

Количество гофрированных решетчатых элементов в отгонной части

$$n_{z_0.эл.} = \frac{H_{омз.}}{h_{z.эл.}}, \text{ шт.}, \quad (18.82)$$

где $h_{z.эл.} = 0,08 \text{ м}$ — высота гофрированного решетчатого элемента [37].

Общее гидравлическое сопротивление элемента насадки укрепляющей части

$$\Delta P_0 = \Delta P_{T_0} \cdot n_{z_0.эл.}, \text{ МПа.} \quad (18.83)$$

Гидравлическое сопротивление элемента насади укрепляющей части

$$\Delta P_{T_y} = (2 \cdot \xi + 1) \cdot \frac{\rho_z \cdot \omega_0^2}{2 \cdot (1 - \tau)^3} + \frac{4 \cdot \sigma}{d_{экв.}}, \text{ н/м}^2 \text{ (МПа)}, \quad (18.84)$$

где τ — рассчитывается по формуле (18.78).

При расчёте величины λ в формуле (18.79) принимают: $\rho_{ж} = 977 \text{ кг/м}^3$;

$$\rho_z = 0,21 \text{ кг/м}^3; \quad \frac{\bar{G}}{L} = \frac{W_{zy}}{W_{жy}} = \frac{G_n^a}{G_{ж}^a} \text{ (см. 18.59, 18.60)}.$$

Скорость газа в отверстиях

$$\omega_0 = \frac{V_n^a}{3600 \cdot F_{отв.эл.}}, \text{ м/с}, \quad (18.85)$$

где $F_{отв.эл.} = S_{эл.} \cdot \varphi \cdot (1 - \tau) \text{ м}^2$. (18.86)

Количество гофрированных решетчатых элементов в укрепляющей части

$$\Delta P_y = \Delta P_{T_y} \cdot n_{z_y.эл.}, \text{ МПа.} \quad (18.87)$$

Общее гидравлическое сопротивление колонны

$$\Delta P = \Delta P_0 + \Delta P_y. \quad (18.88)$$

■ 19 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ РАСЧЁТ АДСОРБЦИОННОЙ ОСУШКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

19.1. Расчёт цикла адсорбции

Расчёт процесса адсорбционной осушки газа сводится к определению требуемого для получения осушенного газа объёма адсорбента, длительности защитного действия работающего слоя адсорбента (время до проскока), потери давления при движении газа через адсорбент [9, 39].

Схема адсорбера и его загрузки показана на рисунке 19.1.

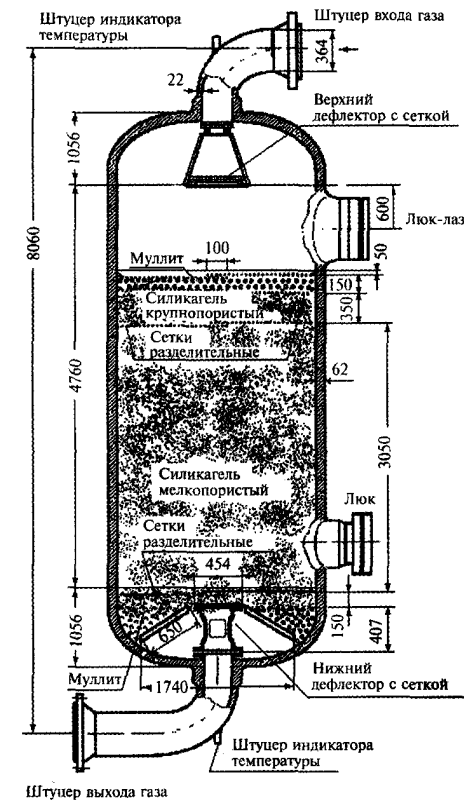


Рисунок 19.1 — Принципиальная схема адсорбера и его загрузки

Адсорбер представляет собой вертикальный сосуд диаметром D_m и высотой H_m .

Внутренняя часть снабжена следующими элементами регулярной и насыпной насадок:

- верхний конический дефлектор, предназначенный для равномерного распределения потока осушаемого газа по сечению адсорбера;

- верхняя сетка (размер клетки 0,017 м);

- слой муллита толщиной 0,15 м (гранулометрия 0,02–0,04 м) для защиты слоя крупнозернистого силикагеля от механического воздействия, создаваемого потоком осушаемого газа;

- разделительная сетка (размер клетки 0,002 м); защитный слой крупнопористого силикагеля толщиной 0,350 м (гранулометрия 0,0028–0,007 м);

- разделительная сетка (размер клетки 0,002 м);

- основной слой мелкопористого силикагеля толщиной 3,050 м (гранулометрия 0,0028–0,007 м);

- разделительная сетка 0,002 м;

- слой муллита толщиной 0,150 м (гранулометрия 0,007–0,015 м);

- слой муллита (гранулометрия 0,02–0,04 м);

- нижний дефлектор формы усеченного конуса, предназначенный для равномерного распределения потока газа цикла подогрева по сечению адсорбера.

В качестве сорбента в адсорберах используется комбинированная загрузка силикагелей зарубежного или отечественного производства:

- защитный слой — мелкопористый силикагель типа В или КСК;

- основной осушающий слой — мелкопористый силикагель типа А или КСМ.

Основные характеристики силикагелей приведены в таблице А.35, других адсорбентов в таблицах А.36 и А.37.

Расчётный срок службы загрузки адсорбента составляет примерно 2 года. При этом динамическая ёмкость адсорбента по воде снижается с 20–24 до 6,8 %.

Расчёт процесса, адсорбционной осушки газа сводится к определению требуемого для получения осушенного газа объёма адсорбента, длительности защитного действия работающего слоя адсорбента (время до проскока), потери давления при движении газа через адсорбент.

Для расчёта процесса осушки адсорбционным способом в качестве исходных данных принимают:

- состав газа (таблица А.4);

- давление (P , МПа);

- температуру (t , °С) осушаемого газа;

- объём осушаемого газа (V_o , м³/сут);

- продолжительность цикла адсорбции (τ , ч).

Исходные данные приведены в таблице А.40.

Точка росы осушаемого газа t_0 , °С принимается для каждого месторождения (см. таблицу А.13).

Для принятой продолжительности цикла адсорбер рассчитывают в следующей последовательности /9, 40/.

1. Конкретизируются значения исходных данных.

2. Принимается допустимая линейная скорость газа в адсорбере v_p , м/мин (обычно 2–4 м/с при атмосферном давлении). Для силикагеля с размером гранул 4...8 мм средняя допустимая скорость газа при температуре 25–30 °С в зависимости от давления приведена в таблице 19.1.

Таблица 19.1

Зависимость средней линейной скорости газа от давления

P , МПа	2,8	3,5	4,2	4,9	5,6	6,3	7,0	7,7	8,4
ω_p , м/мин	14,3	13,1	11,7	11,0	9,9	9,3	8,8	8,5	8,2

Массовая скорость газа рассчитывается по полуэмпирической формуле Леду:

$$u_2 = \sqrt{0,0167 \cdot \rho_g \cdot \rho_{ad} \cdot D_{ad} \cdot g}, \text{ кг/(м}^2\text{с)}, \quad (19.1)$$

где ρ_g , ρ_{ad} — плотность газа при рабочих условиях и плотность адсорбента, кг/м³;

D_{ad} — средний диаметр гранул адсорбента, м;

g — ускорение силы тяжести, м/с².

Фактическая скорость газа принимается несколько ниже расчётной по причине неоднородности частиц промышленных адсорбентов.

3. Определяют массу воды, извлекаемой из газа на протяжении цикла адсорбции. В расчёте используются данные о влагосодержании осушаемого и осушенного газов, найденные по графикам рисунка А.2 или по формуле (17.1).

$$G_B = \frac{V_2 \cdot (W_1 - W_2)}{n}, \text{ кг/цикл}, \quad (19.2)$$

где V_2 — объём газа, м³/сут;

W_1, W_2 — влагосодержание газа соответственно до и после адсорбера, кг/м³;

n — число циклов адсорбции в сут.

4. По исходным данным определяют внутренний диаметр адсорбера

$$D = \sqrt{\frac{V_2}{0,785 \cdot v_p}}, \text{ м}. \quad (19.3)$$

Диаметр аппарата принимается ближайший больший по нормали, и в дальнейших расчётах используется этот размер D_n .

Ниже приведен принятый в нефтяной промышленности нормальный ряд диаметров колонн (в м), предусматривающий равномерное увеличение площади поперечного сечения колонны при переходе от одного диаметра к другому /25/: 1,0; 1,2; 1,4; 1,6; 1,8; 2,0; 2,2; 2,4; 2,6; 2,8; 3,0; 3,2; 3,4; 3,6; 3,8; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,4; 7,0; 8,0; 9,0.

5. Рассчитывают линейную скорость газа в свободном сечении адсорбера при рабочих условиях:

$$v_1 = \frac{V_2}{0,785 \cdot D_n^2 \cdot 3600}, \text{ м/с} \quad (19.4)$$

где V_2 — объём газа, поступающего в адсорбер при рабочих условиях, м³/ч;

D_n — внутренний стандартный диаметр, м.

Если полученная скорость не соответствует рекомендуемым пределам, то диаметр аппарата подбирают таким образом, чтобы линейная скорость газа находилась в рекомендуемых пределах.

6. Количество адсорбента, загружаемого в адсорбер, в зависимости от расхода газа и содержания в нем влаги определяется по формуле

$$G_1 = \frac{V_2 \cdot (W_1 - W_2) \cdot \tau}{a_{cp}}, \text{ кг}, \quad (19.5)$$

где V_2 , м³/ч;

W_1, W_2 , кг/м³;

τ — продолжительность цикла, ч;

a_{cp} — средняя активность сорбента, кг/кг.

При поглощении нескольких компонентов адсорбентом его среднюю активность определяют по выражению

$$a_{cp} = \frac{\sum a_i \cdot G_i}{\sum G_i}, \quad (19.6)$$

где a_i — активность адсорбента в отношении i -го компонента, кг/кг;

G_i — поглощение i -го компонента, кг/ч.

7. Определяют удельную нагрузку слоя по воде:

$$q = \frac{G_B}{0,785 \cdot D_n^2 \cdot \tau}, \text{ кг/(ч м}^2\text{)} \quad (19.7)$$

8. Определяют высоту слоя адсорбента H из условия, что значения соотношения $H/D = 2 - 5 / 10$.

При большем соотношении могут возникнуть большие потери давления. Если высота слоя адсорбента большая, то его засыпают на полки, установленные на расстоянии 1,2–1,5 м. Это позволяет уменьшить нагрузку на нижние частицы адсорбента, исключить образование в слое каналов и улучшить распределение потока газа.

9. Рассчитывают длину адсорбционной зоны по формуле

$$L_o = H - v_1 \cdot \tau \cdot (W_1 - W_2) \cdot T_o \cdot \frac{P}{a_p \cdot \rho_z \cdot Z \cdot T \cdot P_o}, \text{ м}, \quad (19.8)$$

где ρ_z — плотность газа при рабочих условиях, кг/м³;

Z — коэффициент сжимаемости газа, определяется по графикам рисунка 1.1 или по формуле (17.8);

a_p — равновесная ёмкость адсорбента (берется из таблицы А.35).

10. Динамическую влагеёмкость слоя a_d при работе слоя до проскока рассчитывают по уравнению

$$a_0 = \frac{a_p \cdot (H - 0,45 \cdot L_0)}{H} \quad (19.9)$$

11. Минимально необходимую высоту слоя адсорбента L_{\min} находят по уравнению

$$L_{\min} = \frac{G_1}{0,785 \cdot \rho_{ad} \cdot D^2}, \text{ м}, \quad (19.10)$$

где ρ_{ad} — плотность адсорбента, кг/м^3 (таблица А.35).

Для обеспечения нормальной работы адсорбента на практике длину адсорбционного слоя принимают несколько выше её расчетного значения.

Если $H < L_{\min}$, то необходимо задаться новым значением H и повторить расчёт пп. 8–11.

12. Рассчитывают продолжительность работы слоя до проскока влаги:

$$\tau_1 = \frac{0,01 \cdot a_{ad} \cdot \rho_{ad} \cdot L_{\min}}{q}, \text{ ч}. \quad (19.11)$$

Если τ_1 значительно отличается от принятой продолжительности цикла адсорбции τ , то расчёт повторяют, приняв величину цикла несколько меньше полученной величины τ_1 .

13. Потери давления при движении газа через гранулированный адсорбент ΔP определяют из выражения

$$\Delta P = \frac{2 \cdot f \cdot \rho_g \cdot H \cdot v_1^2}{d_s \cdot g \cdot \varepsilon^2}, \text{ МПа}, \quad (19.12)$$

где f — коэффициент трения;

ρ_g — плотность газа при рабочих условиях, кг/м^3 ;

H — высота слоя адсорбента, м;

v_1 — скорость газа, отнесенная ко всему сечению аппарата, м/с;

d_s — эквивалентный диаметр частиц адсорбента, м;

g — ускорение свободного падения, 9,8 м/с²;

ε — пористость адсорбента, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

Коэффициент трения зависит от числа Рейнольдса.

Для пористых сред

$$Re = \frac{v_1 \cdot d_s \cdot \rho_g}{\varepsilon \cdot \mu \cdot g}, \quad (19.13)$$

где μ — абсолютная вязкость газа (таблица А.6).

Значения коэффициента трения в зависимости от числа Рейнольдса приведены ниже:

Re	0,1;	1,0;	10;	100;	1000;	> 1000.
f	4500;	500;	50;	10,0;	5,3;	5,3–5,5.

Значения эквивалентного диаметра зерен адсорбента в зависимости от размера зерен таковы:

— размер зерен адсорбента, мм:	4,7–8,3;	2,17–4,7;	1,34–2,17.
— эквивалентный диаметр, мм:	3,9;	2,77;	1,13.

На этом расчёт процесса адсорбции заканчивается. Результаты, полученные при расчёте процесса адсорбции, используются также при расчёте цикла регенерации.

19.2. Влияние параметров проведения процесса на эффективность осушки /42/

1. Расход газа

С увеличением расхода газа уменьшается динамическая активность (ёмкость) мелкопористого силикагеля и увеличивается длина работающего слоя. В конечном итоге это ведет к уменьшению допустимой длительности адсорбции.

Ориентировочно можно принять, что увеличение расхода на 10 % вызывает необходимость в сокращении стадии адсорбции на 12–13 %.

2. Давление в адсорбере

Снижение давления с 8,0 до 7,0 МПа ведет к относительному увеличению на 7–8 % статической ёмкости мелкопористого силикагеля. Однако из-за увеличения влагосодержания осушаемого газа длительность стадии адсорбции с понижением давления необходимо сократить.

Степень увеличения длительности стадии адсорбции определяется из уравнения (19.8), в котором можно принять постоянной динамическую активность силикагеля.

3. Температура в адсорбере

Уменьшение температуры адсорбции с 30 до 12 °С ведет к относительному увеличению динамической активности силикагеля на 20–22 %.

Состав природного газа основных месторождений Российской Федерации /4, 5/

Вариант	Месторождение	Состав газа, % объёмные								Плотность по воздуху
		CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂	CO ₂	H ₂ S	N ₂ +R	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Вуктыльское	84,50	7,4	2,0	0,60	0,3	0,10	-	5,10	0,648
2	Уренгойское (сеноман)	98,26	0,155	0,004	следы	-	0,321	-	1,274	0,564
3	Медвежье	98,80	0,100	0,02	0,002	-	0,10	-	1,10	0,560
4	Заполярье	98,60	0,070	0,02	0,013	0,01	0,18	-	1,10	0,564
5	Ямбургское (сеноман)	98,597	0,062	0,004	-	-	0,188	-	1,148	0,562
6	Соленинское	95,50	3,30	0,07	0,25	0,15	0,50	-	0,20	0,586
7	Усть-Вилуйское	94,90	2,20	0,50	0,50	0,29	0,20	-	1,50	0,596
8	Оренбургское	81,70	4,00	1,60	1,05	1,95	1,10	1,8	6,80	0,711
9	Тазовское	98,70	0,06	0,003	0,01	-	0,39	-	0,86	0,564
10	Губкинское	98,312	0,09	-	-	-	0,591	0,013	0,994	0,564
11	Русское	98,745	0,095	-	-	-	0,415	0,013	0,732	0,569
12	Комсомольское	97,640	0,267	0,047	-	-	0,321	-	0,725	0,566
13	Вынгапуровское	97,792	0,16	-	-	-	0,124	-	1,924	0,562
14	Новопортовское	95,43	0,56	0,02	0,01	-	2,53	-	1,450	0,640
15	Средневилюйское	89,22	6,60	1,60	0,50	0,38	0,20	-	1,50	0,629
16	Мастаховское	93,40	3,40	1,30	0,50	0,10	0,20	-	1,10	0,596
17	Вэнгасинское	97,72	0,538	0,024	-	-	0,34	-	2,25	0,569
18	Уренгойское (валанжин)	85,31	5,81	5,31	2,05	0,18	0,44	-	0,90	0,673
19	Варьганское	97,725	0,538	0,024	-	-	0,345	-	1,368	0,569
20	Арктическое	97,52	0,148	0,043	0,037	0,028	0,332	-	1,892	0,568
21	Юбилейное	98,67	0,06	0,002	-	-	0,22	-	1,04	0,566
22	Пякопурское	97,00	0,16	0,005	0,001	0,01	0,30	-	2,524	0,567
23	Пеляткинское	92,1	3,6	0,13	0,19	0,14	0,03	-	3,81	0,627
24	Ямсовейское	98,48	0,114	-	-	-	0,16	-	1,236	0,562

Продолжение

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
25	Бованенковское	99,03	0,028	0,007	0,003	-	0,06	-	0,88	0,559
26	Восточно-Таркосалинское	98,27	0,071	0,009	0,004	-	0,21	-	1,43	0,563
27	Западно-Таркосалинское	97,74	0,0149	0,069	0,066	0,012	0,42	-	1,36	0,567
28	Южно-Русское	98,40	0,058	0,004	-	-	0,28	-	1,258	0,563
29	Крузенштернское	99,07	0,012	0,002	-	-	0,11	-	0,806	0,560
30	Харампуровское	97,363	0,124	0,021	0,014	-	0,266	-	2,212	0,568

Исходные данные для расчета пикла адсорбции
Таблица А.40

Варианты	P, МПа	t, °C	K ₂ · 10 ³ · м ³ /ч	ξ, ч
1	5,5	180	235	35
2	5,0	183	240	31
3	7,8	188	250	20
4	6,3	190	250	23
5	6,0	195	225	19
6	6,2	185	210	21
7	6,7	200	230	15
8	7,3	210	190	12
9	7,7	180	240	30
10	7,0	183	185	26
11	6,4	186	197	22
12	7,2	190	220	20
13	7,6	195	180	18
14	5,7	200	247	16
15	5,3	210	237	13
16	6,5	180	195	24
17	7,5	185	230	20
18	5,5	175	220	21
19	6,1	186	225	21
20	6,8	187	240	19
21	7,5	190	235	24
22	6,9	189	245	22
23	7,2	187	230	22
24	7,7	188	210	18
25	7,4	185	245	20
26	7,1	189	247	21
27	7,5	190	210	19
28	7,4	186	248	22
29	7,6	187	205	21
30	7,5	190	215	20

Значения в единицах СИ некоторых внесистемных единиц
физических величин

Таблица А.41

Показатель	Метрические (внесистемные) единицы	СИ
Длина	1 мкм (микрометр)	10 ⁻⁶ м
Масса	1 т	10 ³ кг
Сила	1 кгс	9,80665 Н
Плотность	1 дин/см ³	10 ⁻⁵ Н
	1 т/см ³	1000 кг/м ³
	1 м ³ /кг	10 ⁻³ м ³ /кг
Удельный объем	1 кгс/см ²	98066,5 Н/м ² = 98066,5 Па
	1 кгс/см ²	1 Н/м ² = 1 Па
Динамическая вязкость	1 П (пуаз)	0,1 Н·с/м ² = 0,1 Па·с
	1 сП (сантипуаз)	10 ⁻³ Н·с/м ² = 1 мПа·с
	1 мкП (микропуаз)	10 ⁻⁴ Н·с/м ² = 0,1 мПа·с
Кинематическая вязкость	1 Ст (стокс)	10 ⁻⁴ м ² /с
	1 сСс (сантистокс)	10 ⁻⁶ м ² /с
	1 кгс·м	9,80665 Дж
Работа и энергия	1 эрг	10 ⁻⁷ Дж
	1 кал	4,1868 Дж
	1 ккал	4186,8 кДж
Мощность	1 кгс·м/с	9,80665 Вт
	1 л.с.	735,499 Вт
	1 ккал/ч	1,163 Вт
Поверхностное натяжение	1 эрг/см ²	4,1868 Вт
	1 дин/см = 1,02 ⁻⁴ кгс/м	10 ⁻³ Дж/м ² = 1 мДж/м ²
	1 ккал/кг·°C	10 ⁻³ Н/м = 1 мН/м
	1 кал/г·°C	4186,8 Дж/(кг·К)
	1 ккал/м ² ·ч·°C	4,1868 кДж/(кг·К)
Кэффициент теплопроводности	1 ккал/м·ч·°C	1,163 Вт/(м·К)
	1 кал/см·с·°C	418,68 Вт/(м·К)
Проницаемость	1 Д	10 ⁻¹² м ² = 1 (мкм) ²

Перевод единиц давления

Таблица А.42

кг/см ²	P _{га}	ат	Столб ртути		Столб воды	
			м	дюйм	м	дюйм
1	14,22	0,9678	0,7355	28,96	10,01	394
0,07031	1	0,06804	0,05171	2,036	0,7037	27,7
1,0333	14,70	1	1	29,92	10,34	407,2

P_{га} = фунты/кв дюйм (англ.)

Исходные данные для примера 7.2

Вариант	Месторождение	Давление, P, МПа						Температура, T, К		
		P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅	P ₆	T ₁	T ₂	T ₃
1	Вуктыльское	37,0	16	12	10	8	6	365	258	248
2	Оренбургское	20,6	16	12	10	8	6	304	263	253
3	Уренгойское (БУ _{1,2})	22,8	16	12	10	8	6	338	300	250
4	Уренгойское (БУ ₈)	26,5	20	16	12	8	6	343	305	253
5	Уренгойское (БУ ₁₀₋₁₁)	27,4	22	18	14	10	6	352	310	260
6	Уренгойское (БУ ₁₄)	31,5	26	20	16	12	6	353	313	263
7	Ямбургское (н. мел)	26,6	20	16	12	8	6	343	310	253
8	Заполярное (БТ ₂₋₃)	24,7	20	16	12	8	6	338	300	263
9	Заполярное (БТ ₆₋₈)	27,9	22	18	14	10	6	342	312	252
10	Заполярное (БТ ₁₀)	30,0	26	22	16	10	6	353	313	263
11	Пеляткинское	22,5	18	14	12	10	6	322	290	250
12	Мыльджинское (Ю-I+II)	25,8	21	17	13	10	6	353	313	263
13	Средневилюйское (Т ₁ -III)	22,5	20	16	12	10	6	326	296	256
14	Средневилюйское (Т ₁ -I _a)	24,5	19	16	13	10	6	324	294	254
15	Мастахское (P ₂ -I)	43,5	36	28	22	16	6	345	305	265
16	Мастахское (Ю ₁ -I)	17,8	16	14	12	10	6	306	286	256
17	Неджелинское (P ₂ -I)	41,0	36	30	24	16	6	343	303	263
18	Неджелинское (Т ₁ -IV)	30,0	26	22	18	14	6	336	306	256
19	Бадаранское	30,5	25	20	15	10	6	343	303	263
20	Усть-Вилуйское (Ю-III-A)	19,4	16	14	12	10	6	331	301	261
21	Усть-Вилуйское (Ю ₁ -II-Д)	19,7	18	16	14	12	6	325	300	260
22	Среднеботуобинское (пар)	14,7	12	10	8	7	6	280	270	260
23	Среднеботуобинское (осин)	14,2	12	10	8	7	6	276	266	256
24	Марковское (пар)	26,5	22	18	14	10	6	306	286	266
25	Новопортковское (валанж)	16,9	14	12	10	8	6	338	308	268

Физико-химические показатели природных газов, поставляемых и транспортируемых по магистральным газопроводам (по ОСТ 51.40-93)

Таблица А.13

Показатель	Значения для макроклиматических районов			
	умеренный		холодный	
	с 01.05 по 30.09	с 01.10 по 30.04	с 01.05 по 30.09	с 01.10 по 30.04
Точка росы газа по влаге, °С, не выше	-3	-5	-10	-20
Точка росы газа по углеводородам, °С, не выше	0	0	-5	-10
Концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0,007(0,02)	0,007(0,02)	0,007(0,02)	0,007(0,02)
Концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,016(0,036)	0,016(0,036)	0,016(0,036)	0,016(0,036)
Концентрация кислорода в газе, об. %	0,5	0,5	1	1
Теплота сгорания, низшая, МДж/м ³ (при 20 °С и 0,1 МПа)	32,5	32,5	32,5	32,5
Содержание механических примесей и труднолетучих жидкостей	Оговаривается отдельно в согласенных на поставку газа с ПХГ, ГПЗ и промислов			

Примечания:
 1. Климатические районы по ГОСТ 16350-80 "Климат, районирование и статистические параметры климатических факторов для технических целей".
 2. Величины, заключенные в скобки, действительны до 01.10.2000.
 3. Для газов, в которых содержание углеводородов C₂₋₆ не превышает 1,0 г/м³, точка росы по углеводородам в рамках данного стандарта не нормируется (из-за отсутствия в таких случаях требований на точку росы по углеводородам проектные решения по подготовке "топшего" газа не всегда обеспечивают транспорт газа в оптимальном состоянии на طولном участке магистрального газопровода). В ряде случаев допускается поставка в отдаленные газопроводы газа с более высоким содержанием сероводорода и меркаптанов.

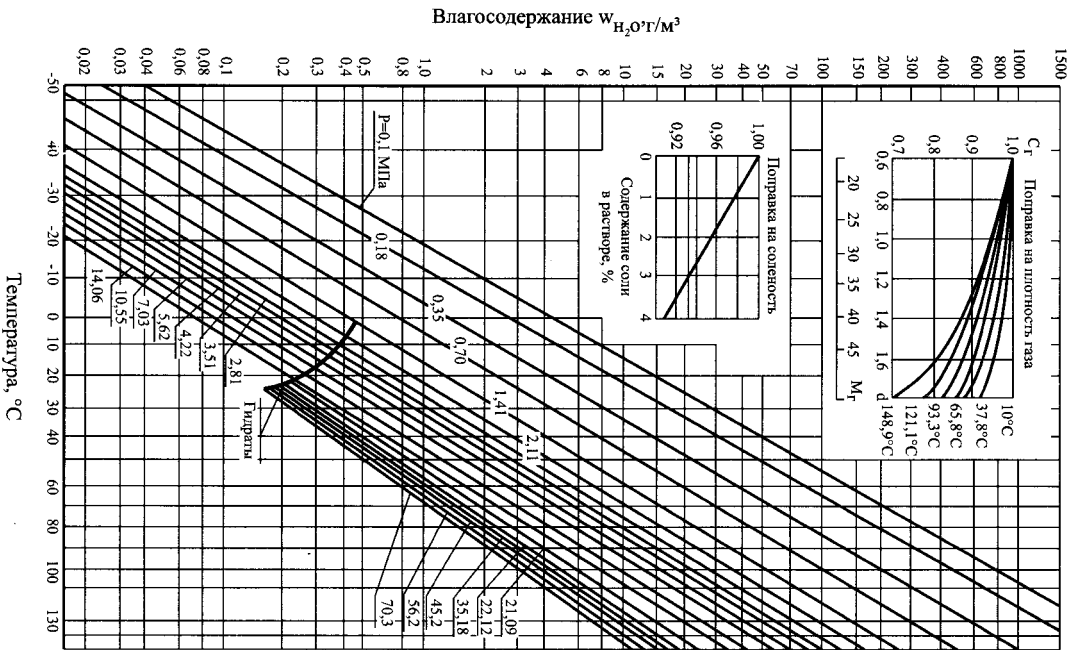


Рисунок А.2 — Определение влагосодержания природного газа

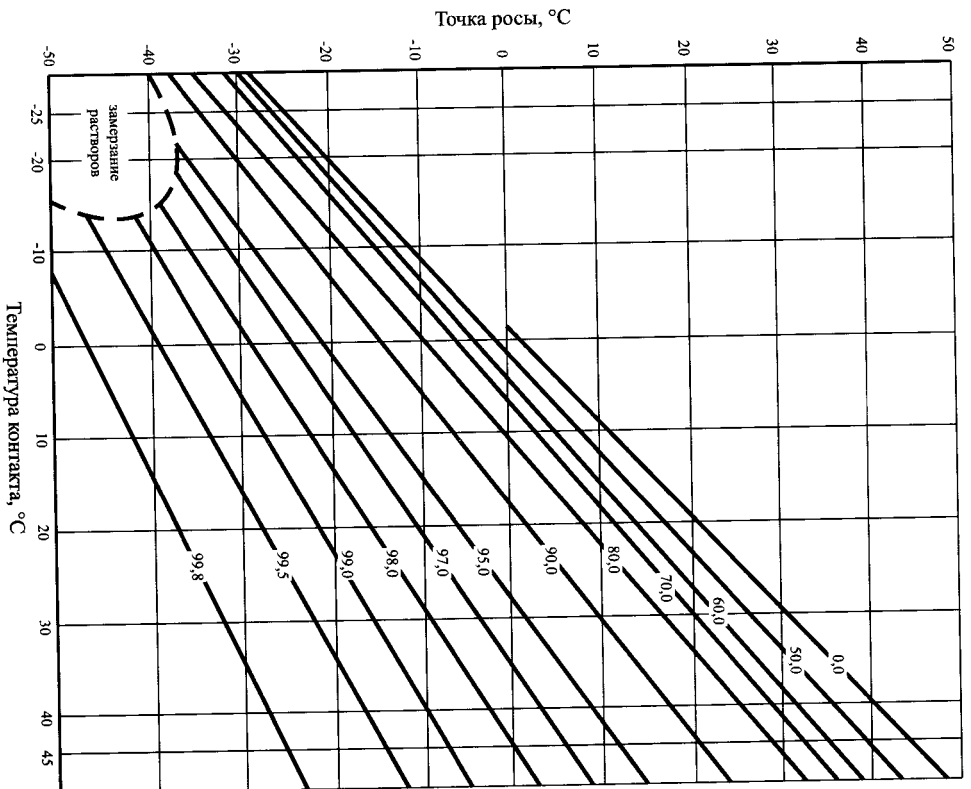


Рисунок А.3а — Равновесная точка росы газа по давлению над растворами ЭГа различной концентрации (цифры на прямых — содержание ЭГа в растворе, процент масс.)

Исходные данные для примеров /1, 3, 1/

Таблица А.5

Вариант	Q , млн м ³ сут	ω , м/с	P_p , МПа	T_p , К	$T_{pн}$, К	$Q_{гис}$, Вт/(м ² ·°С)	l , км
1	3,1	4,3	15,1	315	263	1,73	17
2	6,5	4,3	11,2	287	258	1,74	15
3	4,3	2,0	10,1	286	258	1,74	13
4	5,6	3,4	11,3	287	258	1,74	16
5	4,7	3,8	11,6	283	258	1,74	18
6	0,6	1,1	18,5	297	259	1,72	9
7	0,7	1,2	19,7	308	259	1,72	12
8	1,5	0,7	13,0	293	277	1,71	14
9	2,5	1,2	10,2	283	258	1,74	10
10	3,5	1,5	10,9	284	259	1,72	11
11	4,5	3,5	11,0	283	259	1,73	9
12	5,5	3,2	10,8	284	257	1,74	14
13	3,5	2,5	12,1	285	260	1,72	8
14	6,5	5,1	11,5	292	258	1,73	12
15	1,2	1,5	18,5	292	257	1,74	14
16	0,6	0,9	21,2	293	265	1,73	8
17	0,7	0,6	10,7	284	266	1,74	7
18	0,5	0,4	31,0	298	258	1,74	13
19	0,4	0,3	11,0	283	260	1,72	12
20	0,8	0,5	10,7	282	269	1,73	9
21	2,1	1,3	10,1	284	268	1,72	7
22	0,6	0,4	11,0	283	266	1,74	10
23	1,5	0,6	23,0	295	258	1,72	12
24	4,5	2,7	10,3	283	259	1,74	15
25	5,1	3,5	9,5	281	258	1,73	14
26	0,7	0,55	10,5	284	260	1,72	11
27	0,6	0,45	11,0	285	259	1,74	8
28	0,9	0,60	11,1	285	260	1,72	12
29	0,8	0,50	9,6	291	258	1,74	9
30	0,6	0,30	11,5	284	259	1,72	13

Таблица А.6

Основные показатели углеводородных компонентов природных газов

Показатель	Метан	Этан	Пропан	Изобу- тан	н-Бутан	Изопен- тан	н- Пентан	Гексан
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Химическая формула	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	н-C ₄ H ₁₀	i-C ₅ H ₁₂	н-C ₅ H ₁₂	C ₆ H ₁₄
Молекулярная масса	16,04	30,07	44,09	58,12	58,12	72,15	72,15	86,18
Газовая постоянная, (кг·м/кг·°С)	52,95	28,19	19,23	14,95	14,95	11,75	11,75	9,84
Температура при 0,1 МПа, °С:								
плавления	-182,5	-172,5	-187,5	-145,5	-135,0	-160,6	-129,7	-95,5
кипения	-161,3	-88,6	-42,2	-10,1	-0,5	+28,0	+36,2	+69,0
Критические параметры:								
температура $T_{кр}$, К	190,5	305,4	369,8	408,1	425,5	460,4	469,7	574
давление $p_{кр}$, МПа	4,88	5,07	4,42	3,80	3,95	3,51	3,50	3,13
плотность, кг/м ³	162	210	225,5	232,5	225,2	-	232	-
объем, м ³ /кг	0,00617	0,0047	0,00443	0,0043	0,0044	-	0,0043	-
Плотность при 0,1 МПа и 0 °С, кг/м ³	0,717	1,344	1,967	2,60	2,60	3,22	3,22	3,88
Удельный объем при 0,1 МПа и 0 °С, кг/м ³	1,4	0,746	0,510	0,385	0,385	0,321	0,321	0,258
Плотность в жидком состоя- нии при $T_{кип}$ и 0,1 МПа, кг/м ³	416	546	585	582 (при 0 °С)	600	625	637	664
Удельная теплоёмкость при 0,1 МПа и 0 °С, кДж/(кг·°С):								
при постоянном давлении C_p	2,22	1,73	1,57	1,50	1,50	1,45	1,45	1,42
при постоянном объеме C_v	1,70	1,44	1,36	1,31	1,31	1,29	1,29	1,28

1	Продолжение							
	2	3	4	5	6	7	8	9
Теплота при 0,1 МПа, кДж/кг:								
испарения	570	490	427	352	394	356	340	340
плавления	60,7	95,1	80,0	77,5	75,4	70,8	116	151
Теплопроводность при 0 °С и 0,1 МПа, Вт/(м·°С)	0,30	0,018	0,015	0,0135	0,0135	0,0127	0,0127	-
Теплота сгорания при 0,1 МПа и 15 °С, 10 ³ кДж/кг:								
высшая	55,69	51,96	49,86	49,44	49,44	49,23	49,23	48,69
низшая	50,15	47,35	46,47	45,67	45,67	45,46	45,46	45,17
Количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг газа, м ³	9,54	16,67	23,82	30,97	30,97	38,11	38,11	45,26
Средняя температура воспла- менения с воздухом, °С	715	567	545	512	512	-	-	-
Теоретическая температура горения, °С	1830	2020	2043	2057	2057	2080	2090	2090
Объём газа от испарения 1 м ³ жидкости, приведенный к 0,1 МПа и 0 °С, м ³	442,1	311,1	272,9	229,4	237,5	204,6	206,6	182
Коэффициент динамической вязкости при 0 °С и 0,1 МПа, 10 ⁻¹² мПа·с	1,05	0,87	0,76	0,70	0,70	0,65	0,63	0,62
Фактор ацентричности молекул ω	0,0014	0,0986	0,1524	0,1949	0,2010	0,2223	0,2539	0,3002
Параметры потенциалов								
ε/k, К	140	236	206	217	208	269	269	423
σ, Н·м	3,818	4,388	5,420	5,82	5,89	6,10	6,06	5,92

Таблица А.7

Основные показатели тяжелых углеводородных природных газов

Показатель	н- Гептан	н- Октан	н- Нонан	н- Декан	Нафтеновые			Ароматические	
					цик- ло- пен- тан	цик- логек- сан	цикло- гептан	бен- зол	толу- ол
Химическая формула	н- C ₇ H ₁₆	н- C ₈ H ₁₈	н- C ₁₀ H ₂₀	н- C ₁₀ H ₂₂	C ₅ H ₁₀	C ₆ H ₂₂	C ₇ H ₁₄	C ₆ H ₈	C ₇ H ₈
Молекулярная масса	100,2	114,22	128,25	124,3	70,1	84,16	98,2	78,11	92,13
Температура при 0,1 МПа, °С:									
плавления	-90,8	-56,8	-53,7	-29,7	-93,3	6,5	-126,3	5,4	-95,1
кипения	98,4	150,6	150,6	174,0	49,0	81,4	118,1	80,1	110,5
Критическая температура, К	540,1	568,8	595	619	554	554	554	561,5	593,6
Критическое давление, МПа	2,75	2,51	2,34	2,17	4,12	4,12	4,12	4,86	4,24
Плотность газа при 0 °С и 0,1 МПа, кг/м ³	4,70	5,10	5,71	6,34	3,13	3,75	4,38	3,48	4,11
Плотность жидкости при 20 °С, кг/л	0,688	0,707	0,722	0,734	0,754	0,783	0,911	0,878	0,866
Теплотворная способность, 10 ³ кДж/кг:									
высшая	48,31	48,18	48,02	47,85	46,93	46,63	45,88	42,23	42,95
низшая	44,92	44,83	44,75	44,62	44,41	44,0	43,16	40,64	41,06
Необходимое количество воздуха для горения 1 м ³ , м ³	52,41	59,95	66,70	73,85	35,73	42,88	50,02	35,70	42,88

Давление насыщенных паров водных растворов ЭГа (кПа) в зависимости от температуры

T, °C	Давление насыщенных паров при массовом содержании ЭГа в растворе, %									
	30	50	60	80	90	95	100	100	100	100
60	19	17	14	-	7,3	4,1	-	0,27	-	-
66	24	21	-	12,0	9,3	5,3	0,40	-	-	-
71	31	27	23	15,3	11,9	6,8	0,53	-	-	-
77	39	35	29	19,5	14,9	8,7	0,80	-	-	-
82	48	43	36	24,4	18,7	10,8	1,07	-	-	-
88	60	54	45	30	23,1	13,5	1,47	-	-	-
93	74	67	56	38	28,1	16,7	2,0	-	-	-
99	91	82	68	46	35	20,5	2,8	-	-	-
104	111	100	83	56	42	25	3,6	-	-	-
110	134	121	101	68	51	30	4,7	-	-	-
116	161	145	121	82	61	37	6,1	-	-	-
121	192	173	145	98	73	44	7,9	-	-	-
127	228	206	172	117	87	53	10,0	-	-	-
132	270	243	204	139	103	63	12,5	-	-	-
138	317	286	240	164	121	74	15,7	-	-	-
143	371	335	281	192	142	87	19,5	-	-	-
149	432	390	328	224	166	103	24,0	-	-	-
154	501	452	380	261	192	120	29,0	-	-	-
160	578	523	439	302	223	139	36,0	-	-	-
166	665	601	506	340	257	162	43,0	-	-	-
171	761	688	580	400	295	187	52,0	-	-	-
177	869	786	662	457	-	-	-	-	-	-

Давление насыщенных паров водных растворов ПГ (кПа) в зависимости от температуры

T, °C	Давление насыщенных паров при массовом содержании ПГ в растворе, %									
	30	50	70	80	90	97	100	100	100	100
20	17	13,6	11,5	10,2	5,6	-	0,08	-	-	-
30	30,3	24,8	21,0	18,2	10,2	-	0,20	-	-	-
40	51,5	43	36,3	31,3	18,0	-	0,46	-	-	-
50	85	72	61	51	30,1	9,4	0,99	-	-	-
60	137	117	98	84	49	16,9	2,03	-	-	-
70	212	185	155	131	76	26,2	3,98	-	-	-
80	322	285	236	202	118	42	7,40	-	-	-
90	475	425	353	298	177	63	13,4	-	-	-
100	690	615	520	433	257	95	23,1	-	-	-
110	980	890	740	615	373	143	39,3	-	-	-
120	-	-	-	855	525	207	62	-	-	-
130	-	-	-	-	720	295	93	-	-	-
140	-	-	-	-	985	408	140	-	-	-
150	-	-	-	-	-	560	205	-	-	-
160	-	-	-	-	-	765	299	-	-	-

Характеристика адсорбента

Название показателя	Сипкагель				Мульти (керамические шарики)
	фирмы "BASF" мелко-пористый А	крупно-пористый В	мелко-пористый КСМ	крупно-пористый КСМ	
Форма частиц	гранулы	гранулы	гранулы	гранулы	шарики
Диаметр частиц, м	0,003-0,006	0,002-0,006	0,0028-0,007	0,0028-0,007	0,007-0,015
Средний радиус пор, мм	-	-	0,145	0,680	-
Объем пор, м³/кг	0,4 · 10³	0,8 · 10³	0,34 · 10³	-	-
Удельная поверхность, м²/кг	7 · 10⁵	(3,0-3,5) · 10⁵	(5,5-7,5) · 10⁵	(4-5) · 10⁵	0,5 · 10⁵
Удельная теплоемкость, Дж/кг · К	1047	1047	-	-	795
Напынная плотность, кг/м³	700-750	440-470	720-780	400-500	1380
Теплопроводность, Вт/(м · К)	0,2	0,2	-	-	-
Влагоемкость до просоека при осушке до точки росы — 25 °C при P=5,4 МПа, %	20-22	-	18,5-24	-	-
Механическая прочность на разваливание, кг/гранула	3,7	-	6,5	-	-

Характеристика различных адсорбентов

Показатели	Адсорбент			
	КА	НАА	САА	САХ
Насыщенная плотность, г/см³	0,62	0,65	0,65	0,60
Динамическая активность (мг/см³) по порам воды при осушке до точки росы — 70 °C при размере гранул, мм:				
4,5	62	90	72	90
3,6	70	100	80	95
2,0	85-	120	95	100
Удельная поверхность, м²/г	-	750-800	750-800	1030
Размеры гранул, мм:	-	-	-	-
Диаметр	-	2,0-4,5	4,5	-
Длина	-	2,0-5,0	5,0	-