

требуется не менее 15–18 тысяч специально обученного персонала и особая программа занятости местного населения в межсезонье (апрель – май и ноябрь – декабрь), когда отдыхающих будет очень мало (10–15 %). Увеличение количества отдыхающих повлечет за собой и рост контингента обслуживающего персонала. Ближайший крупный населенный пункт (ст. Зеленчукская) расположен в 70 км от Архызского туристического комплекса, там проживает в целом 19 449 человек.

Литература

1. Данилова Н. А. Оценка климата Черноморского побережья для организации отдыха здоровых людей / Изд. АН СССР. Сер. геогр. 1972. № 4.
2. Савельева В. А., Гниловской В. Г. Архыз (краткий физико-географический очерк) / Труды Тебердинского гос. заповедника. М., 1967.
3. Савельева В. В. Ландшафты Архыза / Северный Кавказ. Вып. 2. Ставрополь, 1973.
4. Савельева В. В. Климат Архыза, его лечебные свойства / Труды Тебердинского гос. заповедника. Ставрополь, 1977.
5. Савельева В. В., Шальнев В. А. Рекреационные оценки природных комплексов Архыза // Вопросы рекреацион. географии Сев. Кавказа. Вып. II. Ставрополь, 1977.
6. Савельева В. В., Щитова Н. А. Рекреационные ресурсы Архыза // Вопросы рекреацион. географии Сев. Кавказа, Вып. II. Ставрополь, 1977.
7. Шальнев В. А., Бабинцев Д. В. Ландшафты Софийского хребта и высотные зоны экотона // Вопросы географии и геоэкологии. Ставрополь, 2002.

УДК 665.632.074.374

Шестерикова Раиса Егоровна, Шестерикова Елена Александровна

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ОЧИСТКУ ГАЗА ОТ СЕРОВОДОРОДА ГАЗОВЫМ КОНДЕНСАТОМ НА ПИЛОТНОЙ УСТАНОВКЕ

В статье излагается, как в целях повышения эффективности и экологической безопасности разработки малосернистых месторождений были проведены испытания газового конденсата в качестве абсорбента для промышленной очистки газа от сероводорода.

Ключевые слова: абсорбция, сероводород, газовый конденсат.

Shesterikova Raisa Egorovna, Shesterikova Elena Aleksandrovna
**STUDY RESULTS OF INFLUENCE TECHNOLOGICAL FACTORS TO THE GAS CLEARING
WITH HYDROCARBON CONDENSATE FROM HYDROGEN SULFIDE ON PILOT UNIT**

In order to improve the efficiency and environmental safety of the development of low-sulfur deposits tested gas condensate as an absorbent for commercial gas desulfurization

Key words: absorption, hydrogen sulfide, hydrocarbon condensate.

Для изучения процесса очистки газа от сероводорода углеводородным конденсатом применялись следующие методы [1]:

- теоретический (расчетный), с использованием основных газовых законов: Рауля, Дальтона, Менделеева-Клапейрона, Генри, Авогадро;
- экспериментальный: в промышленных условиях с использованием реального природного газа и пилотного абсорбера.

Исследования технологии очистки газа от сероводорода углеводородным конденсатом проводились на Добринском газоконденсатном месторождении (ГКМ).

Эксперименты осуществляли следующим образом: абсорбер заполнялся стабильным углеводородным конденсатом, отрабатывалась циркуляция конденсата, после чего в абсорбер подавался сероводородсодержащий газ. Через определенные промежутки времени отбирались пробы очищенного газа на содержание сероводорода в нем.

Для проведения экспериментов применялся противоточный насадочный абсорбер, работающий в режиме эмульгирования. Технические характеристики абсорбера: диаметр $D_a = 0,5$ м; высота цилиндрической части $H_c = 5500$ мм, объем абсорбера $V_a = 1,2$ м³ (табл. 1).

Компонентный состав газа приводится в табл. 2.

Таблица 1

Характеристика используемой насадки

Вид насадки	Керамические кольца Рашига
Размеры, мм	25x25x3
Удельная поверхность σ , м ² /м ³	195
Свободный объем $V_{св}$, м ³ /м ³	0,75
Эквивалентный диаметр, м	0,015

Таблица 2

Компонентный состав сырьевого газа

Компонент	Концентрация, % об
Метан	80,380
Этан	7,490
Пропан	3,800
i-бутан	0,620
n-бутан	0,970
i-пентан	0,270
n-пентан	0,196
Гексаны+высш	0,178
Сероводород	0,025
Диоксид углерода	0,571
Азот	5,500
Итого	100,00

В качестве абсорбента сероводорода исследовался стабильный углеводородный конденсат Добринского ГКМ. Компонентный состав абсорбента приводится в табл. 3 [2].

В табл. 4 приводятся физические характеристики углеводородного конденсата, который использовался при проведении экспериментальных исследований [2].

Таблица 3

Компонентный состав конденсата

Компонент	Концентрация, % мол
Метан	7,5
Этан	8,26
Пропан	4,23
Бутаны	6,14
Пентаны	6,4
Гексаны + высш.	67,47
Итого	100,00

Таблица 4

Физические свойства абсорбента

Показатель	Значение
Плотность при 20 оС, кг/м ³	720–737
Вязкость кинематическая при 15 °С, сСт	1,11–1,33
Вязкость динамическая при 15 °С, МПа·с	0,82–0,99
Температура застывания, °С	ниже минус 35
Температура начала кипения, °С	33
Давление насыщенных паров, кПа	не более 66,7 кПа
Содержание воды, %	следы
Содержание механических примесей	отс.
Массовая доля серы, % масс.	0,171

Принципиальная технологическая схема пилотной установки очистки газа от сероводорода приводится на рис. 1.

Процесс очистки газа от сероводорода осуществляется нижеописанным образом.

Газожидкостная смесь со скважин направляется на сепарацию в С-1, в котором от газа отделяется капельная жидкость (углеводородный конденсат и водометанольная смесь), выносимая скважиной. С верха сепаратора С-1 газ, содержащий сероводород, поступает в нижнюю часть насадочного абсорбера А-1. В верхнюю часть абсорбера А-1 насосом Н-1 закачивается стабильный углеводородный конденсат из емкости Е-1. В абсорбере происходит извлечение сероводорода из газа и очищенный газ с верха А-1 направляется на установку низкотемпературной сепарации (НТС).

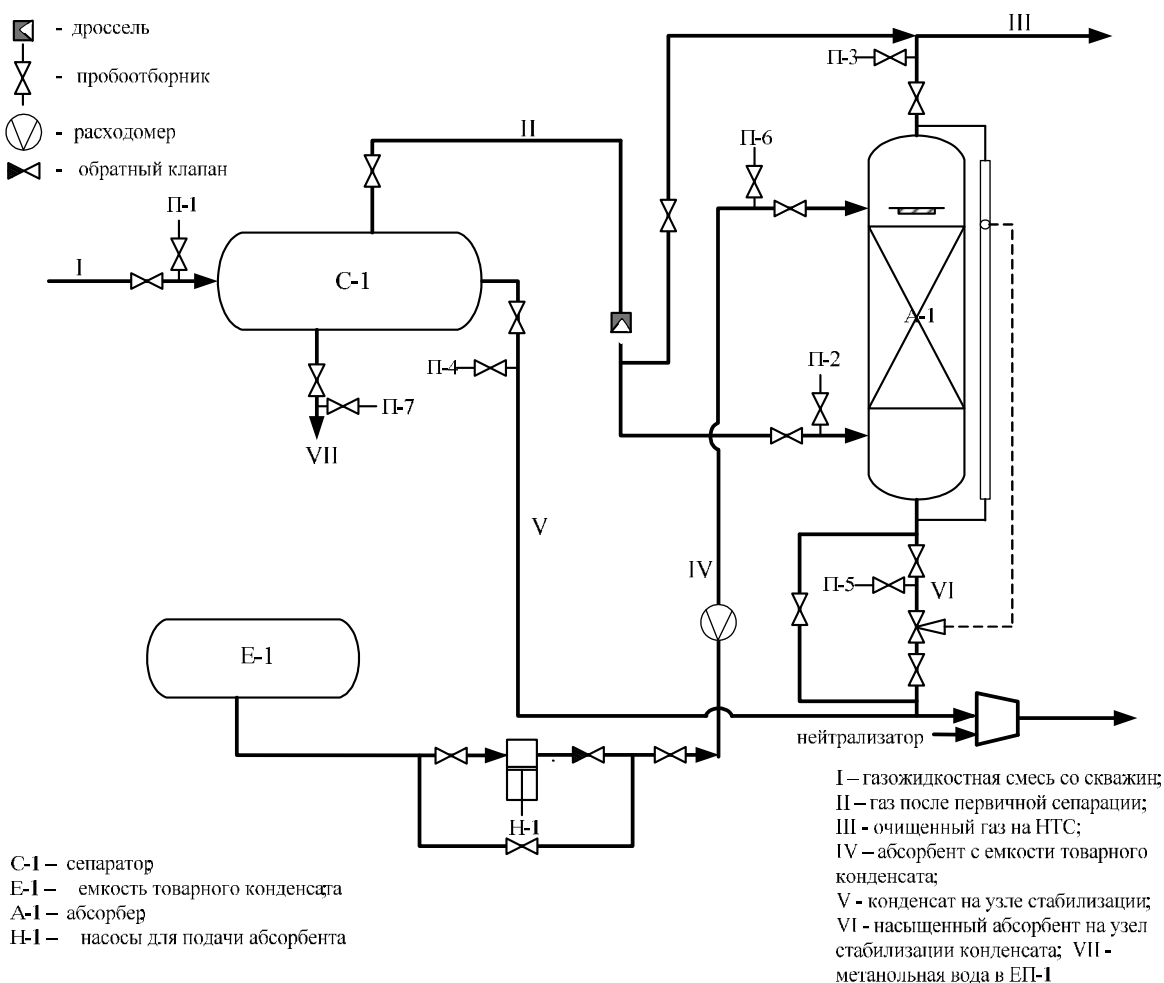


Рис. 1. Принципиальная схема установки очистки газа от сероводорода

С низа абсорбера выводится отработанный абсорбент, смешивается с потоком конденсата из сепаратора C-1 и направляется на узел стабилизации конденсата установки НТС.

В задачи исследований входило изучение эффективности массообменных процессов в условиях противотока фаз в абсорбере, а также изучение влияния времени контакта раствора с газом и других факторов на остаточное содержание сероводорода в очищенном газе.

Поэтому для изучения массообменных процессов, протекающих в насадочном абсорбере при очистке газа от сероводорода, исследования проводились:

- при разных плотностях орошения;
- при разных расходах газа;
- при разных давлениях.

Методика проведения исследований заключалась в следующем: абсорбер заполнялся стабильным конденсатом, отработывалась циркуляция конденсата, после чего в абсорбер подавался сероводородсодержащий газ; уровень конденсата в абсорбере поддерживался с помощью поплавкового уровнемера; для циркуляции конденсата использовался трехплунжерный насос; расход циркулирующего конденсата замерялся по производительности насоса.

Выполненные исследования позволили установить зависимость влияния плотности орошения в абсорбере на содержание сероводорода в очищенном газе.

Полученные результаты исследований влияния плотности орошения на качество очищенного газа по содержанию в нем сероводорода приводятся в табл. 5.

Из данных табл. 5 следует, что с увеличением плотности орошения в насадочном противоточном абсорбере остаточная концентрация сероводорода в газе уменьшается.

Таблица 5

Результаты исследования влияния плотности орошения на степень очистки газа от сероводорода

Плотность орошения, $\text{м}^3/\text{тыс. м}^3$	Концентрация сероводорода в очищенном газе, $\text{г}/\text{м}^3$	Степень очистки, %
0,195	0,118	52,8
0,54	0,118	52,8
0,84	0,120	52,1
0,94	0,118	52,8
0,99	0,059	76,4
1,02	0,059	76,4
1,1	0,044	82,4
1,2	0,044	86,2
1,5	0,0195	98,5

На рис. 2 показана зависимость влияния плотности орошения на содержание сероводорода в очищенном газе.

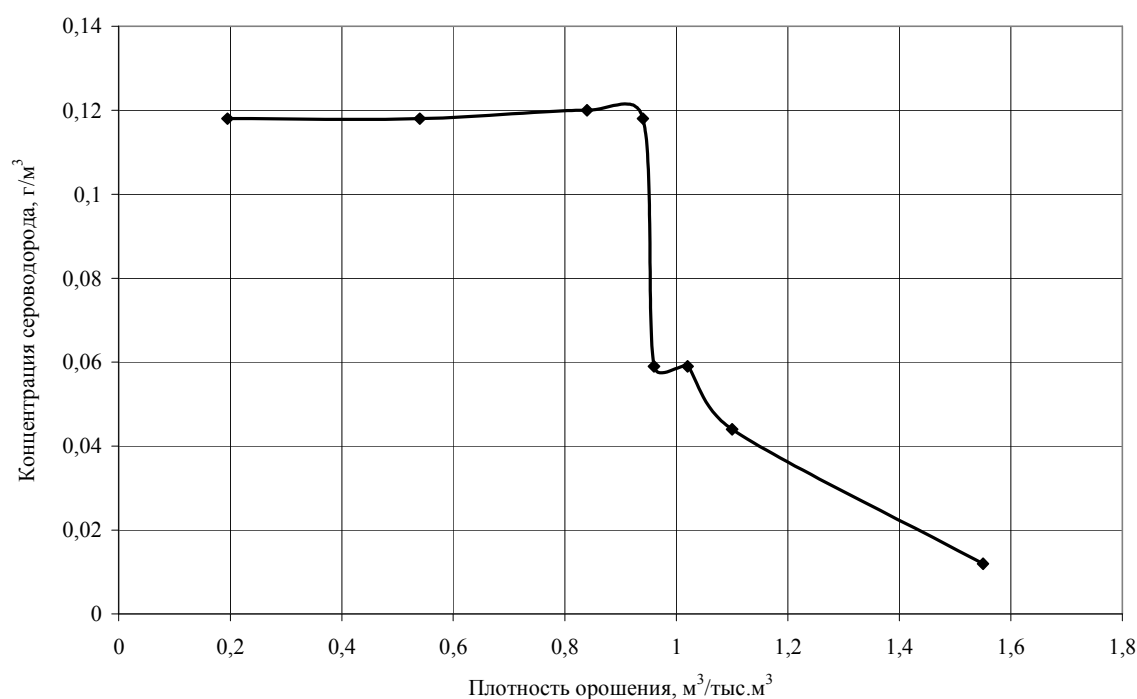


Рис. 2. Зависимость концентрации сероводорода в очищенном газе от плотности орошения

Анализ изменения кривой на рис. 2 показывает, что при плотности орошения меньше единицы наблюдается резкое ухудшение качества очищенного газа по содержанию сероводорода. Регламентируемая ГОСТом норма сероводорода в очищенном газе $20 \text{ мг}/\text{м}^3$ обеспечивается при повышении плотности орошения до $1,5 \text{ м}^3/\text{тыс. м}^3$.

Происходит это вследствие того, что с повышением плотности орошения увеличивается количество удерживаемой жидкости на насадке и доля смоченной активной поверхности насадки.

На рис. 3 приведены результаты исследований влияния скорости газа и плотности орошения в эмульгационном насадочном абсорбере на концентрацию сероводорода в очищенном газе.

Из данных рис. 3 следует, что скорость газа неоднозначно влияет на качество очищенного газа. При понижении скорости газа в абсорбере менее $0,043 \text{ м}/\text{с}$ остаточная концентрация сероводорода в очищенном газе возрастает. Повышение скорости газа в свободном сечении абсорбера более

0,06 м/с также сопровождается ухудшением качества очищенного газа, т.е. существует оптимальная скорость газа для конкретного абсорбера, при которой достигается требуемая степень очистки.

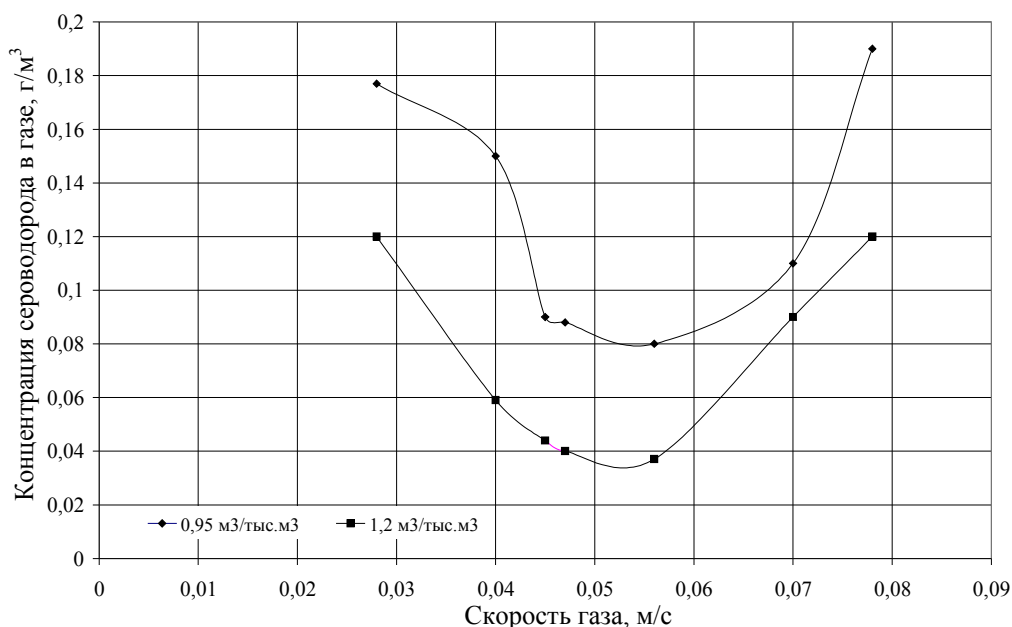


Рис. 3. Влияние скорости газа и плотности орошения на концентрацию сероводорода в очищенном газе

Это объясняется в обоих случаях ухудшением условий массообмена вследствие недостатка количества удерживаемого на насадке абсорбента. Поверхность насадки в работающем абсорбере покрыта пленкой жидкости, имеющей определенную толщину. При высоких скоростях газа эта пленка жидкости срывается движущимся потоком газа, что приводит к уменьшению доли смоченной поверхности и, следовательно, к ухудшению условий сероочистки, т.е. повышению концентрации сероводорода в очищенном газе. При низких скоростях газа снижается коэффициент массопередачи, что приводит к ухудшению качества очищенного газа [3].

По Розену [4] с увеличением плотности орошения доля активной смоченной поверхности растет быстрее, чем количество удерживаемого на насадке абсорбента, что приводит к улучшению условий сероочистки [3], что подтверждается полученными результатами.

Полученные результаты исследований свидетельствуют о том, что в насадочном абсорбере, орошаемом углеводородным конденсатом, для достижения остаточной концентрации сероводорода в очищенном газе в соответствии с ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового потребления» удельный расход конденсата должен составлять не менее 1,5 м³/тыс.м³ газа.

Выбор давления, при котором целесообразно проводить абсорбцию сероводорода в насадочных абсорберах, имеет принципиальное значение, поскольку при повышенном давлении в абсорбере пропорционально увеличиваются расходы энергии на подачу рабочих растворов в систему очистки газа, металлоемкость, что приводит к удорожанию технологии.

С другой стороны давление влияет на плотность газа, на коэффициент диффузии сероводорода в газе, оказывает влияние на величину скорости инверсии, на коэффициент массопередачи, а, следовательно, на конструктивные параметры абсорбера.

Известно, что при повышенном давлении процесс растворения газов в жидкостях протекает более интенсивно. В этой связи следовало бы ожидать, что повышение давления в абсорберах должно благоприятно влиять на процесс извлечения сероводорода из газа. Однако результаты исследований условий массопередачи приводят к другим результатам.

На рис. 4 приводится зависимость влияния давления на величину коэффициента массопередачи в насадочном абсорбере при различных насадках.

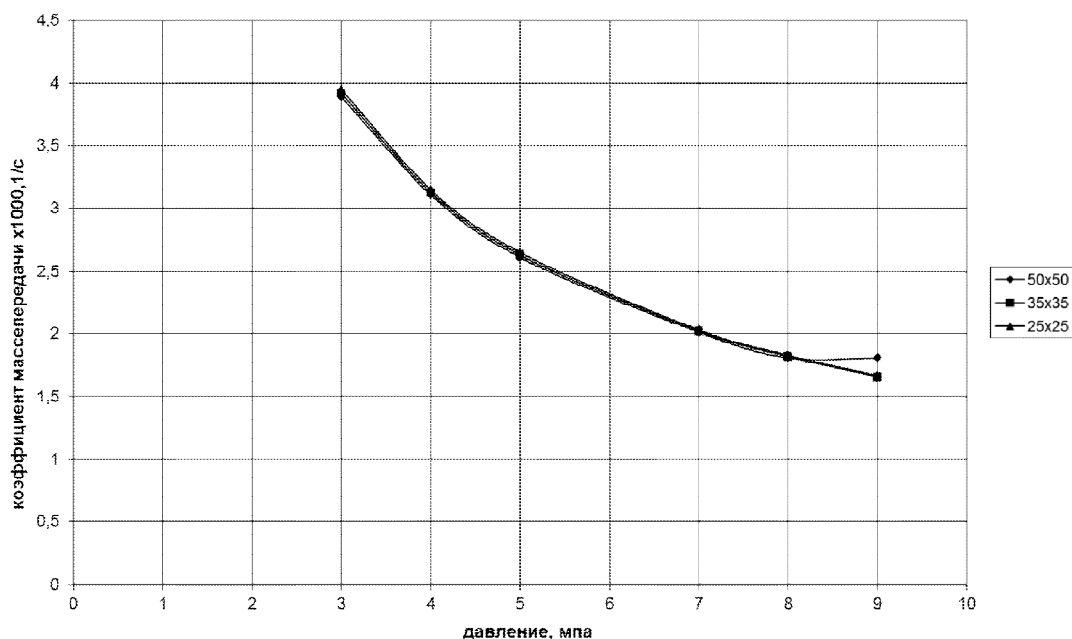


Рис.4. Влияние давления и размеров насадки на коэффициент массопередачи

Из данных рис. 4 следует, что при повышении давления величина коэффициента массопередачи в насадочном абсорбере уменьшается, а размеры насадки и ее характеристики не оказывает влияния на величину коэффициента массопередачи [3]. Результаты исследований, представленные на рис. 4, позволяют сделать вывод, что процесс очистки газа от сероводорода в насадочных абсорберах рациональнее вести при низком давлении.

Важным параметром при расчете и проектировании установок сероочистки методом физической абсорбции является время контакта фаз, т. к. этот параметр определяет конструктивные размеры абсорбера.

Изучение влияния времени контакта газа с абсорбентом осуществлялось изменением расхода газа и давления.

Результаты промышленных исследований влияния времени контакта газа с абсорбентом на концентрацию сероводорода в очищенном газе приводятся в табл. 6.

Таблица 6

Результаты исследования влияния времени контакта газа с абсорбентом на концентрацию сероводорода в очищенном газе

Расход газа, $\text{м}^3/\text{ч}$	Давление, Мпа	Скорость газа в свободном сечении, м/с	Уровень жидкости, м	Время контакта, с	Концентрация сероводорода в газе, $\text{г}/\text{м}^3$
3200	9,7	0,045	0,7	15,5	0,044
3200	9,7	0,08	0,7	8,8	0,018
3800	9,6	0,054	0,9	16,7	0,059
4700	10,5	0,067	1,3	19,4	0,11
4500	9,0	0,064	2,1	32,8	0,118
4500	9,5	0,064	2,5	39,0	0,177

Расход газа изменялся от 3200 до 4700 $\text{м}^3/\text{ч}$, давление от 9,0 до 10,5 Мпа, при этом скорость газа в абсорбере изменялась от 0,045 до 0,08 м/с, а время контакта газа с абсорбентом от 8,8 до 39 с.

В зависимости от времени контакта газа с абсорбентом изменялось содержание сероводорода в очищенном газе. На рис. 5 приводится зависимость концентрации сероводорода в очищенном газе от времени контакта газа с абсорбентом.

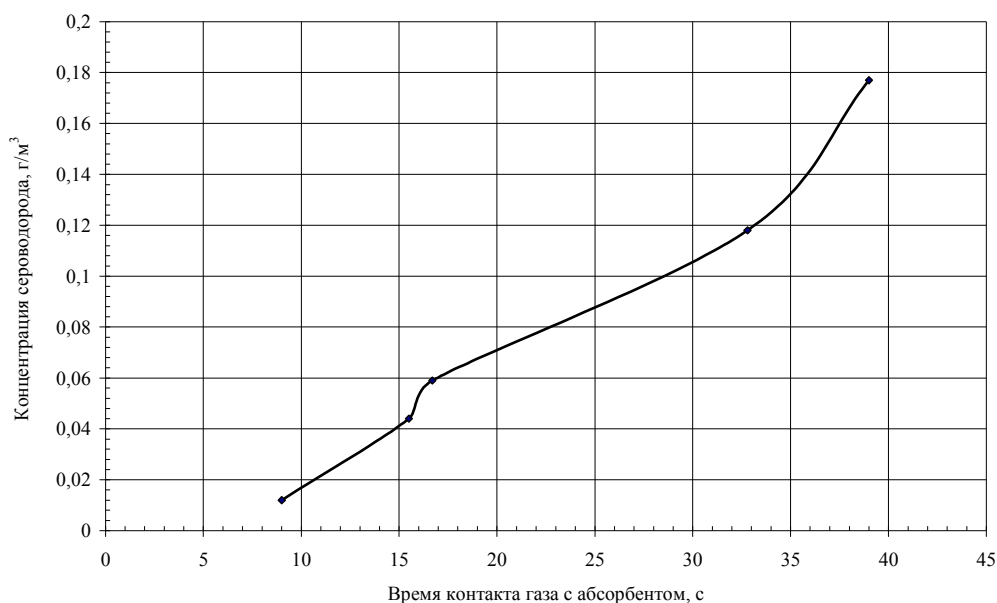


Рис. 5. Влияние времени контакта газа с абсорбентом на очистку газа от сероводорода

Анализ данных рис. 5 свидетельствует о том, что повышение времени контакта газа с абсорбентом более 11 секунд сопровождается увеличением концентрации сероводорода в очищенном газе. Этот факт указывает на то, что по мере увеличения времени контакта из газа начинают абсорбироваться углеводороды, и поглотительная емкость абсорбента по сероводороду при этом снижается [5].

Изучение влияния времени контакта абсорбента с газом на концентрацию сероводорода в очищенном газе осуществлялось изменением уровня конденсата в абсорбере и производительности насоса.

На рис. 6 приводится зависимость изменения концентрации сероводорода в очищенном газе от времени контакта абсорбента с газом.

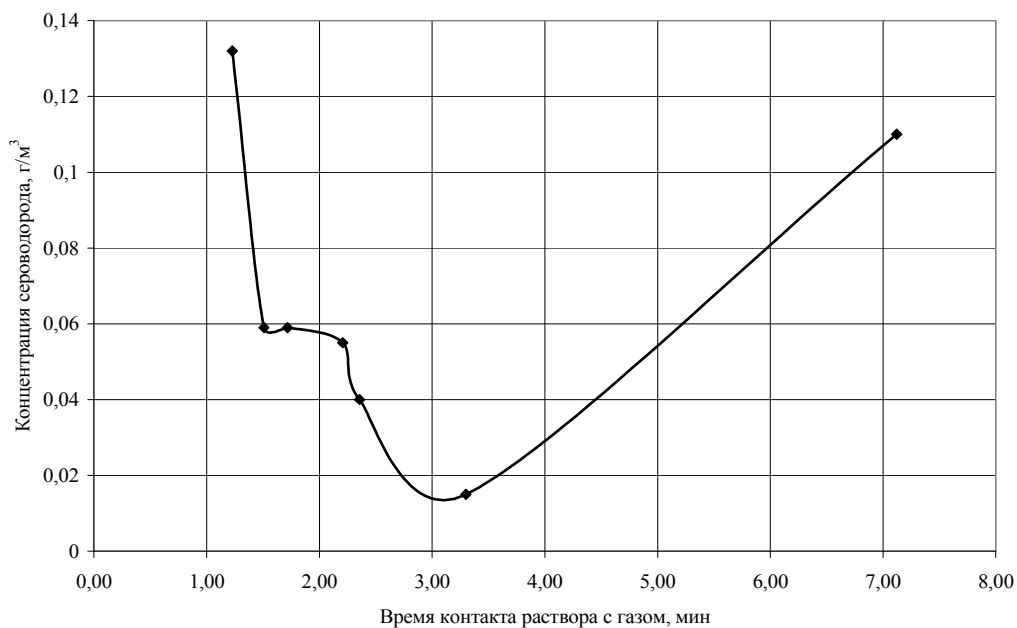


Рис. 6. Влияние времени контакта абсорбента с газом на концентрацию сероводорода в очищенном газе

Анализ данных рис. 6 показывает, что время контакта абсорбента с газом оказывает существенное влияние на качество очищенного от сероводорода газа. При времени контакта абсорбента с газом более 3 минут концентрация сероводорода в очищенном газе возрастает так же, как и при малом времени контакта. Следовательно, для противоточного насадочного абсорбера существует оптимальное значение времени контакта абсорбента с газом (время пребывания абсорбента в зоне реакции), при котором достигается требуемая степень очистки газа от сероводорода. Этот интервал составляет от 2,8 до 3,5 минут.

На основании результатов опытно-промышленных исследований можно сделать следующие выводы.

- 1) для промышленной подготовки газа на малосернистых газоконденсатных месторождениях можно использовать в качестве абсорбента сероводорода углеводородный конденсат;
- 2) для газов с содержанием сероводорода не более 0,025 % об. плотность орошения, обеспечивающая регламентируемую степень очистки, должна быть не менее $1,5 \text{ м}^3/\text{тыс. м}^3$ газа;
- 3) для поддержания оптимального режима очистки газа от сероводорода время контакта газа с абсорбентом не должно превышать 11 секунд, а время контакта абсорбента с газом – 3 мин.

Литература

1. Требин Ф. А., Макогон Ю. П., Басниев К. С. Добыча природного газа. М.: Недра, 1979.
2. Технологический регламент на эксплуатацию установки комплексной подготовки газа (УКПГ) Добринского газоконденсатного месторождения: утв. перв. зам. ген. директора ООО «Газнефтедобыча» В. В. Дунюшкиным 18.05.2010. Волгоград, 2010.
3. Рамм В. М. Абсорбция газов. М.: Химия, 1966. 767 с.
4. Розен А. М. Теория разделения изотопов в колоннах. Атомиздат, 1960.
5. Катц Д. Л., Корнелл Д., Кобяши Р. и др. Руководство по добыче, транспорту и переработке природного газа / пер. с англ., под общ. ред. Ю. П. Каратаева. М.: Недра, 1965.