

ния, питания, фармакологии, психологии, медицинских исследований, различных разделов медицины и др.;

- Index of Patent Offices World-Wide, James W Piper & Co: Медицинские патенты: новости и сайты государственных органов по выдаче патентов в странах мира;
- Journal Citation Reports: База данных Каролинского университета (Швеция) для студентов, преподавателей и исследователей. Поиск информации об издателях научных журналов, импакт-факторах, цитируемости.

Примерами баз диагностических данных могут служить:

- Patrix: (Швеция) Содержит общую информацию о болезнях, методах лечения, лекарственных препаратах, самолечении. Свободный доступ.
- DynaMed (Dynamic Medical Information System): Медицинская информационная база данных по более, чем 2000 заболеваниям. Ежедневно обновляется.

• **NORD Rare Disease Database:** Информация о 1000 нозологиях, поиск по ключевым словам. Включает симптомы заболеваний, этиологию, предрасположенность, осложнения, стандартные методы лечения, диагностические процедуры, источники информации и справочного материала. Доступ платный.

• **OMIM [Online Mendelian Inheritance in Man]** Он-лайн база данных наследственности по законам Менделя. Содержит клиническую и доклиническую информацию по генетике. Свободный доступ.

Реализуется поиск и вся поддержка БД соответствующими системами управления, так называемыми СУБД.

СУБД – система управления базами данных. СУБД связывает пользователей и физическое представление данных. Все пользовательские запросы обрабатываются СУБД.

Главная функция СУБД – сокрытие программного кода от пользователей баз данных.

СУБД также устанавливают ограничения на количество информации, которая может быть доступна конкретному пользователю. Например, врачу и регистратору больницы требуются различные данные, хранящиеся в базе данных.

Когда пользователь хочет получить доступ к базе данных, он выполняет запрос, используя специальный язык, который понимается СУБД. Запрос обрабатывается и проверяется на синтаксические ошибки. Далее СУБД изучает внешнее и внутреннее строение, и выполняет необходимые операции с хранимой базой данных. СУБД должна отыскивать каждую из запрошенных записей и составлять таблицу, соответствующую запросам пользователя.

Исходя из сказанного СУБД – это программная система, которая обеспечивает процесс доступа к данным, а именно:

- обеспечивает необходимый поиск во внешней памяти;
- обеспечивает копирование найденных по запросу данных в память компьютера пользователя;
- управляет всеми операциями с базой данных.

Выбор оптимальной СУБД представляет сложную многопараметрическую задачу и является одним из главных этапов в разработке ИС.

В медицинских информационных системах используется технология удалённого сервера баз данных, с коллективным доступом пользователей к данным на сервере по Интернет. Медицинские данные – являются продуктом запросов пользователей.

- Особенностями этой технологии является:
- Предоставление пользователю только результат поиска, а не самой БД;

- Полнота представления запрошенной информации;
- Высокая скорость обработки, доступа к данным;
- Интерактивность системы;
- Локальная или удаленная работа пользователя.

При локальной работе можно найти данные по пациенту в базе самой больницы, а в удаленном режиме – в областной клинике.

В настоящее время в здравоохранении имеется большое количество разнообразных персонифицированных БД целевого назначения на всех уровнях – начиная с уровня учреждений до федерального уровня.

Одним из главных информационных ресурсов медицинского учреждения является его автоматизированная корпоративная БД, включающая сведения из медицинских карт пациентов, данные об объемах и характере оказанной им медицинской помощи, финансовых потоках, счетах на оплату услуг, формирующихся при оплате медицинской помощи, нормативно-справочная медицинская и экономическая информация.

На сегодня можно выделить 3 основных подхода в вопросе выбора СУБД:

1. МИС разрабатывается на базе реляционной СУБД. Этот подход используется в подавляющем большинстве решений.

2. МИС разрабатывается на базе пост-реляционной СУБД или объектно-ориентированной СУБД. Этот подход чаще всего используется при выборе СУБД Cache или Lotus Notes / Domino в качестве основы системы.

3. Объектно-реляционный подход. Наиболее перспективное решение, учитывающее специфику предметной области и, вместе с тем, интегрирующее в себе все преимущества первых двух решений.

Из-за постоянного увеличения обрабатываемой информации в настоящий момент базы данных широко используются в различных областях медицины с абсолютно разными целями, поэтому можно сделать вывод, что постоянно необходимы новые, более совершенные СУБД, МИС и т.д.

Список литературы

1. Базы данных [Электронный ресурс] URL: http://www.codenet.ru/progr/vbasic/vb_db/1.php
2. Медицинские базы данных [Электронный ресурс] URL: <http://ilab.xmedtest.net/?q=node/4185>.
3. Методика формирования баз данных [Электронный ресурс] URL: <http://www.budgetrf.ru/Publications/Magazines/VestnikSF/2006/vestniksf289-1/vestniksf289-1090.htm>.
4. Примеры баз данных [электронный ресурс] URL: <http://surgerycom.net/some/Bazas.htm>
5. Подходы в вопросе выбора СУБД [электронный ресурс] URL: <http://citforum.ru/database/articles/msmysql/>.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНДЕНСАЦИИ УГЛЕВОДОРОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДАННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТА ПО ОХЛАЖДЕНИЮ ВОЗДУХА В ТРЕХПОТОЧНОЙ ВИХРЕВОЙ ТРУБЕ

Слесаренко В.В., Власенко В.С., Мешков Е.Н., Ем Ю.М.

*Инженерная школа ДВФУ, Владивосток,
e-mail: plbivodoom@mail.ru*

Одним из перспективных методов снижения потерь от испарений нефти и нефтепродуктов, является рекуперация паров углеводородов, посредством эффекта Ранка-Хилша, реализуемого в трехпоточной вихревой трубе. Вихревой эффект, или эффект Ранка реализуется в процессе течения интенсивно закрученного потока по асимметричному каналу, на торцевых поверхностях которого устанавливаются ограничительные элементы – дроссель на «горячем» и диафрагма с центральным отверстием на «холодном» концах трубы. При определенном сочетании режимных и конструктивных управляющих пара-

метров из отверстия диафрагмы истекает некоторая охлажденная часть исходного закрученного потока, а из дросселя – другая подогретая часть [1]. Для исследования процесса вихревой рекуперации на кафедре нефтегазового дела и нефтехимии ДВФУ разработана и сконструирована лабораторная установка (рис. 1) [2].

Основным объектом исследования на стенде является трехпоточная вихревая труба (ТВТ) с низкотемпературным сепарационным узлом (рис. 2). Сопло было исполнено в виде улитки «по Меркулову» с площадью проходного сечения 11,27 мм², высотой 2,5 мм и шириной 6 мм.

Основная функция ТВТ – это получение углеводородного конденсата, который образуется в след-

ствие охлаждения паровоздушной смеси (пары углеводородов), и его выделение из газового потока. Одним из основных показателей эффективности установки, является количество отсепарированного углеводородного конденсата, который будет отделяться в ТВТ [2]. Для оценки количества углеводородного конденсата, который может быть получен в результате работы вихревой трубы, в данной работе предлагается метод расчета процесса конденсации углеводородного газа в ТВТ, с учетом экспериментальных данных полученных при работе вихревой трубы на воздухе.

В качестве расчетной смеси принята смесь следующего состава (табл. 1).



Рис. 1. Сконструированная лабораторная установка

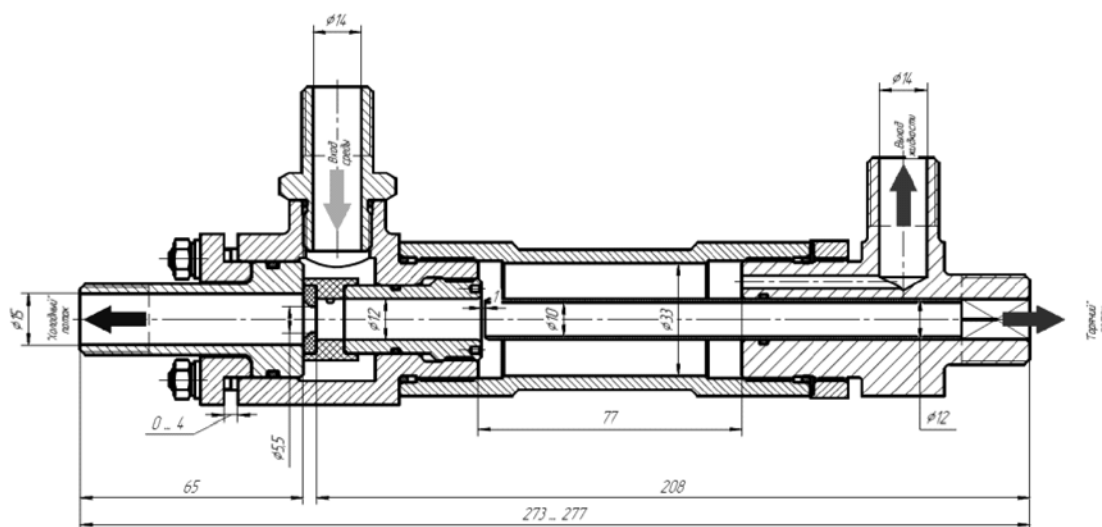


Рис. 2. Исследуемая ТВТ

Таблица 1

Компонентный состав исследуемой смеси

Компонент	w, об, %	w, m, %	X ₀₂ , %
N ₂	73,8	64,1	73,4
CO ₂	14	19,3	14,1
O ₂	4	4,0	4,2
C ₃ H ₈	5,6	7,8	5,8
n-C ₄ H ₁₀	2,5	4,8	2,5

Данная смесь моделирует состав ПВС в танке-ра по у.в., которые содержатся в нем в наибольшем количестве. Данную смесь наиболее просто создать в лабораторных условиях применив баллоны с пропан-бутаном и углекислым газом. Содержание инертных газов принято исходя из условий эксплуатации нефтяных танкеров, правил транспортировки углеводородов морским транспортом и рабочих параметров их системы инертных газов.

Рассматривая процессы конденсации компонентов газа в вихревой трубе, в том числе в ТВТ, необходимо, прежде всего, иметь в виду, что теоретически в ней имеется две зоны охлаждения газа и, соответственно, две зоны возможного появления капельной жидкости. Первая зона находится в сопловом вводе и является следствием известного термодинамического закона и том, что в скоростном потоке газа имеет место понижение температуры «движущегося градусника». При этом газ охлаждается до статической (термодинамической) температуры, более низкой, чем температура торможения (полная температура). Вторая зона конденсации должна находиться в охлажденных приосевых слоях вынужденного вихря, где из-за потери окружной скорости определяющую роль играет не статическая температура, а температура торможения. Температура формирующегося холодного потока (вынужденного вихря) начинает снижаться в районе дросселя (конца вихревой камеры) и достигает минимального значения на срезе диафрагмы. В ходе экспериментов, проведенных на влажном воздухе, наблюдалась конденсация воды в сопловом канале и на диафрагме, что соответствует предложенным выше теоретическим зонам охлаждения.

Процесс конденсации во второй зоне охлаждения происходит за счет изменения внутренней энергии той части основного потока, которая впоследствии станет холодным потоком. Схема данного процесса показана на рис. 3.

До попадания в вихревую трубу поток имеет температуру t_b и внутреннюю энергию $U_{вх}$. После выхода из трубы, температура потока понизилась до t_x , что говорит о том, что его внутренняя энергия также понизилась до U_x , на величину ΔU_x . Условно можно представить, что изменение внутренней энергии было вызвано тем, что от данного потока была отведена теплота $Q_x = \Delta U_x$. Дальнейшие расчеты будем вести исходя из данной замены. Холодный поток имеет объёмный расход V_x' [м³/с], который измеряется после выхода холодного потока из ТВТ. За время работы установки τ [с], объём газа, прошедший по холодному потоку V [м³] будет равен:

$$V_x = v_x \tau, \quad (1)$$

в свою очередь масса данного объёма газа G [кг] будет равна:

$$G_x = V_x \rho_x, \quad (2)$$

где ρ_x [кг / м³] – это плотность газа в холодном потоке при давлении P_x [Па], измеряемом за ТВТ. В результате прохождения газа через ТВТ, температура холодного потока понизится на Δt_x [°C], равную разности между температурой газа на входе в ТВТ t_b [°C] и температурой холодного потока на выходе из ТВТ t_x [°C]:

$$\Delta t_x = t_b - t_x. \quad (3)$$

Температура понижается, как было сказано выше, за счёт условного отведения теплоты Q_x [Дж] за время τ , от объёма газа V , образующего холодный поток в ТВТ. Количество теплоты, забираемой у охлаждаемого газа, проходящего по холодному потоку, в единицу времени характеризуется хладопроизводительностью ТВТ N_x [Вт]. Таким образом:

$$Q_x = N_x \tau. \quad (4)$$

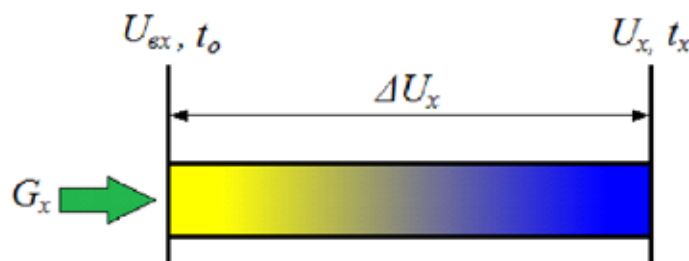


Рис. 3. Схема изменения внутренней энергии в холодном потоке

В случае, если температура холодного потока опускается до температуры конденсации газа $t_{кx}$ [°C], которая справедлива для давления P_x , то дальнейшего понижения температуры газа не происходит, и отвод от газа тепла идёт на превращение газа в жидкость. В данном случае, количество теплоты Q можно представить как:

$$Q = Q_{охл} + Q_{конд}, \quad (5)$$

где $Q_{охл}$ [Дж] – количество теплоты, идущее на охлаждение газа объёмом V_x от температуры t_b до температуры $t_{кx}$, а $Q_{конд}$ [Дж] – количество теплоты, идущее на превращение паров углеводородной компоненты массы X_x [кг] в жидкость. $X_x < G_x$, так как на практике хладопроизводительности ТВТ будет не достаточно для перевода всей смеси из газовой фазы в жидкую.

$$Q_{охл} = C_{рх} G_x \Delta t_x = v_{рх} C_x \tau t_x (t_b - p_x), \quad (6)$$

($t_x = t_{кx}$, так как температура газа не может опуститься ниже температуры конденсации), где $C_{рх}$ [Дж/кг·К] – изобарная теплоемкость при средней температуре

$$t_{срх} = \frac{t_b + t_{кx}}{2} \text{ [°C]} \quad (3).$$

$$Q_{конд} = q_k X_x, \quad (7)$$

где q_k [Дж/кг] – удельная теплота конденсации газа [3]. Таким образом:

$$N_x \tau = C_{рх} v_x \tau p_x (t_b - t_x) + q_k X_x, \quad (8)$$

В результате эксперимента, проведенного на лабораторной установке с трехпоточной вихревой трубой (в качестве рабочей среды был использован сухой воздух), были получены следующие экспериментальные данные (табл. 2).

Для данных условий воздух имеет следующие характеристики [4] (табл. 3).

Так как в результате эксперимента, $t_{х3}$ не достигло температуры конденсации ни одного из компонентов воздуха (воздух был предварительно осушен до точки росы 3°C), то $X_{х3} = 0$. Выразив из уравнения (8) Хладопроизводительность ТВТ, получим $N_x = 119,2$ Вт.

Предположим, что полученная хладопроизводительность будет такой же и для других газов, если начальные условия для основного потока будут сохранены. Найдем температуру, холодного потока при использовании смеси заданного состава. Для этого выразим ее из уравнения (8) (для начала предположим, что конденсат не выпадает $X_{хсм} = 0$):

$$t_{хсм} = t_b - \frac{N_x}{C_{рсм} v_x \rho_{хсм}}. \quad (9)$$

Подставив значения для газовой смеси из табл. 4 [4], получим $t_{хсм} = 8,3$ °C.

Рассчитаем состав фаз многокомпонентной смеси используя следующие выражения [5]:

$$X_i = \frac{X_{i0}}{K_i - (K_i - 1)L}; \quad (10)$$

$$Y_i = \frac{X_{i0} K_i}{1 + (K_i - 1)V}; \quad (11)$$

где X_{i0} – молярная доля компонента в исходной смеси до начала изменения параметров; K_i – константа равновесия компонента в условиях равновесия; L и V – молярные доли жидкой и газовой фаз соответственно; X_i – молярная концентрация компонента в жидкой фазе после изменения параметров системы; Y_i – то же в газовой фазе. По данным зависимостям были произведены расчеты, которые сведены в табл. 5.

Таблица 2

Экспериментальные данные

Параметр	Единицы измерения	Значение
$v_{в3}$	м ³ /с	0,002
$v_{х3}$	м ³ /с	0,004
$P_{в3}$	Па	900000
$P_{х3}$	Па	120000
$t_{в3}$	°C	24,7
$t_{х3}$	°C	6,8

Таблица 3

Характеристики воздуха

Параметр	Единицы измерения	Значение
$C_{рх3}$	Дж/кг·К	1005,08
$\rho_{х3}$	кг / м ³	1,491
$C_{рсм3}$	Дж/кг·К	1004,7
$\rho_{в3}$	кг / м ³	10,5

Таблица 4

Характеристики многокомпонентной смеси

Параметр	Единицы измерения	Значение
$C_{рсм}$	Дж/кг·К	1110
$\rho_{хсм}$	кг / м ³	1,64
$\rho_{всм}$	кг / м ³	11,87

Таблица 5

Расчет состава фаз многокомпонентной смеси в холодном потоке ($t_{\text{хсм}}=8,3^{\circ}\text{C}$; $P_{\text{х}}=1,2$ атм)

Компонент	$P_{\text{н}}$ (атм)	K	X_0	X
N_2			0,734	0
CO_2	42,7	35,54	0,141	0,004
O_2			0,042	0
C_3H_8	6,07	5,06	0,058	0,011
$\text{н-С}_4\text{H}_{10}$	1,41	1,18	0,025	0,021
Сумма			1	0,038

Так как сумма $X_i < 1$, то жидкая фаза отсутствует (предположение, что конденсация не проходит подтвердилось).

Проверим возможность выпадения конденсата в первой зоне охлаждения.

Рассмотрим термодинамику процесса охлаждения в первой зоне (рис. 4).

нута в ходе эксперимента. Для этого, воспользуемся методикой, предложенной в [6]:

1. Определим $\pi_{\text{стз}} = 2,28$ по табл. [7, 8, 6], при $\mu_3=0,3$ и $\pi_3=7,3$;

2. Определим $P_{\text{стз}}=273600$ Па, по формуле:

$$P_{\text{ст}} = \pi_{\text{ст}} P_{\text{х}}; \quad (14)$$

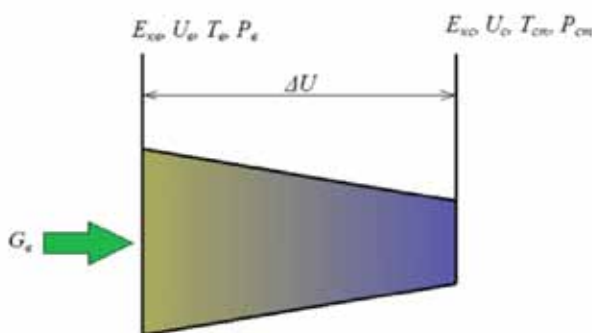


Рис. 4. Схема изменения внутренней энергии при прохождении входящего потока через сопло

При входе в сопловой канал, поток массой $G_{\text{в}}$ имеющий температуру $T_{\text{в}}$ и давление $P_{\text{в}}$ обладает внутренней $U_{\text{в}}$ и кинетической $E_{\text{кв}}$ энергией. При прохождении газа через сопло его скорость увеличится, а температура упадет, следовательно, в ходе прохождения через сопловой канал, внутренняя энергия газа перешла в кинетическую:

$$\Delta U_{\text{с}} = E_{\text{кст}} - E_{\text{кв}}, \quad (12)$$

где $\Delta U_{\text{с}} = U_{\text{в}} - U_{\text{с}}$, $U_{\text{с}}$ – внутренняя энергия потока после прохождения соплового канала, $E_{\text{кст}}$ – кинетическая энергия потока после прохождения соплового канала.

Тогда аналогично уравнению (8), получим:

$$N_{\text{с}} \tau = C_{\text{рс}} v_{\text{в}} \tau_{\text{рв}} (t_{\text{в}} - t_{\text{ст}}) + q_{\text{к}} X_{\text{с}}, \quad (13)$$

где $N_{\text{с}}$ – хладопроизводительность соплового канала [Вт], t – время, за которое через сопловой канал пройдет газ массой $G_{\text{в}}$ [с], $C_{\text{рс}}$ [Дж/кг·К] – изобарная

теплоемкость при средней температуре $t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{в}} + t_{\text{ст}}}{2}$,

$v_{\text{в}}$ – объемный расход входящего потока [м³/с], $\rho_{\text{в}}$ [кг/м³] – плотность газа в входящем потоке при давлении $P_{\text{в}}$ [Па], $t_{\text{в}}$ [°C] – температура входящего потока, $t_{\text{ст}}$ [°C] – температура газа на выходе из сопла (в случае, если газ конденсируется $t_{\text{ст}} = t_{\text{конт}}$), $q_{\text{к}}$ [Дж/кг] – удельная теплота конденсации газа, $X_{\text{с}}$ [кг] – масса газа, сконденсировавшегося при прохождении газа через сопловой канал за время τ .

По результатам эксперимента на сухом воздухе определим хладопроизводительность соплового канала. Во первых, определим $t_{\text{стз}}$, которая была достиг-

3. Найдем число Маха $M_3=1,424$ из следующего выражения [9,10]:

$$M^2 = 2(k_{\text{в}} - 1)^{-1} \left[\left(P_{\text{в}} / P_{\text{ст}} \right)^{(k_{\text{в}} - 1)/k_{\text{в}}} - 1 \right]; \quad (15)$$

Так как в силу ряда причин, скорость воздуха в ходе эксперимента не могла превысить скорость звука, то принимаем $M_3=1$.

4. Так как $M_3=1$, то находим $T_{\text{стз}} = -24,94^{\circ}\text{C}$ по следующей формуле [9, 10]:

$$T_{\text{ст}} = T_{\text{в}} \left[2(k_{\text{в}} + 1)^{-1} \right]; \quad (16)$$

Так как в результате эксперимента, $T_{\text{стз}}$ не достигло температуры конденсации ни одного из компонентов воздуха (воздух был сухой, температура конденсации углекислого газа при $P_{\text{стз}}$ равна -69°C), то $X_{\text{сст}}=0$ (конденсат не выпадал, что также подтверждается наблюдениями в ходе эксперимента). Выразив из уравнения (13) хладопроизводительность соплового канала, и подставив в полученное выражение соответствующие характеристики воздуха из табл. 3, получим $N_{\text{с}}=1,047$ кВт. Предположим, что полученная хладопроизводительность будет такой же и для других газов, если начальные условия для основного потока будут сохранены. Найдем температуру статическую температуру при использовании смеси заданного состава (для начала предположим, что конденсат не выпадает $X_{\text{сст}}=0$). По аналогии с уравнением (9), подставив значения для газовой смеси из табл. 3, получим $t_{\text{сст}} = -15^{\circ}\text{C}$.

Рассчитаем состав фаз многокомпонентной смеси используя выражения (10,11). Результаты сведем в табл. 6.

Таблица 6

Расчет состава фаз многокомпонентной смеси в сопловом канале
($t_{\text{хсм}} = -15^\circ\text{C}$; $P_x = 2,7$ атм).

Компонент	P_n (атм)	K	X_0	X
N ₂			0,734	0
CO ₂	24,20	8,96	0,141	0,015
O ₂			0,042	0
C ₃ H ₈	3,00	1,11	0,058	0,052
n-C ₄ H ₁₀	0,57	0,21	0,025	0,118
Сумма			1	0,186

Так как сумма $X_i < 1$, то жидкая фаза отсутствует (предположение, что конденсация не проходит под тверделись).

Выводы

1. Недостаточная эффективность испытуемой ТВТ ограничена ее геометрическими параметрами, которые определяют значения термобарических потенциалов разделяемых потоков.

2. Хладопроизводительность вихревой трубы можно повысить, достигнув сверхзвуковых скоростей истечения газа из соплового отверстия, при которых скорости разделения потоков примерно уравниваются со средними скоростями свободного выбега молекул компонентов смеси и диссипативные процессы начинают снижать эффективность работы камеры энергоразделения только в области регулирующего дросселя.

3. Большое значение имеет эффективная сепарация выпадающего конденсата, который может обратно переходить в газовую фазу, при контакте с горячим потоком.

4. С учетом того, что в паровоздушных смесях на объектах нефтегазового комплекса, содержание тяжелых углеводородов может составлять более существенную долю, в сравнении с моделируемой смесью, можно предположить, что ПВС с включением более тяжелых углеводородных компонентов, при меньшей скорости свободного выбега молекул, будет легче конденсироваться в созданных на лабораторной установке условиях, а при улучшений условий, станет достижим переход в жидкую фазу наиболее высококипящих компонентов, что благоприятно скажется на количестве получаемой жидкой фазы.

Список литературы

1. Пиралишвили Ш.А., Поляев В.М., Сергеев М.Н. Вихревой эффект. Эксперимент, теория, технические решения. – М.: УНПЦ «Энергомаш», 2000. – 400 с.;
2. Власенко В. С., Слесаренко В.В., Шкредов Д.Н., Юрьев Э.В. Разработка установки с трехпоточной вихревой трубой для рекуперации паров углеводородов;
3. Кириллин В.А Сычев В.В Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика. М.: Энергоатомиздат, 1983. – 416 с.
4. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей/2-е изд., доп. и перераб. – М.: Наука, 1972. – 721 с.
5. Бекиров Т.М, Ланчаков Г.А. Технология обработки газа и конденсата / ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999 – 596 с.
6. Рябов А.П. Разработка и исследование технологии низкотемпературной очистки и осушки нефтяного попутного газа. – Тюмень, 2007. – 177 с.
7. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика. – М., 1991. – Т. 1. – 600 с.
8. Вукалович М.П. Термодинамика / М.П. Вукалович, Н.И. Новиков. – М., 1972. – 670 с.
9. Мартынов А.В. Что такое вихревая труба? / А.В. Мартынов, В.М. Бродянский. – М.: Энергия, 1976. – 153 с.
10. Холпанов Л.Н. Математическое моделирование нелинейных термодинамических процессов / Л.Н. Холпанов, В.Н. Запорец, Г.К. Зиберт, Ю.А. Кашицкий. – М., 1998. – 320 с.

ОЦЕНКА КОНСТРУКТИВНОГО ОФОРМЛЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОВ

Викторов И.В., Высоцкий Л.И.

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина, Саратов, e-mail: ilyavik93@yandex.ru

Выброс промышленных и бытовых сточных вод в открытые водоемы является негативным фактором, приводящим к ухудшению их состояния. Проблемы загрязнения водоемов вызывают, в свою очередь, негативные последствия для экологии и окружающей среды. Масштабы загрязнения уже превысили существующие нормы и границы, обусловленные способностью водоемов к самоочищению. Вследствие этого значительно увеличилась концентрация общего содержания органических веществ и других токсичных компонентов. Актуальность проблематики загрязнения поверхностных водоемов сточными водами связана со сложностями в процессе водоподготовки для питьевого и промышленного водоснабжения и дороговизны этого процесса. Существует необходимость применения энергосберегающих технологий и аппаратов в области очистки сточных вод, которые не требуют существенных затрат при реконструкции очистных сооружений и позволяют значительно улучшить процессы механической и биологической очистки сточных вод. Таким образом, разработка высокоэффективных и экономичных технологий, используемых в канализационных очистных сооружениях сама по себе является весьма актуальной проблемой, но в её составе выделим проблему удаления мелких абразивных частиц, приводящих помимо прочего к абразивному износу оборудования, дополнительным ремонтным работам и т.п.. С этой целью при большой разнице в плотностях взвеси ρ_t и жидкости ρ_j часто используют для их разделения центробежные поля (далее полагаем, что $\rho_t \gg \rho_j$). Весьма эффективными, малогабаритными аппаратами считаются гидроциклоны [1]. Они имеют коническую форму (рис. 1а). Смесь вводится с большой скоростью через патрубок 3 в гидроциклон по касательной (то есть тангенциально) Это приводит к закрутке потока и развитию мощного поля центробежных сил. Поток имеет возможность покинуть гидроциклон через два отверстия, – нижнее – 5 и верхнее – 4 и 1. В результате в гидроциклоне развивается сложное течение, состоящее из двух вихрей, вращающихся в одну и ту же сторону. В месте впуска потока корпусу гидроциклона часто придают цилиндрическую форму – 2. Из-за наличия осевых скоростей движения к верхнему и нижнему отверстиям, течения во внешнем и внутрен-