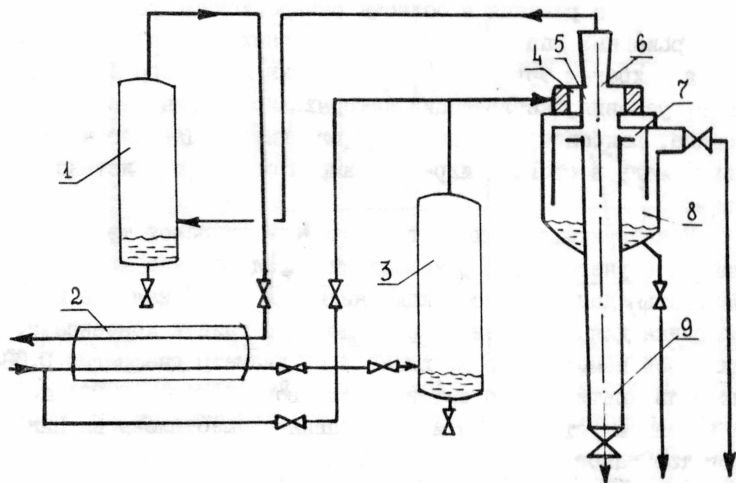


Рис. I. Технологическая схема экспериментальной установки и конструктивная схема трехпоточной вихревой трубы: 1, 3 - сепараторы; 2 - теплообменник; 4 - сопло; 5 - спиральный канал; 6 - диафрагма; 7 - диффузор; 8 - конденсатор; 9 - вихревая камера

Исходный газ, поступающий на установку при $P_{\text{вх}} = 3,6 \text{ МПа}$ и $T_{\text{вх}} = 303 \text{ К}$, охлаждали холодным потоком вихревой трубы, а

конденсат отделяли в сепараторах. Предусмотрена система байпасов, позволяющая изменять температуру и состав исходного потока вихревой трубы.

При анализе путей совершенствования конструкций трехпоточных вихревых труб было определено, что необходимы рекомендации по профилированию соплового канала, обеспечивающего конденсацию с минимальным переохлаждением, а также по конструированию вывода пристеночного конденсата.

Для определения длины и формы соплового канала в данной работе использованы результаты экспериментального исследования процесса конденсации углеводородных смесей в сопловых каналах, проведенного Е.А.Муруновым. Для разработки рекомендаций по конструкции вывода пристеночного конденсата проанализированы существующие решения в области сепарационных устройств мелкодисперсионных капель в высокоскоростных потоках. Определено, что в вихревых трубах для переработки нефтяного и природного газа, условия эксплуатации которых характерны нестабильностью режима, наиболее целесообразно выводить конденсат через кольцевую щель в стенке вихревой камеры с частью пристеночного газа.

Конструктивная схема трехпоточной вихревой трубы, разработанной с учетом этих рекомендаций представлена на рис.1. Особенностью данной конструкции является также наличие конденсаторной емкости для разделения пристеночного газа и конденсата. Диаметр вихревой камеры 0,15 м, длина 3 м, диаметр диафрагмы 0,083 м, площадь критического сечения соплового канала $(0,021 \times 0,042) \text{ м}^2$.

Монтаж установки и исследования осуществлены на Нижневартовском газоперерабатывающем заводе.

В ходе исследований измеряли давления, температуры и расходы потоков. Наряду с этим хроматографическим способом определяли их углеводородный состав.

На первом этапе экспериментального исследования определяли температурные характеристики вихревой трубы при работе без фазовых переходов и компонентного разделения: снижение температуры холодного $\Delta T_x' = T_0' - T_x'$ и нагрев горячего потока $\Delta T_r = T_0 - T_r'$ в зависимости от массовой доли расхода холодного потока $M_x = G_x / G_0$.

Установлено, что при работе с выводом пристеночного газа (с третьим потоком) зависимости $\Delta T'_x(M_x)$ и $\Delta T'_r(M_x)$ качественно сходны с аналогичными зависимостями для вихревых труб без третьего потока. С увеличением расхода газа третьего потока максимум $\Delta T'_x$ снижается, а соответствующее ему M_x уменьшается, что приводит к снижению максимальной холодопроизводительности вихревой трубы, зависимость которой от массовой доли расхода третьего потока $M_3 = G_3' / G_0$ при $T_x = 8$ представлена на рис.2.

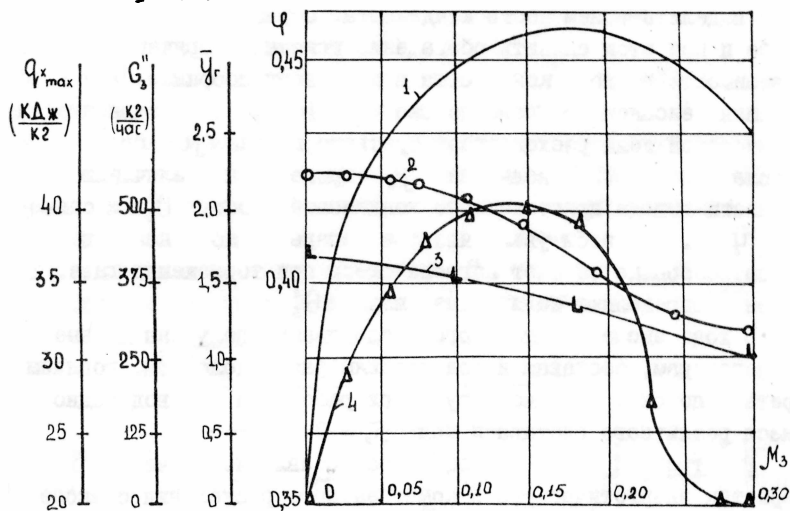


Рис.2. Влияние массовой доли расхода газа третьего потока M_3 на максимальную холодопроизводительность $Q_{x,max}$, обогащение гексаном горячего потока y_r , расход конденсата в конденсатоотборнике G_3 и степень извлечения пропана и более тяжелых компонентов ϕ на установке низкотемпературной конденсации при $T_x = 8$.
1 - ϕ ; 2 - y_r ; 3 - $Q_{x,max}$; 4 - G_3

Газ третьего потока нагрет. Величина нагрева увеличивается с ростом его расхода. При этом зависимость $\Delta T'_3(M_x) = T_0 - T'_3(M_x)$ качественно сходна с зависимостью $\Delta T'_r(M_x)$, а максимальная величина нагрева при $T_x = 3 + 8$, достигает $5 + 15$ градусов.

На втором этапе исследовали характеристики трехпоточной

вихревой трубы при работе ее с фазовыми переходами и компонентным разделением в режиме максимальной холодопроизводительности.

Газовая фаза горячего потока обогащена тяжелыми компонентами, преимущественно гексаном, а холодного обеднена. При работе вихревой трубы без вывода пристеночного газа в конденсатор-сборник, конденсат в нем, а также в холодном и горячем потоках отсутствовал.

Вывод части пристеночного газа в конденсатор-сборник позволяет выделить в нем часть конденсата, образующегося в вихревой трубе и при этом снизить обогащение гексаном горячего потока. Зависимость расхода конденсата в конденсатор-сборнике G_3'' и обогащения гексаном горячего потока $\bar{q}_r = q_r / q_0$ в зависимости от массовой доли расхода газа третьего потока m_3 представлена на рис.2. Увеличение m_3 приводит к увеличению эффективности вывода пристеночного конденсата, росту G_3'' и снижению $\bar{q}_r$. При этом увеличивается испарение конденсата в конденсатор-сборнике за счет нагрева смеси при торможении газа. Эти явления определяют наличие максимума G_3'' .

В ходе экспериментального исследования получены данные по температурам, составам и содержаниям фаз в холодном, горячем и третьем потоках вихревой трубы при работе на углеводородной смеси различного состава и при $\bar{q}_r = 3 + 8$.

В четвертой главе проведено сопоставление расчетных характеристик энергетического и компонентного разделения с экспериментальными, полученными при работе вихревой трубы с фазовыми переходами и определена эффективность разработанных рекомендаций.

Максимальное расхождение результатов расчета и эксперимента для температурных характеристик холодного и горячего потоков составляет 2-3 градуса (не более 10% от величины охлаждения холодного потока). Расчетно подтверждается отсутствие конденсата в холодном и горячем потоках. Расхождение результатов расчета и эксперимента углеводородных составов холодного и горячего потока, в пределах 12-18%. Такая сходимость результатов расчета с экспериментом позволяет применять разработанную модель, дополненную полученными экспериментальными данными, при решении технологических задач для расчета характеристик вихревых труб без третьего потока. Для трехпоточных модель

необходимо дополнить зависимостями для расчета вывода пристеночного конденсата.

Эффективность применения модифицированной трехпоточной вихревой трубы в установках переработки нефтяного газа определяли как степень извлечения пропана и более тяжелых компонентов из газа, поступающего на установку

$$\varphi = \left(\sum_{i=3}^n G_{i_{вх}} - \sum_{i=3}^n G_{i_{вых}} \right) / \sum_{i=3}^n G_{i_{вх}}, \quad (I9)$$

где $\sum_{i=3}^n G_{i_{вх}}$; $\sum_{i=3}^n G_{i_{вых}}$ суммарный расход пропана и более тяжелых компонентов в газе, поступающем на установку и газе выходящем с установки соответственно.

В ходе анализа показано, что величина φ зависит от расхода газа третьего потока. Характер зависимости $\varphi(M_3)$ при $\pi_k = 8$ представлен на рис.2. Максимум степени извлечения определяется тем, что при этом же значении в конденсатосборнике удается выделить наибольшее количество, образующегося в вихревой трубе конденсата. При других значениях π_k характер зависимости $\varphi(M_3)$ аналогичен. Максимальные значения φ при различных степенях расширения π_k представлены в таблице:

!	π_k	!	3	!	5	!	8	!
	φ		0,275		0,42		0,456	

В результате анализа установлено, что эффективность применения вихревых труб в установках переработки газа при использовании данной конструкции увеличивается на 28%.

В пятой главе приведен алгоритм расчета характеристик трехпоточной вихревой трубы. В основу расчета положены уравнения, описывающие модель процессов энергетического и компонентного разделения углеводородных смесей, дополненные формулами для расчета характеристик третьего потока после вывода конденсата и части пристеночного газа в конденсатосборник и торможения с учетом влияния испарения конденсата:

$$M_3 \cdot \sum_{i=1}^n G'_{i_w} \cdot h'_{i_w} + \xi_3 \cdot \sum_{i=1}^n G''_{i_w} \cdot h''_{i_w} + q_3 = \sum_{i=1}^n G'_{i_3} \cdot h'_{i_3} + \sum_{i=1}^n G''_{i_3} \cdot h''_{i_3}; \quad (20)$$

$$\sum_{i=1}^n x''_{i_3} = \sum_{i=1}^n \{x_{i_w} / [e_3 \cdot (k_{i_3} - 1) + 1]\} = 1; \quad (21)$$

$$\sum_{i=1}^n x'_{i3} = \sum_{i=1}^n k_{i3} \cdot x''_{i3}; \quad (22)$$

$$G_i = (x_i \cdot \sum_{i=1}^n G_i \cdot M_i) / \sum_{i=1}^n M_i; \quad (23)$$

$$q_3 = c_p (T'_3 - T'_{w_{x, l_3}}), \quad (24)$$

где Q_3 — энергия выделяющая при торможении газовой фазы в конденсатосборнике.

Для определения ряда величин входящих в уравнения (15), (16), (24): температур холодного T'_x , горячего T'_r , третьего потока T'_3 при работе вихревой трубы без фазовых переходов, величин, входящих в уравнения (17), (18) — давления на выходе из соплового канала P_c и горячего потока P_r , а также доли конденсата, выводящегося в конденсатосборник ξ'_3 в уравнении (20), использованы данные, полученные в ходе экспериментального исследования трехпоточной вихревой трубы.

Расчет характеристик проводится при заданных: температуре, давлении, расходе и составе исходного потока, степени расширения и массовых долях расхода газа холодного и третьего потоков. Для решения системы уравнений разработана программа численного решения на ЭВМ ЕС-1050. При этом использованы комплексы стандартных программ расчета на ЭВМ моделей химико-технологических систем. В результате расчета определяются составы и расход конденсата в холодном, горячем и третьем потоках, а также их температуры с учетом влияния фазовых переходов.

В шестой главе описаны результаты практического применения разработанных методов расчета и рекомендаций при создании и внедрении новой техники и технологии подготовки нефтяного и природного газа. При этом разработаны технологические схемы малогабаритных установок переработки нефтяного газа, рекомендованных для строительства в Тюменской, Оренбургской областях и Башкирской АССР; разработан и испытан опытно-промышленный образец вихревой трубы для подготовки природного газа к транспорту в системе газлифтной добычи нефти и ряд других конструкций.

В ы в о д ы

1. В результате теоретического анализа разработана модель процессов энергетического и компонентного разделения углеводородных смесей в вихревой трубе. Разработано математическое описание модели, позволяющее расчетно определять температуры и углеводородные составы потоков при течении внутри вихревой трубы и на выходе из нее.

2. На базе математического описания модели и результатов экспериментального исследования трехпоточной вихревой трубы, разработана полуэмпирическая методика расчета характеристик вихревых труб для переработки нефтяного и природного газа, позволяющая решать задачи по проектированию, оптимизации и технико-экономическому обоснованию технологических установок.

3. Разработана и исследована новая модификация трехпоточной вихревой трубы, использование которой увеличивает эффективность установок переработки нефтяного и природного газа с вихревыми трубами на 28%.

4. Разработанная методика и полученные в ходе экспериментов рекомендации используются при разработке и внедрении новой техники и технологии переработки и подготовки нефтяного и природного газа.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

1. Баженов Ю.М. и др. К вопросу о расчете разделения углеводородных смесей в вихревой трубе / Игния Н.П., Чернов А.Н., Киляник А.В. – ИФЖ, 1976, том XXXI, № I, с.126–128.

2. Баженов Ю.М., Чернов А.Н. Исследование процесса разделения газа в вихревой трубе. – Вихревой эффект и его применение в технике: Труды второй Всесоюзной научно-технической конференции, Куйбышев, 1976, с.24–29.

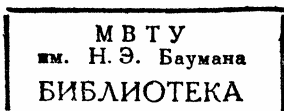
3. Чернов А.Н., Баженов Ю.М., Колмаков В.Е. Применение вихревых труб для переработки нефтяного газа. – Нефтепромышленное дело, 1976, № II, с.27–29.

4. Чернов А.Н., Баженов Ю.М., Киляник А.В. К вопросу применения вихревых труб в технологических схемах ГПЗ. – В сб.: Переработка нефтяных газов. ВНИИОЭНГ, М., 1976, вып.2, с.86–91.

5. Чернов А.Н. и др. Исследования работы трехпоточной вихревой трубы на нефтяном газе / Брещенко Е.М., Бобровников Г.Н., Поляков А.А. – В сб.: Переработка нефтяных газов, ВНИИОЭНГ, М., 1981, вып.7, с.115–123.

6. Чернов А.Н. и др. Модель процесса компонентного разделения углеводородных газовых смесей в вихревой трубе / Бобровников Г.Н., Поляков А.А., Брещенко Е.М. – В сб.: Математическое моделирование газоперерабатывающих производств, ВНИИОЭНГ, М., 1982, вып.8, с.27–36.

Чернов



Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Ротапринт КНИИСХ.

МА.06110 01.03.83. Заказ57 .