

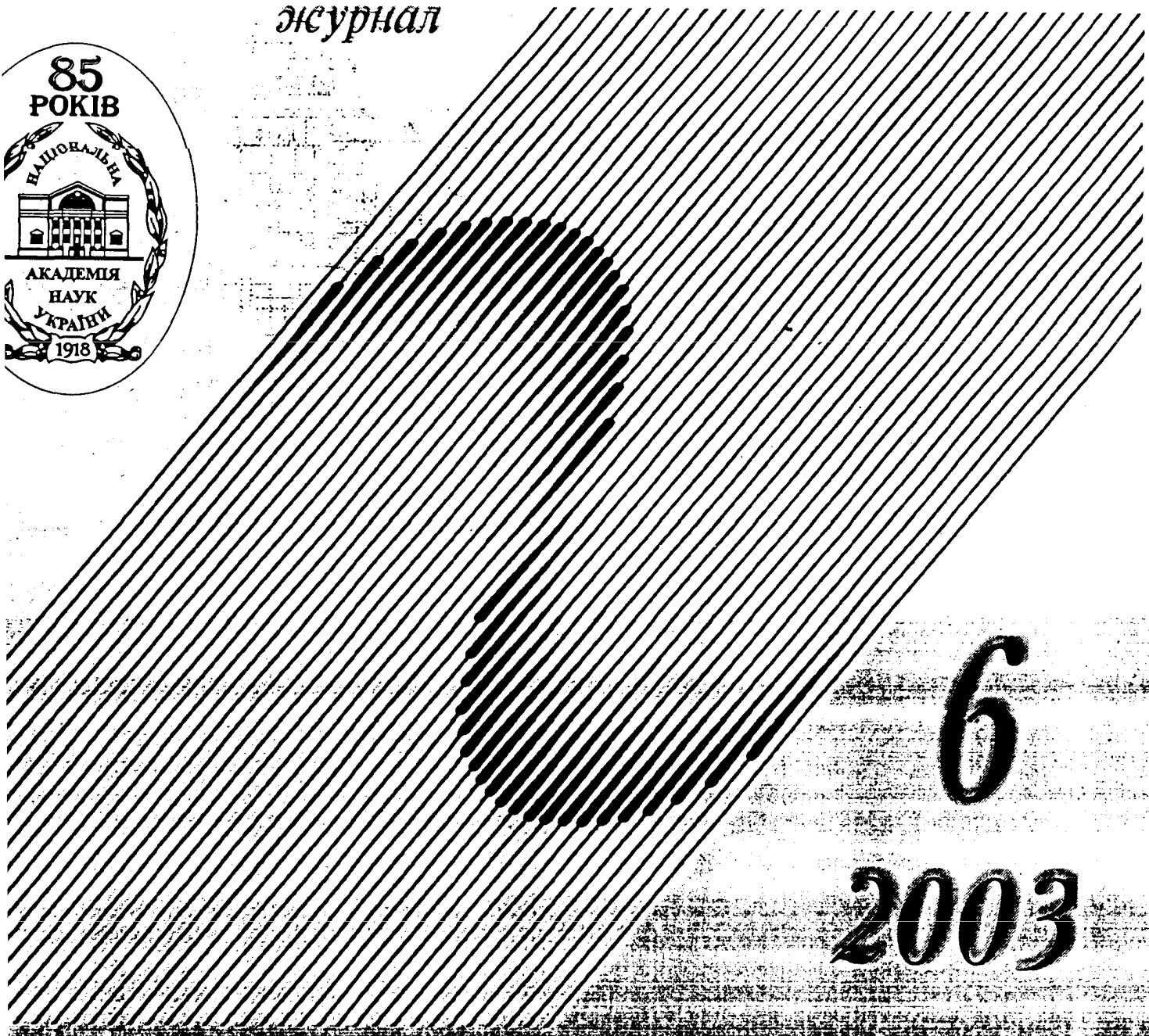
Сумський державний
університет
БІБЛІОТЕКА

Україна
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІБЛІОТЕКА
Читальний зал № 4

ISSN 0235-3482

ЕКОТЕХНОЛОГІИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Научно-технический
журнал



6
2003

УЧРЕДИТЕЛИ

Национальная академия наук Украины
Институт газа НАН Украины
Министерство экологии и природных ресурсов Украины
Украинское химическое общество

Ч

а Константиновна

НКО А.Ю.
НКО В.Д.
Ю А.И.
Я.
З.С.
В А.В.
А.Г.

Адрес редакции: 03113 Киев, ул. Дегтяревская, 39
Институт газа НАН Украины
Тел.: 456 94 89
Факс: 456 88 30
E-mail: eco@ukrpost.net, eir@ukr.net

Регистрационное свидетельство КВ № 433 выдано
21.02.94 г. Министерством информации Украины

Мнение редакции не всегда совпадает с мнением авторов

Редактор Е.Н.Светная
Оригинал-макет В.В.Алексеевко

Подписано в печать 01.11.02. Формат 84×108/16.
Бумага офс. № 1. Печ. офс. Усл.печ.л. 7.0. Уч.-изд.л. 7.96.
Усл.кр.-отт. 7.5. Тираж 550 экз. Зак. 981.
Издательский дом «Академперіодика»
01004 Киев-4, ул. Терещенковская, 4

Приборы и оборудование

УДК 665.632:66.011

Анализ технологической схемы и работы оборудования установки осушки природного газа и узла сепарации

Склабинский В.И., Стороженко В.Я., Смирнов В.А., Ляпощенко А.А.

Сумский государственный университет

Приведен анализ состояния и работы действующего на газовых промыслах абсорбционного оборудования в существующих условиях производства, отличных от проектных режимов. На основании проведенного комплекса теоретических и экспериментальных исследований выданы рекомендации относительно значений параметров проведения технологического процесса в установках осушки природного газа, работающих в оптимальных условиях. Эти установки с применением нового аппаратного оформления сепарационного оборудования обеспечивают качество товарного газа в соответствии с техническими нормами.

Ключевые слова: газопереработка, осушка нефтяных и природных газов, газосепаратор.

Наведено аналіз стану та роботи діючого на газових промыслах абсорбційного обладнання в існуючих умовах виробництва, відмінних від проектних режимів. На підставі проведеного комплексу теоретичних та експериментальних досліджень видано рекомендації щодо значень параметрів проведення технологічного процесу в установках осушування природного газу, які працюють в оптимальних умовах. Ці установки з використанням нового апаратного оформлення сепарацийного обладнання забезпечують якість товарного газу відповідно до технічних норм.

Ключові слова: газопереробка, осушування нафтових і природних газів, газосепаратор.

Аппаратное оформление газовых промыслов позволяет обеспечить плановую добычу газа в начальный период эксплуатации месторождений при работе оборудования в проектных условиях. Естественное снижение технологического давления в процессе эксплуатации месторождения приводит к соответствующему изменению параметров работы основного технологического оборудования. При неизменной номинальной производительности по газу происходит увеличение фактической скорости газового потока в оборудовании. Рабочие скорости газа увеличиваются еще в скважине, что способствует обводненности и загрязнению исходного сырого газа, поступающего на газоперерабатываю-

щие производства. В существующих условиях работа оборудования с заданными параметрами проектных режимов неэффективна, что отражается на качестве продукции (товарного газа).

Работы по созданию прогрессивных технологических схем процессов осушки природного газа (DRIGAS, DRIZO, ECOTEG) зарубежными производителями (SIIRTEC NIGI, OPC Drizo Inc., Prosernat IFP Group Technologies) получили широкое развитие [1-3]. Введены в эксплуатацию одна промышленная установка DRIGAS с нагрузкой по диэтиленгликолю (ДЭГ) — 200 м³/сут и более 45 промышленных установок DRIZO. Они соответствуют более жестким требованиям, обеспечивают низкую температуру точ-

ку росы газа и обладают низкими эксплуатационными затратами по сравнению с традиционными установками. Информации о промышленном внедрении процесса ECOTEG не имеется.

Работы по внедрению новых технических решений проводились ДАО ЦКБН на газовых промыслах ОАО «Газпром» [4]. Модернизация абсорбционного оборудования достигалась заменой существующей тарельчатой ступени с центробежными сепарационными элементами в абсорбере осушки газа газораспределительной сепарационной насадочной секцией (регулярная пластинчатая насадка) довольно металлоемкой конструкции, недостаточно технологичной для промышленного серийного изготовления.

Применяемое в технологических линиях производств нефтяной и газовой отраслей промышленности традиционное газосепарационное оборудование отличается низкой степенью разделения, обеспечивает лишь грубую очистку нефтяных попутных и природных газов от механических примесей и капельной жидкости. Целесообразно применение в технологических схемах указанных производств высокоэффективного инерционно-фильтрующего газосепарационного оборудования [4–6], достаточно широко используемого в химической промышленности [7]. В связи с этим возникает необходимость поиска новых способов обработки газожидкостных потоков и прогрессивных конструкций инерционно-фильтрующих сепарационных устройств для их осуществления, обеспечивающих высокую эффективность разделения, а также проведения более глубоких теоретических и экспериментальных исследований протекающих в них процессов с целью разработки методов инженерного расчета и оценки их эффективности [8–12].

Данная статья посвящена анализу технологических схем и работы оборудования установок осушки природного газа и узлов сепарации. Основная цель — разработка рекомендаций, позволяющих вывести основное технологическое оборудование газоперерабатывающих производств на эффективные режимы работы при технологических параметрах эксплуатации аппаратов, отличных от проектных, вследствие применения нового аппаратного оформления сепарационного оборудования с оценкой его эффективности.

Объектом для проведения исследований был выбран Качановский газоперерабатывающий завод (КГПЗ) ОАО «Укрнефть», спроектированный и введенный в эксплуатацию в 1974 г. При анализе лабораторных данных по составу газа в технологической линии КГПЗ

выявлено, что актуальными являются вопросы очистки газа от механических примесей и капельной жидкости, отделения конденсата из газожидкостного потока после холодильных установок с целью повышения качества выпускаемой продукции (товарного газа).

Анализ экспериментальных исследований по определению состава газа на входе в блок осушки газа (БОГ) и покидающего его, определенной температуры точки росы по влаге для газового потока на входе и выходе из абсорбционной колонны БОГ, теоретический анализ и расчет элементов всей технологической схемы БОГ выявил, что в результате сжатия газа в III ступени сжатия дожимной компрессорной станции (ДКС) увеличивается давление и температура возрастает до 80 °С.

После компрессорной ступени установлены маслоотделители, в которых вследствие высокой температуры влага не выделяется из газа в капельном виде и в требуемом количестве не сепарируется. В последующем холодильнике газ охлаждается до 15–25 °С. Появившаяся капельная влага уносится газовым потоком в абсорбер, где жидкость (H₂O) частично сепарируется и насыщает ДЭГ.

Для эффективного проведения процесса абсорбции влаги в абсорбционной колонне, снижения влагосодержания и понижения температура точки росы до величины, удовлетворяющей требованиям технических условий, необходимо из газового потока удалять влагу в дополнительном высокоэффективном сепарационном устройстве после холодильников перед контактными элементами абсорбционной колонны БОГ.

На основе анализа отечественных и зарубежных технических решений [1–7] для нормализации работы установки осушки природного газа, в частности, для создания оптимальных (мягких) условий проведения технологического процесса в абсорбционной колонне предложены проектные решения по конструктивному оформлению сепарационных устройств (вертикальные блоки волокнистых фильтрующих элементов, тарельчатая ступень патронных волокнистых туманоуловителей) абсорбционной колонны БОГ. В применяемом в технологической схеме IV-ступени сжатия ДКС гравитационно-инерционно-разделительном оборудовании С-2-1-3 (рис. 1), представленном жалюзийными газосепараторами ГСВИ 64-1000, изготовленными в соответствии с ОСТ 26-05-645-72, вертикальные жалюзийные отбойники заменены разработанным и изготовленным инерционно-фильтрующим туманоуловителем.

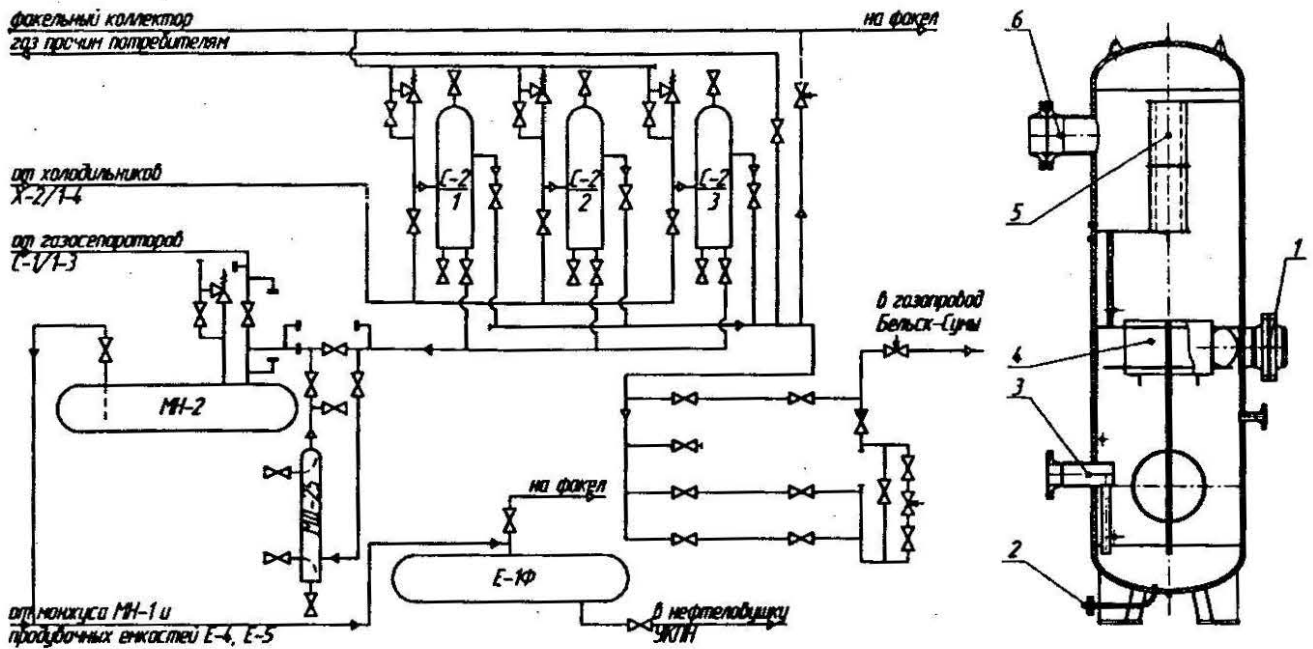


Рис.1. Аппаратный двор IV ступени сжатия ДКС КГПЗ (фрагмент) и конструктивное оформление газосепараторов С-2/1-3: МН-2 — манжус 24-5-1200-25; МД-25 — мерник-дегазатор конденсата; Е-1Ф — факельная емкость; С-2/1-3 — газосепараторы ГСВИ 64-1000; 1 — вход сырого газа; 2 — дренаж; 3 — отвод конденсата; 4 — центробежный каплеуловитель с цилиндрическим завихрителем; 5 — инерционно-фильтрующий туманоуловитель; 6 — выход очищенного газа.

В качестве фильтровальных элементов в соответствии с рекомендациями [7, 13] применено иглопробивное фильтровальное полотно Т-1 ТУ 8397-214-00302327-00 на основе полипропиленового волокна, отличающегося низкой плотностью, высокой прочностью и устойчивостью к истиранию. Высокая химическая стойкость и гидрофобность полипропиленовой ткани дает возможность использовать ее в агрессивных средах. Применение туманоуловителей фильтрующего типа значительно расширяется в связи с применением новых синтетических, полимерных, стеклянных и металлических волокон, пористых пластмасс и керамики [8, 12].

Существующие методы расчета эффективности волокнистых фильтров [7-9, 12, 13] достаточно сложны, предлагаемые ими расчетные зависимости мало пригодны для практических расчетов, так как некоторые параметры в реальных условиях являются величинами переменными и трудноопределяемыми, а в отдельных случаях могут быть получены только экспериментально, что не всегда возможно.

В связи с этим целесообразно для получения расчетной зависимости эффективности улавливания взвешенных частиц механических примесей и высокодисперсной капельной жидкости с помощью газосепаратора с инерционно-фильтрующим туманоуловителем использовать метод физической аналогии [8, 11]. В качестве аналога рекомендуется величина гидродинамического со-

противления, обусловленного движением газового потока через туманоуловитель. Подобная физическая аналогия, безусловно, оправдана, так как и трение, определяющее величину гидравлического сопротивления, и осаждение взвешенных частиц за счет инерционных сил на поверхностях осаждения (волокнах) вызываются одним и тем же процессом перемещения газового потока через фильтрующий слой.

Гидравлическое сопротивление Δp_{ϕ} , возникающее при движении газового потока со взвешенными каплями через фильтрующий элемент инерционно-фильтрующего туманоуловителя, Па [11, 12]:

$$\Delta p_{\phi} = \Delta p + \Delta p_{ж}, \quad (1)$$

где Δp , $\Delta p_{ж}$ — гидравлическое сопротивление сухого фильтрующего элемента и обусловленное наличием в газовом потоке взвешенных капель, Па:

$$\Delta p = \zeta (v_r^2 \rho_r H \alpha) / (\epsilon^2 \pi 2a); \quad (2)$$

$$\Delta p_{ж} = \zeta_{ж} (\bar{v}_r^2 H) / (\epsilon^2 2a) z_1, \quad (3)$$

где ζ , $\zeta_{ж}$ — коэффициенты гидравлического сопротивления сухого фильтрующего элемента и учитывающий наличие в газовом потоке взвешенных капель; v_r — скорость газового потока, м/с; ρ_r — плотность газового потока, кг/м³; H — толщина фильтрующей перегородки, м; α — плотность упаковки волокон (относительная плотность), м³/м³; ϵ — пористость фильтро-

вального материала, m^3/m^3 ; $2a$ — диаметр волокон, m ; z_1 — концентрация капле в газовом потоке на входе в туманоуловитель, kg/m^3 .

По результатам экспериментального исследования (рис.2) гидравлического сопротивления, возникающего при движении двухфазного потока через фильтрующий элемент, при высокоскоростных режимах ($Re > 5$) получена зависимость, пригодная для аналитического определения значений ζ (рис.3):

$$\zeta = 112,4/Re; \quad (4)$$

$$Re = 2a v_r \rho_r / \mu_r, \quad (5)$$

где Re — критерий Рейнольдса; μ_r — динамическая вязкость газового потока, $Pa \cdot s$.

При концентрации капле в газовом потоке $z_1 = 180-230 \text{ мг}/m^3$ коэффициент сопротивления составил $\zeta_{ж} = 800$.

Суммарный коэффициент захвата η_{Σ}'' , учитывающий все механизмы осаждения на единичном волокне [9]:

$$\eta_{\Sigma}'' = 1,3 Re^{-2/3} + 0,7 R^2 + 0,075 Stk^{1,2}, \quad (6)$$

где Re — критерий Пекле; R — параметр, характеризующий осаждение по механизму касания; Stk — критерий Стокса:

$$Re = (2a v_r) / (D \epsilon); \quad (7)$$

$$R = r/a; \quad (8)$$

$$Stk = [(2r)^2 \rho v_r] / (18 \mu_r a), \quad (9)$$

где D — коэффициент диффузии частиц (капель); r — радиус частицы, m ; ρ — плотность частиц, kg/m^3 :

$$D = (C K_B T) / (6 \pi \mu_r); \quad (10)$$

$$C = 1 + (\lambda/r) (1,257 + 0,4 e^{-1,1 r/\lambda}); \quad (11)$$

$$\lambda = (\mu_r/\rho_r) (\pi M / (2 R_T T))^{0,5}, \quad (12)$$

где C — поправка Кенингема-Милликена; K_B — постоянная Больцмана, $K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$

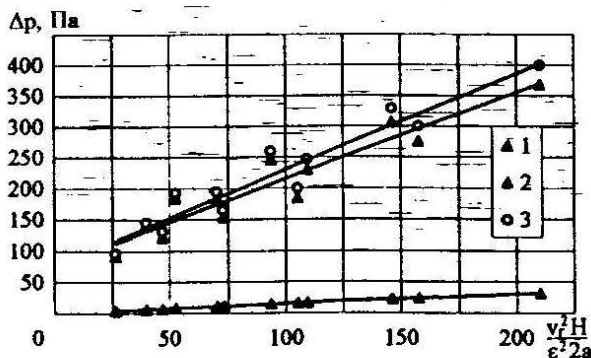


Рис.2. Зависимость Δp от $(v_r^2 H) / (\epsilon^2 2a)$: 1 — Δp_i ; 2 — $\Delta p_{ж}$; 3 — $\Delta p_{ф}$.

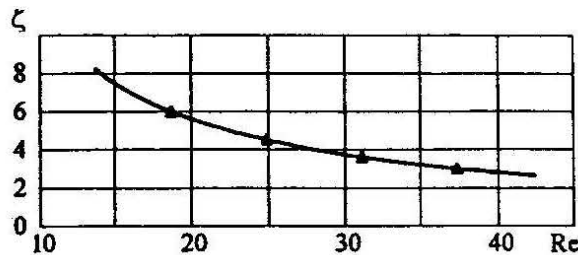


Рис.3. Зависимость ζ от Re .

$Dж/K$; T — абсолютная температура, K ; λ — средняя длина свободного пробега молекул, m ; M — масса, $kg/кмоль$; R_T — газовая постоянная, $Dж/(кмоль \cdot K)$.

Коэффициент проскока K [9]:

$$K = 1 - \eta, \quad (13)$$

где η — общая эффективность улавливания частиц в туманоуловителе;

$$\lg K = 2 - (0,86 \alpha N \eta_{\Sigma}'') / [\pi a (1 - \alpha)]. \quad (14)$$

В таблице и на рис.4 представлены результаты расчета по описанному алгоритму (7)–(14) фракционной эффективности разработанного инерционно-фильтрующего туманоуловителя газосепаратора при высокоскоростных гидродинамических режимах.

Анализ значений проскока через инерционно-фильтрующий туманоуловитель с фильтро-

Расчет фракционной эффективности

$2r, \times 10^{-6}, m$	R	$Re, \times 10^4$	$Stk, \times 10^{-3}$	$\eta_{\Sigma}'', \times 10^{-3}$
$v_r = 0,15 \text{ м/с}, Re = 18,7$				
0,3	0,006	3,28	0,15	1,25
0,6	0,012	6,52	0,60	0,88
1,0	0,020	10,87	1,66	0,86
3,0	0,060	32,61	14,90	3,27
5,0	0,100	53,57	41,53	8,83
$v_r = 0,20 \text{ м/с}, Re = 24,9$				
0,3	0,006	4,37	0,20	1,04
0,6	0,012	8,70	0,80	0,75
1,0	0,020	14,49	2,21	0,78
3,0	0,060	43,48	19,93	3,42
5,0	0,100	71,43	55,37	9,48
$v_r = 0,25 \text{ м/с}, Re = 31,1$				
0,3	0,006	5,46	0,25	0,90
0,6	0,012	10,87	1,00	0,67
1,0	0,020	18,12	2,77	0,73
3,0	0,060	54,35	24,92	3,60
5,0	0,100	89,29	69,21	10,17
$v_r = 0,30 \text{ м/с}, Re = 37,4$				
0,3	0,006	6,55	0,30	0,80
0,6	0,012	13,04	1,20	0,61
1,0	0,020	21,74	3,32	0,70
3,0	0,060	65,22	29,90	3,80
5,0	0,100	107,14	83,05	10,91

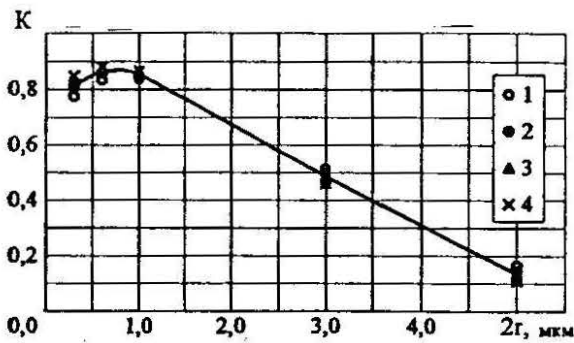


Рис.4. Зависимость K от $2r$ при разных v_r , м/с: 1 – 0,15; 2 – 0,20; 3 – 0,25; 4 – 0,30.

вальным элементом из полипропиленовых волокон размерами $2a = 50$ мкм в зависимости от размера частиц при различной скорости потока (рис.4) четко выявляет наличие максимально проникающих частиц, что определяет селективность туманоуловителя. Восходящая ветвь кривой в левой части относится к области доминирующего значения диффузионного осаждения, а нисходящая к частицам, все более интенсивно осаждаемым в результате проявления эффектов касания и инерции.

Полученные расчетные данные (уравнения (1)–(4), таблица, рис.4) и экспериментальные (рис.2, 3) обобщены в виде зависимости диаметра частиц d_{50} (мкм), улавливаемых в данном гидродинамическом режиме работы инерционно-фильтрующего туманоуловителя с эффективностью $\eta = 0,5$ от гидравлического сопротивления, возникающего при движении газового потока со взвешенными каплями через фильтрующий элемент инерционно-фильтрующего туманоуловителя (рис.5):

$$d_{50} = 3,4063 \exp(-0,5 \Delta p_{\phi}). \quad (15)$$

Зависимость (15) может быть использована для расчета эффективности улавливания взвешенных частиц механических примесей и высокодисперсной капельной жидкости газосепаратором с инерционно-фильтрующим туманоуловителем при $Re > 5$ и дисперсном составе аэрозоля на входе в сепаратор, подчиняющегося логарифмически-нормальному закону (именно такое распределение частиц по размерам харак-

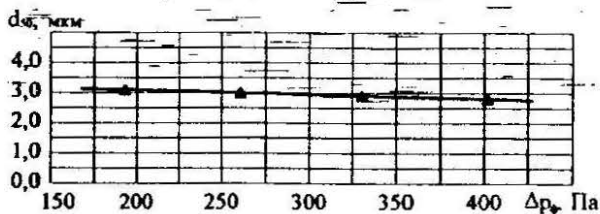


Рис.5. Зависимость d_{50} от Δp_{ϕ} .

терно для абсолютного большинства аэродисперсных систем [11]). Адекватность предложенного метода расчета подтверждена экспериментальными лабораторными исследованиями и промышленными испытаниями при сепарации из нефтяных попутных и природных газов влаги в виде конденсационного тумана.

Выводы

В результате проведенных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выполнен анализ состояния и работы технологического оборудования установок осушки природного газа и узлов сепарации. Выданы рекомендации, позволяющие проводить технологический процесс в существующих условиях производств, отличающихся от проектных, с обеспечением оптимальных значений технологических параметров, качества продукции (товарного газа), соответствующего техническим условиям, с использованием нового аппаратного оформления сепарационного оборудования производств.

Предложенный метод оценки эффективности сепарации аэродисперсных систем инерционно-фильтрующими туманоуловителями достаточно надежен и может быть применен при выборе высокоэффективного газосепарационного оборудования, применяемого в технологических линиях производств нефтяной и газовой отраслей промышленности.

Применение разработанных и испытанных конструкций высокоэффективных инерционно-фильтрующих сепарационных устройств предполагает возможным извлечение из потоков нефтяных попутных и природных газов влаги в виде конденсационного тумана, вследствие чего достигается интенсификация и повышение значения эффективности процесса сепарации по сравнению с традиционным гравитационно-инерционным разделительным оборудованием.

Ярко выраженная селективность туманоуловителя, внедренного в конструкцию газосепаратора, свидетельствует об однородности фильтрующего элемента. Если фильтрующие материалы имеют изъяны (проколы, прорезанные места), то селективность может исчезнуть.

Результаты теоретических, экспериментальных лабораторных исследований и промышленных испытаний представляют высокую научно-практическую ценность в плане технического перевооружения существующего сепарационного оборудования газоперерабатывающих производств. Улавливание конденсата, содержащего ценные углеводородные компоненты, имеет перспективы дальнейшей его переработки, следовательно, повышение степени использования энергоресурсов.

Список литературы

1. Franci P.E. New glycol regenerator adaptable to offshore use // World oil. — 1993. — July.
2. Rigai C. Solving Aromatic and CO₂ emissions with the Drizo gas/glycol dehydration process // GPA Europe Meeting. — 2001. — February 23rd.
3. Справочник процессов переработки газов, 2002 // Нефтегазовые технологии. — 2002. — № 5. — С. 135–137.
4. Гибкин В.И., Зиберт Г.К., Акчурин Р.Х., Кононов А.В. Улучшение работы абсорбера осушки газа // Хим. и нефтегазов. машиностроение. — 2001. — № 10. — С. 10–12.
5. Пат. 2038119 РФ, МКИ⁶ В 01 D 45/08. Каплеотбойное устройство / М.Ш.Саггаров, В.С.Ермилов, И.Х.Вагапов и др. — Оpubл. 27.06.95, Бюл. №18.
6. Пат. 2038120 РФ, МКИ⁶ В 01 D 45/08. Устройство для отбоя капель жидкости из газовых потоков / М.Ш.Саггаров, С.В.Калиниченко, В.И.Мурин, И.Х.Вагапов. — Оpubл. 27.06.95, Бюл. № 18.
7. Балабеков О.С., Балтабаев Л.Ш. Очистка газов в химической промышленности // Процессы и аппараты. — М.: Химия, 1991. — 256 с.
8. Вальдберг А.Ю., Крайнов Н.В., Савенков Н.В., Савицкая Н.М. Расчет эффективности высокоскоростных волокинистых фильтров // Теорет. основы хим. технологии. — 1994. — Т. 28, № 2. — С. 164–166.
9. Вальдберг А.Ю., Мошкин А.А., Каменщиков И.Г. Эффективность улавливания капель тумана в волокинистых фильтрах при малых скоростях фильтрации // Хим. и нефтегазов. машиностроение. — 1999. — № 1. — С. 40–42.
10. Вальдберг А.Ю., Мошкин А.А. Расчет эффективности высокоскоростных волокинистых фильтров // Там же. — № 4. — С. 32–34.
11. Вальдберг А.Ю., Мошкин А.А., Огурцов А.В. Метод расчета высокоскоростных туманоуловителей // Там же. — 2002. — № 7. — С. 45–46.
12. Огурцов А.В., Вальдберг А.Ю., Гришина С.Н. Расчет эффективности волокинистых туманоуловителей, работающих в переходном режиме // Там же. — 2003. — № 4. — С. 35–36.
13. Белевицкий А.М. Проектирование газоочистительных сооружений. — Л.: Химия, 1990. — 288 с.

Поступила в редакцию 20.08.03

Analysis of the Technological Circuit and Work of the Equipment of Natural Gas Drain Installation and Unit of Separation

Sklabinskij V.I., Storozhenko V.Y., Smirnov V.A., Ljaposhchenko A.A.

The Sumy State University

Analysis of a condition and operation of the absorptive equipment working on oil-fields in the existing conditions of production which are differ from design conditions is adduced. On the basis of the carried out complex theoretical and experimental researches recommendations concerning values of arguments of conducting of technological process in installations of gas drain installation, working in optimum requirements are given. These installations with applying new hardware design of separative equipment ensure quality of commodity gas according to technical norms.

Key words: gas processing, drying petroleum and natural gases, gas separator.

Received August 20, 2003