Российское акционерное общество "Газпром"

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ И ВАЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Москва 1996

gost.e-ecolog.ru

Российское акционерное общество "Газпром"

Всероссийский научно-исследовательский институт
природных газов и газовых технологий
(ВНИИгаз)

Информационно-рекламный центр газовой промышленности
(ИРЦ Газпром)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ И ВАЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ ОТ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК СЖИГАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ СМЕСЕЙ

Москва 1996

Замечания и предложения по настоящему нормативному документу следует направлять по адресу: 142717, Московская обл., Ленинский район, пос.Развилка, ВНИИгаз.

© Всероссийский научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий (ВНИИгаз), 1996

© Информационно-рекламный центр газовой промышленности (ИРЦ Газпром), 1996

Настоящий нормативный документ не может быть тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения РАО "Газпром"

УДК 614.72:622.691.4.052.012

Нормативный документ "Методика расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей" разработан в целях получения исходных данных для оценки воздействия выбросов вредных веществ факельных установок на качество атмосферного воздуха при добыче, переработке и транспорте газа.

Согласован с начальником Управления НТП и экологии Седых А.Д. 10.04.95, с Минтопэнерго России 15.06.95, Минприроды России 14.07.95.

Утвержден заместителем Председателя Правления РАО "Газпром" Ремизовым В.В. 17.10.95.

Вводится в действие с 01.09.95 с одновременной отменой ранее действующего документа "Методика расчета выбросов в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании газа на факельных установках".

Разработчики: *Г.С.Акопова, к.т.н., Л.В.Стрекалова, Л.В.Шарихина, А.М.Прокофьева (ВНИИгаз).*

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Настоящий нормативный документ:

разработан в целях получения исходных данных для оценки влияния на качество атмосферного воздуха выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания некондиционных углеводородных смесей (далее "факельные установки"), образующихся при добыче, переработке и транспорте природного газа и газоконденсата;

устанавливает методику расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от горизонтальных, высотных и наземных факельных установок;

распространяется на факельные установки, эксплуатируемые в соответствии с проектными нормами и установленными в [1] требованиями (с учетом работы дежурных горелок факельных установок);

разработан для предприятий РАО "Газпром", территориальных органов Минприроды России, а также проектных организаций (при выполнении работ по контрактам с РАО "Газпром").

1.2. Полученные по настоящему нормативному документу результаты используются при:

расчете загрязнения атмосферного воздуха выбросами факельных установок;

установлении нормативов предельно допустимых выбросов;

инвентаризации выбросов вредных веществ;

расчете платы за загрязнение атмосферного воздуха;

оценке воздействия на состояние окружающей среды проектируемых факельных установок газовой отрасли.

2. ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Некондиционные углеводородные смеси - непригодные для использования в хозяйственных целях углеводородные конденсаты,

газовые и газоконденсатные смеси, образующиеся в процессе добычи, переработки и транспорта природного газа и газоконденсата.

Горизонтальная факельная установка - открытое устройство (амбар) с горизонтальным подводом некондиционных газовых и газоконденсатных смесей под давлением в зону горения, конструкция которого обеспечивает выход горящего факела в атмосферу под углом 45°.

Высотная факельная установка - техническое устройство для сжигания в атмосфере некондиционных газовых и газоконденсатных смесей, транспортируемых под давлением в зону горения по вертикальному факельному стволу высотой 4 м и более.

Наземная факельная установка - открытая кочегарная яма-амбар круглой или прямоугольной формы, в которой сжигаются некондиционные углеводородные конденсаты. Поверхность горения сжигаемой смеси расположена ниже уровня земли.

Определения остальных понятий соответствуют установленным в нормативных документах [1-4].

3. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Факельные установки относятся к одиночным источникам загрязнения атмосферы, влияние которых на качество атмосферного воздуха регламентировано положениями раздела 2 ОНД-86 [4]. Источником выброса вредных веществ от факельных установок является факел.

3.2 Для оценки максимальных значений приземных концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, выбрасываемых от факельных установок, настоящим документом предусматривается выполнение расчетов следующих параметров:

мощности выброса вредного вещества;

температуры выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси;

расхода выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси;

высоты источника выброса над уровнем земли;

средней скорости поступления в атмосферу газовоздушной смеси из источника выброса.

3.3. Выделяемые (выбрасываемые) в атмосферу от факельных установок вредные вещества представляют собой газовоздушную смесь продуктов сгорания и несгоревших компонентов сжигаемой углеводородной смеси. Качественная и количественная характеристика выбросов вредных веществ определяется составом сжигаемой смеси, типом и параметрами факельной установки. Качественный состав выбросов вредных веществ приведен в приложении 1.

3.4. Конструкции факельных установок обеспечивают бессажевое горение природного газа, поступающего на дежурные горелки горизонтальной, наземной и высотной факельных установок и факельный ствол высотной установки.

Для достижения бессажевого горения сбрасываемых углеводородных смесей на горизонтальных и высотных факельных установках необходимо выполнение установленного в [1] следующего условия: отношение скорости истечения сжигаемой смеси $W_{ист}$ к скорости распространения звука в этой смеси $W_{зв}$ должно быть более 0,2.

3.5. Необходимые для выполнения расчетов экспериментальные данные должны быть получены с соблюдением требований закона Российской Федерации "Об обеспечении единства измерений": с применением аттестованных методик выполнения измерений и средств поверки измерений.

4. РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

4.1. Расчет мощности выброса вредного вещества M

4.1.1.Мощность выброса метана, оксида углерода, оксидов азота (в пересчете на диоксид азота) и сажи рассчитывается по формуле

$$M = УВ \cdot G, \text{ г/с}, \quad (1)$$

где УВ - удельные выбросы вредных веществ, г/г;

G - массовый расход углеводородных смесей и природного газа, г/с.

4.1.1.1. Удельные выбросы вредных веществ на единицу массы сжигаемой смеси принимаются по табл. 1.

4.1.1.2. Массовый расход сжигаемой газовой и газоконденсатной смеси $G_г$ рассчитывают по формуле

$$G_г = 1000\ B_г \cdot \rho_г, \text{ г/с}, \quad (2)$$

где $B_г$ - объемный расход газовых и газоконденсатных смесей и природного газа, $м^3/с$;

$\rho_г$ - плотность этих смесей и газа, $кг/м^3$.

Плотность $\rho_г$ и объемный расход $B_г$ газовых и газоконденсатных смесей и природного газа, сжигаемых на горизонтальных и высотных факельных установках, принимают по результатам измерений. В отсутствие данных по объемному расходу $B_г$ газовых и газоконденсатных смесей его значение рассчитывают по формуле

$$B_г = 0{,}785\ W_{ист} \cdot d^2, \quad (3)$$

где $W_{ист}$ - скорость истечения газовых и газоконденсатных смесей и природного газа, м/с;

d - диаметр выходного сопла, м.

При этом параметр $W_{ист}$ рассчитывают по формулам (21)-(25), а диаметр выходного сопла d устанавливают по проектным данным горизонтальной или высотной факельной установки.

Таблица 1

Факельная установка	Сжигаемая смесь	Вредное вещество	УВ, г/г*
Горизонтальная, высотная	Некондиционные газовые и газоконденсатные смеси	Оксид углерода CO Оксиды азота NO_x в пересчете на NO_2 Метан CH_4 и другие углеводороды (кроме содержащих серу) в пересчете на CH_4 Сажа	0,02 0,003 0,0005 **
Наземная	Некондиционный углеводородный конденсат	Оксид углерода CO Оксиды азота No_x в пересчете на NO_2 Углеводороды (кроме содержащих серу) в пересчете на CH_4 Сажа	0,25 0,002 0,03 0,03
Горизонтальная, высотная, наземная дежурные горелки и факельный ствол)	Природный газ	Оксид углерода CO Оксиды азота NO_x в пересчете на NO_2 Метан CH_4 и другие углеводороды (кроме содержащих серу) в пересчете на CH_4	0,02 0,003 0,0005

* - УВ установлены по результатам экспериментальных исследований на стендовых установках; ** - при соблюдении условий по п. 3.4. сажа не выделяется. Если условия бессажевого горения углеводородных смесей не подтверждаются расчетом по приложению 2, мощность выброса сажи для горизонтальных и высотных установок рассчитывается по формуле (1) при $УВ_{сажи} = 0,002$

4.1.1.3. Массовый расход углеводородного конденсата $G_к$, сжигаемого в кочегарных ямах-амбарах, находят из выражений:

круглой формы -

$$G_к = 250\ \pi \cdot d_н^2 \cdot W_{выг} \text{ или } G_к = 785\ d_н^2\ W_{выг}, \text{ г/с;} \quad (4)$$

прямоугольной формы -

$$G_к = 1000\ a \cdot b \cdot W_{выг}, \text{ г/с,} \quad (4а)$$

где $d_н$ - диаметр кочегарной ямы-амбара, м;

$W_{выг}$ - скорость выгорания углеводородного конденсата, кг/(м^2·с);

a, b - длина и ширина ямы-амбара, соответственно, м.

Скорость выгорания углеводородного конденсата $W_{выг}$ рассчитывается по формуле (13) приложения 3.

Диаметр кочегарной ямы-амбара $d_н$ или его длина a и ширина b принимаются по проектным данным наземной факельной установки.

Объемный расход $B_к$ углеводородного конденсата (наземные факельные установки), сжигаемого в кочегарных ямах-амбарах, рассчитывают по формуле

$$B_к = 0{,}001\ G_к/\rho_{кг}, \text{ м}^3\text{/с,} \quad (5)$$

где $G_к$ - массовый расход углеводородного конденсата, г/с;

$\rho_{кг}$ - плотность углеводородного конденсата в газовой фазе, кг/м^3.

Плотность углеводородного конденсата $\rho_{кг}$ рассчитывается по формуле (7а) приложения 3.

4.1.1.4. Для горизонтальных и высотных факельных установок в формуле (1) G заменяется на $G_г$, который определяется по п.4.1.1.2, а для наземных факельных установок - заменяется на $G_к$ (расчет см. по п. 4.1.1.3.).

4.1.2. Мощность выброса диоксида углерода M_{CO_2} рассчитывается по формуле

$$M_{CO_2} = 0{,}01\ G\{3{,}67\ n[C]_m + [CO_2]_m\} - M_{CO} - M_{CH_4} - M_C,\ г/с, \qquad (6)$$

где n - полнота сгорания углеводородной смеси и природного газа;

$[C]_m$, $[CO_2]_m$ - массовое содержание углерода и диоксида углерода, соответственно, в сжигаемой смеси, % мас.;

M_{CO}, M_{CH_4}, M_C, - мощность выброса оксида углерода, метана и сажи, соответственно, г/с.

Содержание диоксида углерода в сжигаемой углеводородной смеси $[CO_2]_m$ принимается по данным лабораторного анализа.

Массовое содержание углерода в сжигаемой смеси $[C]_m$ рассчитывается по п.6. приложения 3.

4.1.2.1. Параметр G и мощность выброса оксида углерода M_{CO} определяются по п. 4.1.1.

4.1.2.2. Полнота сгорания углеводородной смеси n, установленная на основе экспериментальных исследований, составляет:

0,9984 - для газовых и газоконденсатных смесей;
0,873 - для углеводородных конденсатов.

4.1.3. Для углеводородных смесей сернистых газовых и газоконденсатных месторождений наряду с мощностью выбросов вредных веществ, указанных в пп.4.1.1. и 4.1.2., рассчитывается мощность выбросов диоксида серы SO_2, сероводорода H_2S и меркаптанов RSH по следующим формулам:

$$M_{SO_2} = 0{,}02[S]_m \cdot G \cdot n; \quad (7)$$

$$M_{H_2S} = 0{,}01[H_2S]_m \cdot G \cdot (1- n); \quad (8)$$

$$M_{RSH} = 0{,}01[RSH]_m \cdot G \cdot (1- n). \quad (9)$$

Содержание сероводорода $[H_2S]_m$, меркаптанов $[RSH]_m$, общей серы $[S]_m$ в сжигаемой углеводородной смеси принимается по данным лабораторного анализа; G - по п.4.1.1., n - по п.4.1.2.2.

4.2. Расчет температуры выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси $T_г$

Температура горения $T_г$ углеводородной смеси и природного газа вычисляется по формуле

$$T_г = T_o + \frac{Q_н \cdot (1-e) \cdot n}{V_{пс} \cdot C_{пс}}, \ ^\circ C^*, \quad (10)$$

где T_o - температура углеводородной смеси и природного газа, °С;

$Q_н$ - низшая теплота сгорания углеводородной смеси и природного газа, ккал/м^3 (ккал/кг);

e - доля энергии, теряемая за счет излучения;

n - полнота сгорания углеводородной смеси и природного газа;

$C_{пс}$ - теплоемкость продуктов сгорания, ккал/м^3 (ккал/кг);

$V_{пс}$ - объем газовоздушной смеси, полученный при сжигании 1 м^3 (1 кг) углеводородной смеси и природного газа, м^3/м^3 (кг/кг).

---

* При расчете температуры горения углеводородного конденсата используются значения низшей теплоты сгорания, теплоемкости газовоздушной смеси, отнесенные к 1 кг сжигаемой смеси и количества газовоздушной смеси в весовых долях, кг/кг.

Погрешность от пренебрежения составляющей теплоты парообразования не превышает 1 %, поэтому при расчете не учитывается.

4.2.1. Температура сжигаемой углеводородной смеси T_o определяется по результатам лабораторных измерений.

4.2.2. Низшая теплота сгорания газовых и газоконденсатных смесей $Q_{нг}$ и низшая теплота сгорания углеводородных конденсатов $Q_{нк}$ рассчитываются по формулам приложения 3.

4.2.3. Доля энергии *e*, теряемая за счет излучения, принимается:

для углеводородных конденсатов по рис. 1 приложения 3;

для природного газа, газовых и газоконденсатных смесей по формуле

$$e = 0{,}048(m)^{0{,}5}. \qquad (11)$$

Молярную массу сжигаемой смеси и газа m(кг/кмоль) рассчитывают по формуле (5) приложения 3.

4.2.4. Значения полноты сгорания углеводородной смеси n приведены в п.4.1.2.2.

4.2.5. Количество газовоздушной смеси, полученное при сжигании 1 м^3 (кг) углеводородной смеси и природного газа $V_{пс}$ (м^3/м^3) или (кг/кг), рассчитывается по формуле

$$V_{пс} = 1 + \alpha V_o, \qquad (12)$$

где α - коэффициент избытка воздуха (принят равным 1);

V_o - стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 м^3 (кг) углеводородной смеси и природного газа V_o, м^3/м^3 (кг/кг).

Параметр V_o вычисляется по выражению

$$V_o = 0{,}0476\left\{1{,}5[H_2S]_o + \sum_{i=1}^{N}(x + y/4)[C_xH_y]_o - [O_2]_o\right\}, \qquad (13)$$

где $[H_2S]_o$, $[C_xH_y]_o$, $[O_2]_o$ - содержание сероводорода, углеводородов, кислорода, соответственно, в сжигаемой углеводородной смеси % об.

Стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 кг углеводородного конденсата V_o (кг/кг) принимается равным 14,8.

4.2.6 При теплоемкости газовоздушной смеси (продуктов сгорания) для газовой и газоконденсатной смеси и природного газа $C_{пс}$ = 0,4 ккал/($м^3$·°С) и для углеводородного конденсата $C_{пс}$ = 0,35 (ккал/(кг·°С) рассчитывают ориентировочное значение температуры горения $T'_г$.

Используя данные табл. 2, уточняют величину $C_{пс}$ и рассчитывают окончательную величину $T_г$.

Таблица 2

Температура продуктов сгорания $T_г$, °С	800-1000	1000-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2000
Теплоемкость продуктов сгорания $C_{пс}$.					
ккал/($м^3$·°С)	0,36	0,37	0,38	0,39	0,4
ккал/(кг·°С)	0,31	0,32	0,33	0,34	0,35

4.3. Расчет расхода выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_1

Расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси рассчитывается по формуле

$$V_1 = B \cdot V_{пс}(273+T_г)/273, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (14)$$

где B - объемный расход углеводородной смеси и природного газа, $м^3/с$;

$V_{пс}$ - объем газовоздушной смеси, полученный при сжигании 1 $м^3$ углеводородной смеси и природного газа, $м^3/м^3$;

$T_г$ - температура горения этих смесей и газа, °С.

Для горизонтальных и высотных факельных установок в формуле (14) B заменяется на $B_г$, определяемый по формуле (3), а

для наземных факельных установок - на $B_к$, рассчитываемый по формуле (5).

Параметры $T_г$ и $V_{пс}$ рассчитывают по формулам (10) и (12).

4.4. Расчет высоты источника выброса вредных веществ в атмосферу над уровнем земли H

Высота источника выброса H (м) вредных веществ в атмосферу от факельных установок сжигания углеводородных смесей рассчитывается по следующим формулам:

для горизонтальных установок

$$H = 0{,}707(L_ф - l_а) \pm h_г; \qquad (15)$$

для высотных установок

$$H = L_ф + h_в; \qquad (16)$$

для наземных установок

$$H = L_{фн} - (0{,}5h_к + h_{св}), \qquad (17)$$

где $L_ф$ - длина факела, м;

$l_а$ - расстояние от плоскости выхода сжигаемой углеводородной смеси из сопла трубы до противоположной стены амбара, м;

$h_г$ - расстояние между горизонтальной осью трубы и уровнем земли (для труб, проложенных ниже уровня земли, значение $h_г$ вычитается; выше уровня земли - прибавляется), м;

0,707 - коэффициент, учитывающий угол отклонения факела от вертикального положения;

$h_в$ - высота факельной установки от уровня земли, м;

$h_к$ - высота наполнения амбара углеводородным конденсатом, м;

$h_{св}$ - расстояние между плоскостью поверхности горения углеводородного конденсата и уровнем земли, м.

Высота источника выброса H вредных веществ в атмосферу от факельных установок сжигания природного газа, поступающего

на дежурные горелки и факельный ствол высотной установки, при расчетах принимается равной:

для горизонтальной и наземной установок H = 2 м;
для высотной факельной установки H = $h_в$.

4.4.1. В формуле (15) параметры $l_в$ и $h_г$ устанавливаются по проектным данным горизонтальной факельной установки.

4.4.2. В формуле (16) высота факельной трубы $h_в$ принимается по проектным данным высотных факельных установок.

4.4.3. В формуле (17) параметр $h_к$ может быть установлен как разность между проектной высотой кочегарной ямы-амбара и измеренным расстоянием от поверхности углеводородного конденсата до верхней кромки амбара;

4.4.4. Длина факела $L_ф$ для горизонтальных и высотных факельных установок при $W_{ист}/W_{зв} \geq 0,2$ устанавливается с помощью номограмм (рис. 1-5), представленных в приложении 4. Если фактические данные факельной установки не совпадают с исходными данными номограмм, то $L_ф$ рассчитывается по формуле

$$L_ф = 1,74\ d \cdot Ar^{0,17} \cdot (L_{ст}/d)^{0,59},\ м, \qquad (18)$$

где Ar - приведенный критерий Архимеда;

$L_{ст}/d$ - отношение стехиометрической длины факела к диаметру выходного сопла.

Длина факела $L_ф$ для высотных факельных установок при $W_{ист}/W_{зв} < 0,2$ принимается равной 15 d.

4.4.4.1. Диаметр выходного сопла d горизонтальной или вертикальной трубы подачи сжигаемой углеводородной смеси устанавливается по проектным данным факельной установки.

Параметр $L_{ст}/d$ устанавливается по номограмме, приведенной на рис. 6 приложения 4.

4.4.4.2. Приведенный критерий Архимеда Ar, учитывающий действие подъемной силы факела, вычисляется по выражению

$$Ar = \frac{3{,}3\, W_{ист}^2\, \rho_г}{\rho_в \cdot g \cdot d}.$$

С учетом g = 9,81 м/с^2 и $\rho_в$ = 1,29 кг/м^3:

$$Ar = 0{,}26\ W_{ист}^2\ \rho_г/d, \qquad (19)$$

где $\rho_г$ - плотность газовой, газоконденсатной смеси и природного газа, кг/м^3;

$\rho_в$ - плотность воздуха, кг/м^3;

$W_{ист}$ - скорость истечения газовой и газоконденсатной смеси и природного газа, м/с.

Плотность сжигаемой газовой или газоконденсатной смеси $\rho_г$ устанавливается по данным лабораторных измерений.

4.4.4.3. Скорость истечения сжигаемой газовой или газоконденсатной смеси $W_{ист}$ рассчитывается по формуле

$$W_{ист} = 4B_г/(\pi d^2), \text{ или } W_{ист} = 1{,}27\ B_г/d^2. \qquad (20)$$

Диаметр d выходного сопла принимается по проектным данным горизонтальной или высотной факельной установки; объемный расход $B_г$ сжигаемой смеси - по результатам измерений.

При отсутствии данных об объемном расходе смеси B, сжигаемой на высотных факельных установках, скорость ее истечения $W_{ист}$ принимается в соответствии с [1]:

при постоянных сбросах

$$W_{ист} = 0{,}2\ W_{зв}^{*}, \text{ м/с}; \qquad (21)$$

---

* Расчет скорости звука $W_{зв}$ в сжигаемой смеси дан в приложении 2.

при периодических и аварийных сбросах

$$W_{ист} = 0,5\ W_{зв},\ м/с. \qquad (21а)$$

При отсутствии данных об объемном расходе В смеси, сжигаемой на горизонтальных факельных установках, скорость ее истечения $W_{ист}$ рассчитывается по формуле

$$W_{ист} = q\ [2g(K/K+1)\ R(T_o + 273)/m)]^{0,5},\ м/с, \qquad (22)$$

где q - коэффициент скорости истечения сжигаемой углеводородной смеси, равный 0,5;

K - показатель адиабаты;

R - универсальная газовая постоянная (847,8 (кг.м)/(кмоль·К).

4.4.4.4. Показатель адиабаты K для газовых смесей принимается равным 1,3, для газоконденсатных смесей рассчитывается по значениям K_i индивидуальных углеводородов

$$K = \sum_{i=1}^{N} K_i [i]_o, \qquad (23)$$

где $[i]_o$ - относительное содержание i-го компонента в сжигаемой углеводородной смеси (% об.), устанавливаемое по результатам лабораторного анализа.

С учетом значений постоянных величин скорость истечения $W_{ист}$ рассчитывается по следующим формулам:

для газовых смесей

$$W_{ист} = 48,5(T_o + 273)/m)^{0,5}; \qquad (24)$$

для газоконденсатных смесей

$$W_{ист} = 64,5[(K/K + 1)(T_o + 273)/m)]^{0,5}. \qquad (25)$$

4.4.5. Длина факела при сжигании углеводородных конденсатов на наземных факельных установках $L_{фн}$ вычисляется по формуле

$$L_{фн} = 2\ D_{экв},\ м, \qquad (26)$$

где $D_{экв}$ - эквивалентный диаметр поверхности горения, м.

Значение $D_{экв}$ при сжигании углеводородного конденсата в кочегарной яме-амбаре круглой формы соответствует ее диаметру $d_н$; для кочегарных ям-амбаров прямоугольной формы $D_{экв}$ рассчитывается следующим образом:

$$D_{экв} = 2ab/(a+b),\ м, \qquad (27)$$

где a, b - длина и ширина ям-амбаров, м.

4.5. Расчет средней скорости поступления в атмосферу газовоздушной смеси из источника выброса W_o

Средняя скорость поступления в атмосферу газовоздушной смеси W_o для горизонтальных, высотных и наземных факельных установок рассчитывается по формуле

$$W_o = 4V_1/\pi D_ф^2,\ м/с, \qquad (28)$$

или (с учётом $\pi = 3,14$)

$$W_o = 1,27\ V_1/D_ф^2, \qquad (28а)$$

где V_1 - расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси, $м^3/с$;

$D_ф$ - диаметр факела, м.

4.5.1. Расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_1 устанавливается по п. 4.3.

4.5.2. Диаметр факела $Д_ф$ при сжигании углеводородных смесей на горизонтальных и высотных факельных установках вычисляется по формуле

$$D_ф = 0,14\ L_ф + 0,49\ d,\ м. \qquad (29)$$

Длина факела $L_ф$ рассчитывается по п. 4.4.4; диаметр выходного сопла d принимается по проектным данным горизонтальной или высотной факельной установки.

4.5.3. Для наземных факельных установок сжигания углеводородных смесей в формуле (28) $Д_ф$ заменяется на $Д_{эк}$, которое определяется по п. 4.4.5.

4.5.4. Диаметр факела $Д_ф$ при сжигании природного газа на высотных факельных установках в формуле (28) заменяется на диаметр выходного сопла d вертикального факельного ствола.

4.5.5. Для горизонтальных и наземных факельных установок сжигания природного газа на дежурных горелках диаметр факела $Д_ф$ заменяется на диаметр выходного сопла d и $d_н$, соответственно.

5. РАСЧЕТ ВАЛОВЫХ ВЫБРОСОВ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

Валовый выброс i-го вредного вещества от горизонтальных, высотных и наземных факельных установок $П_i$ рассчитывается по формуле

$$П_i = 0,0036\ \tau \cdot M_i,\ т/год, \qquad (30)$$

где τ - продолжительность работы факельной установки, ч/год;
M_i - мощность выброса i-го вредного вещества по п.4.1.1,г/с.

Примеры расчетов параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей и природного газа даны в приложении 5.

Приложение 1
Обязательное

Состав выбросов от факельных установок

Месторождение	Факельная установка	Сжигаемая смесь	Выбрасываемые вещества
Бессернистое	Горизонтальная, высотная	Некондиционные газовые и газоконденсатные смеси Природный газ***	Оксид углерода CO Диоксид углерода CO_2 Оксиды азота NO_x Метан CH_4 Сажа C**
Сернистое			Оксид углерода CO Диоксид углерода CO_2 Оксиды азота NO_x* Метан CH_4 Сажа C** Диоксид серы SO_2 Сероводород H_2S Меркаптаны RSH
Бессернистое	Наземная	Некондиционный углеводородный конденсат Природный газ***	Оксид углерода CO Диоксид углерода CO_2 Оксиды азота No_x Углеводороды по CH_4 Сажа C
Сернистое			Оксид углерода CO Диоксид углерода CO_2 Оксиды азота No_x Углеводороды по CH_4 Сажа C Диоксид серы SO_2 Сероводород H_2S Меркаптаны RSH

* - При горении углеводородной смеси и природного газа образуется оксид азота NO, который при быстром охлаждении в среде атмосферного воздуха переходит в диоксид азота NO_2; ** - сажа образуется и контролируется на горизонтальных и высотных установках только в случаях несоблюдения условия п.3.4; *** - при сжигании природного газа на дежурных горелках горизонтальных, высотных и наземных факельных установок сажа не образуется.

Приложение 2
Обязательное

Проверка соблюдения условий бессажевого горения газовых и газоконденсатных смесей на горизонтальных и высотных факельных установках

Для проверки указанных в п.3.4 условий бессажевого горения рассчитывают следующие параметры:

скорость истечения сжигаемой смеси $W_{ист}$ - по п.4.4.4.3. основного текста документа;

скорость распространения звука в сжигаемой углеводородной смеси $W_{зв}$ по формуле

$$W_{зв} = 91,5[K(T_o + 273)/M]^{0,5}, \text{ м/с.}$$

Температура T_o и показатель адиабаты К определяются по п.п.4.2.1 и 4.4.4.4.основного текста документа, соответственно.

Молярная масса М сжигаемой смеси вычисляется по формуле (5) приложения 3.

Сажа при горении не образуется, если соблюдается условие $W_{ист}/W_{зв}>0,2$.

Приложение 3
Обязательное

Расчет физико-химических параметров углеводородной смеси и природного газа

1. Низшая теплота сгорания природного газа, газовых и газоконденсатных смесей $Q_{нг}$ (ккал/м^3) рассчитывается по формуле.

$$Q_{нг} = 85,5[CH_4]_o + 152[C_2H_6]_o + 218[C_3H_8]_o + 283[C_4H_{10}]_o + \\ + 349[C_5H_{12}]_o + 56[H_2S]_o. \quad (1)$$

Содержание компонентов $[i]_o$ (% об.) устанавливается по результатам лабораторного анализа.

Содержание компонентов $[i]_o$ в 1 м^3 влажного газа рассчитывается с помощью пересчетного коэффициента $100/(100 + 0,124\gamma)$, где влажность γ (г/м^3) определяется по результатам лабораторного анализа.

2. Низшая теплота сгорания углеводородных конденсатов, $Q_{нк}$, (ккал/кг) находится из выражения

$$Q_{нк} = 81[C_m] + 300[H]_m - 26\{[O]_m - [S]_m\} - 6\{[W]_m + 9[H]_m\}. \quad (2)$$

Содержание кислорода $[O]_m$, серы $[S]_m$ и воды $[W]_m$ (влажность) (% мас.) определяется по результатам лабораторного анализа.

Содержание углерода $[C]_m$ и водорода $[H]_m$ (% мас.) рассчитывается по формулам (8)-(9) настоящего приложения;

Содержание компонентов $[i]_m$ (%мас.) в 1 кг влажной массы конденсата рассчитывается с помощью пересчетного коэффициента $(100 - [W]_m)/100$.

При отсутствии данных о химическом составе углеводородного конденсата приближенное значение низшей теплоты сгорания $Q_{нк}$ вычисляется по эмпирической формуле

$$Q_{нк} = 12053 - 2041\ \Delta\rho,\ ккал/кг, \qquad (3)$$

где $\Delta\rho$ - отношение плотности углеводородного конденсата при температуре 20 °С, $\rho_к$, кг/м^3 к плотности воды при температуре 4 °С, равной 1000 кг/м^3.

Плотность углеводородного конденсата в жидкой фазе $\rho_к$ равна

$$\rho_к = \frac{100}{\sum_{i=1}^{N} \frac{[i]_m}{\rho_i}},\ кг/м^3, \qquad (4)$$

где ρ_i - плотность i-го компонента или фракции конденсата (по результатам лабораторного анализа);

$[i]_m$ - содержание i-го компонента или фракции углеводородного конденсата, % мас. (по результатам лабораторного анализа).

3. Молярная масса углеводородной смеси m определяется по выражению

$$m = 0{,}01\sum_{i=1}^{N} m_i[i]_o,\ кг/моль, \qquad (5)$$

где m_i - молярная или молекулярная масса i-го компонента (принимается по таблице или рассчитывается), кг/кмоль;

$[i]_o$ - содержание i-го вещества в смеси, % об.

4. Температура кипения углеводородного конденсата $T_к$ вычисляется по формуле

$$T_к = 0{,}01\sum_{i=1}^{N} T_{кi}[i]_o,\ °C. \qquad (6)$$

Температуру кипения i-го компонента или фракции углеводородного конденсата $T_{кi}$ (°С) принимают по результатам лабораторного анализа.

Физико-химические свойства фракций углеводородного конденсата

Фракции углеводородного конденсата	Температура кипения (начало -конец) $T_к$, °С	Плотность при температуре 20 °С $\rho_к$, кг/м^3	Скорость выгорания $W_{выг}$, кг/(м^2·с)
Бензиновая	35-200	700-780	0,035-0,062
Керосиновая, дизельная	200-315	780-880	0,045-0,070
Остаток	315 и выше	880 и выше	0,015-0,071

Примечание. Значения скорости приняты по результатам экспериментальных данных, полученных при сжигании бензина, керосина, дизельного топлива, нефти и мазута в резервуарах диаметром от 0,5 до 10 м.

5. Плотность углеводородного конденсата в газовой фазе $\rho_{кг}$ (кг/м^3) определяется

в нормальных условиях

$$\rho = m/22{,}4; \qquad (7)$$

в рабочих условиях

$$\rho_{кг} = \frac{273m}{22{,}4(T_к + 273)} \quad \text{или} \quad \rho_{кг} = \frac{12{,}2m}{T_к + 273}. \qquad (7а)$$

6. Массовое содержание углерода $[C]_m$ и водорода $[H]_m$ в сжигаемой смеси определяется по формулам

$$[C]_m = \frac{12\sum_{i=1}^{N} x_i \cdot [i]_o}{(100 - [нег]_o)\cdot m} \cdot 100, \ \% \text{ мас.}; \qquad (8)$$

$$[H]_m = \frac{\sum_{i=1}^{N} y_i \cdot [i]_o}{(100 - [нег]_o)\cdot m} \cdot 100, \ \% \text{ мас.}, \qquad (9)$$

где x_i и y_i - число атомов углерода и водорода в одной молекуле i-го вещества сжигаемой смеси, соответственно (например, для C_2H_8 x=2, y=8);

$[i]_o$ - содержание i-го вещества в смеси, % об.(по результатам лабораторного анализа);

m - молярная масса сжигаемой углеводородной смеси кг/кмоль;

$[нег]_o$ - общее содержание негорючих примесей в сжигаемой смеси, % об.(по результатам лабораторного анализа).

Величиной $[нег]_o$ можно пренебречь, если ее значение не превышает 3 % об. при расчетах по формуле (8) и 4 % об. - по формуле (9).

При отсутствии значений химического состава углеводородного конденсата содержание углерода $[C]_m$ рассчитывается по формуле

$$[C]_m = 100\ K_c \cdot Q_{нк},\ \%\ мас., \qquad (10)$$

где K_c - коэффициент выброса углерода для углеводородного конденсата, кг/ккал (принимается равным $81{,}6 \cdot 10^{-6}$);

$Q_{нк}$ - низшая теплота сгорания углеводородного конденсата, ккал/кг (рассчитывается по формуле (3).

7. Расчет перехода от объемных единиц $[i]_o$ (% об.) состава сжигаемой углеводородной смеси и природного газа к массовым $[i]_m$ (% мас.) и обратно осуществляется по формулам

$$[i]_o = \frac{[i]_m}{m_i \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{[i]_m}{m_i}} \cdot 100, \quad \text{или} \quad [i]_o = \frac{[i]_m \cdot m}{m_i}; \qquad (11)$$

$$[i]_m = \frac{[i]_o \cdot m_i}{\sum_{i=1}^{N} [i]_o \cdot m_i} \cdot 100, \quad \text{или} \quad [i]_m = \frac{[i]_o \cdot m}{m}. \qquad (12)$$

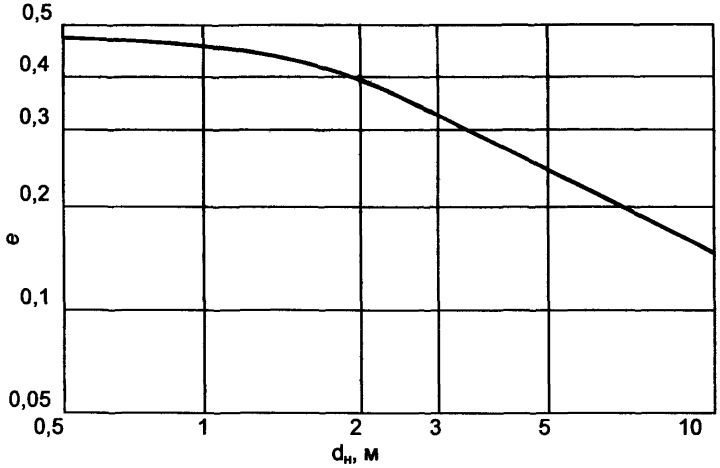


Рис. 1. Зависимость доли энергии, теряемой за счет излучения факела *e* от диаметра амбара $d_н$

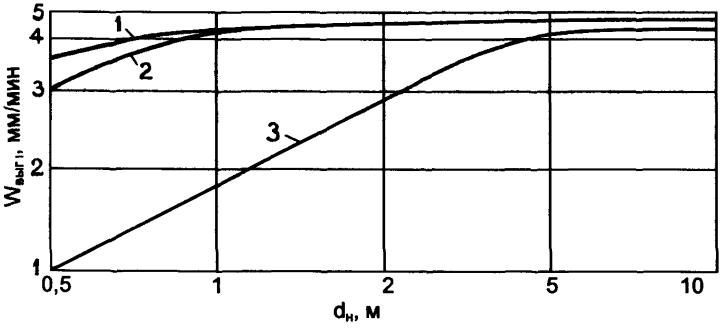


Рис.2. Зависимость скорости выгорания $W_{выг}$, от диаметра амбара $d_н$: 1 - бензина; 2 - керосина; 3 - нефти

8. Скорость выгорания углеводородного конденсата $W_{вых}$ (кг/(м^2·с) вычисляется как

$$W_{выг} = 0{,}01 \sum_{i=1}^{N} W_{выг\,i} \cdot [i]_m; \qquad (13)$$

$$W_{выг} = 1{,}67 \cdot 10^{-7} \sum_{i=1}^{N} W_{выг\,i} \cdot [i]_m \cdot \rho_{ki}. \qquad (13а)$$

Скорость выгорания i-го компонента или фракции конденсата в формуле (13) $W_{выг}$ принимаются по таблице, в формуле (13а) $W_{вып}$ (мм/мин) - по рис.2 настоящего приложения.

Приложение 4
Обязательное

НОМОГРАММЫ ДЛЯ НАХОЖДЕНИЯ ДЛИНЫ ФАКЕЛА НА ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ И ВЫСОТНЫХ ФАКЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

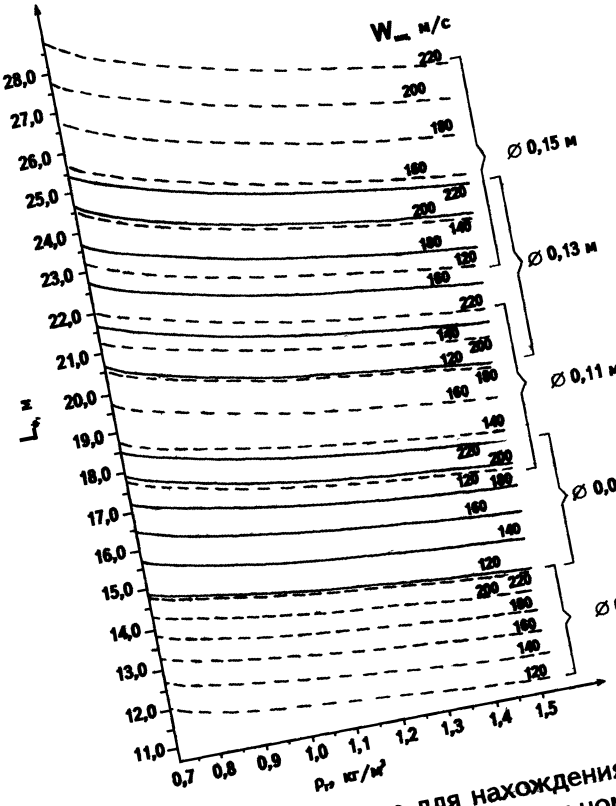


Рис.1. Номограмма для нахождения длины факела $L_ф$ при теоретическом удельном расходе воздуха V_o - 8,5 $м^3/м^3$

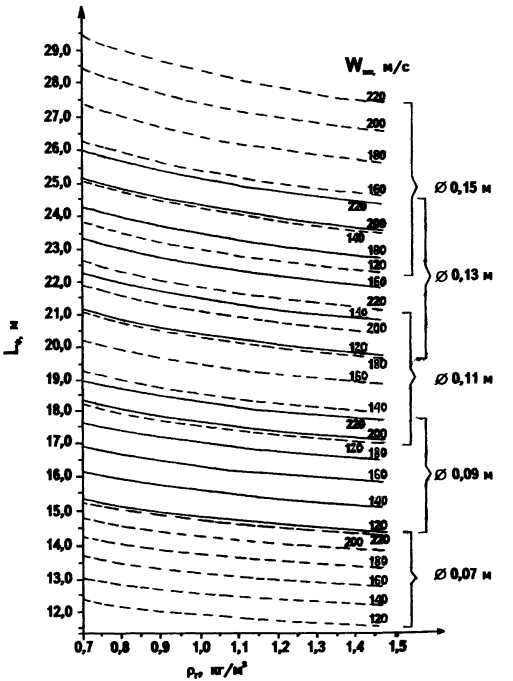


Рис.2. Номограмма для нахождения длины факела $L_ф$ при теоретическом удельном расходе воздуха V_0 - 9,0 м^3/м^3

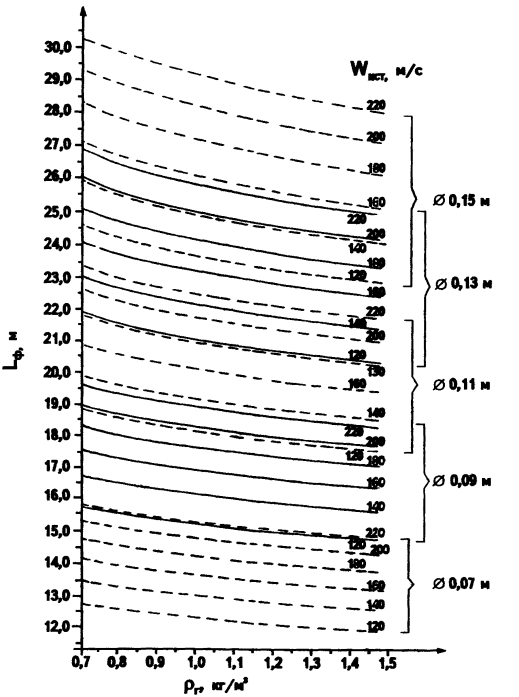


Рис.3. Номограмма для нахождения длины факела $L_ф$ при теоретическом удельном расходе воздуха V_0 - 9,5 м³/м³

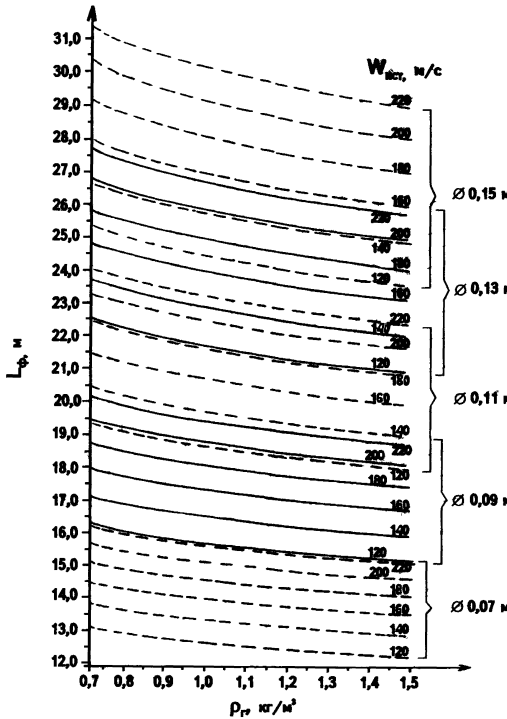


Рис.4. Номограмма для нахождения длины факела $L_ф$ при теоретическом удельном расходе воздуха V_o - 10,0 м³/м³

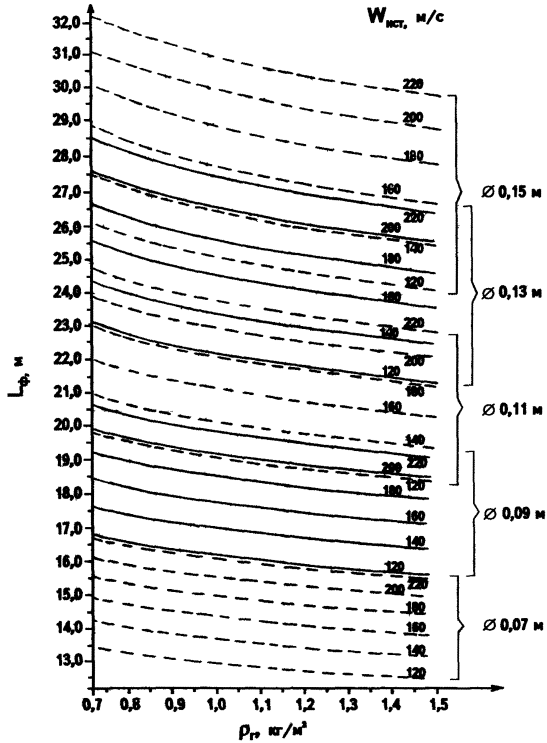


Рис.5. Номограмма для нахождения длины факела $L_ф$ при теоретическом удельном расходе воздуха V_0 - 10,5 м³/м³

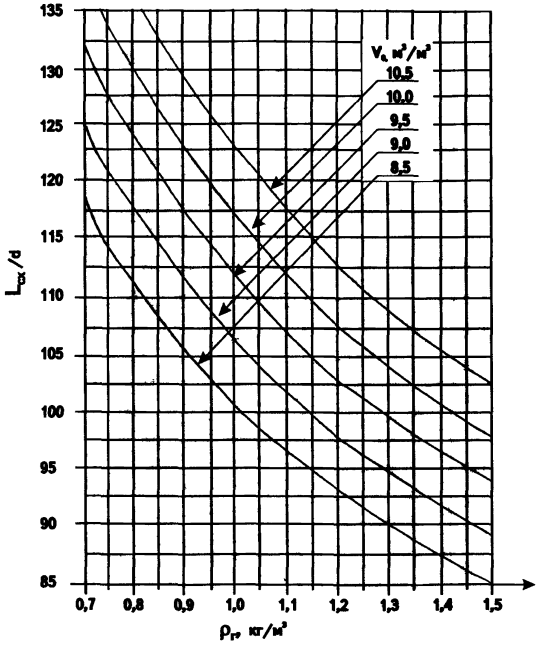


Рис.6. Номограмма для нахождения отношения стехиометрической длины факела к диаметру выходного сопла $L_{сх}/d$ при плотности сжигаемой смеси ρ и теоретическому удельному расходу воздуха V_0

Приложение 5
Обязательное

Примеры расчетов

Таблица 1

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от горизонтальных и высотных факельных установок сжигания газовых и газоконденсатных смесей

Параметры	Значение для различных типов факельных установок	
	горизонтальная	высотная
1	2	3
Геометрические параметры источника выделения (выброса) - устья факела, м:		
диаметр выходного сопла d	0,089	0,15
расстояние между горизонтальной осью трубы и уровнем земли h_r	0,8	-
высота факельной трубы $h_в$	-	35
расстояние от плоскости выхода углеводородной смеси из сопла до противоположной стенки амбара la	10	-
Состав углеводородной (газовой и газоконденсатной) смеси, %об.:		
метан $[CH_4]_o$	84,36	91,71
этан $[C_2H_6]_o$	3,99	3,17
пропан $[C_3H_8]_o$	1,68	0,92
бутаны $[C_4H_{10}]_o$	0,89	0,27
пентан $[C_5H_{12}]_o$	1,02	0,12
азот $[N_2]_o$	5,55	3,8
Содержание в сжигаемой смеси, % мас.:		
общей серы $[S]_m$	3,577	$17,06 \cdot 10^{-6}$
в т.ч. сероводорода $[H_2S]_m$	3,45	$2,59 \cdot 10^{-6}$
меркаптанов $[RSH]_m$	0,127	$4,47 \cdot 10^{-6}$

Продолжение табл. 1

1	2	3
диоксида углерода $[CO_2]_m$	1,55	Отс.
Объемный расход газовой и газоконденсатной смеси $B_г$, $м^3/с$	1,0	2,53
с учетом расхода газа на дежурную горелку	-	2,534
Температура сжигаемой газовой и газоконденсатной смеси T_o, °С	30	20
Низшая теплота сгорания газовой и газоконденсатной смеси $Q_{нг}$, ккал/$м^3$	8906	8081
Молярная масса сжигаемой смеси m, кг/кмоль	19	17
Плотность сжигаемой газовой и газоконденсатной смеси ρ, кг/$м^3$	0,86	0,78
Теплоемкость продуктов сгорания $C_{пс}$ (табл. 2 основного текста), ккал/($м^3$·°С)	0,39	0,39
Коэффициент избытка воздуха α (п.4.2.5.)	1,0	1,0
Полнота сгорания газовой и газоконденсатной смеси η	0,9984	0,9984
Продолжительность работы факельной установки τ, ч/год	4	40
Скорость истечения газовой и газоконденсатной смеси $W_{ист}$ (по формуле (20), м/с	161	143
Скорость распространения звука в сжигаемой газовой и газоконденсатной смеси $W_{зв}$ (по формуле приложения 2, м/с	417	477
Условие бессажевого горения $W_{ист}/W_{зв}>0,2$	0,4	0,3
Массовый расход сжигаемой газовой и газоконденсатной смеси $G_г$ (по формуле (2), г/с	860	1973

Продолжение табл. 1

1	2	3
Мощность выброса вредного вещества M (по формуле (1) и табл. 1 основного текста), г/с:		
оксида углерода M_{CO}	17,2	39,46
оксидов азота M_{NO_x} (в пересчете на NO_2)	2,57	5,92
метана M_{CH_4}	0,43	0,986
диоксида углерода M_{CO_2} (по формуле (6)	2188	5189
диоксида серы M_{SO_2} (по формуле (7)	7,87	$6,72 \cdot 10^{-4}$
сероводорода M_{H_2S} (по формуле (8)	0,0475	$8,2 \cdot 10^{-6}$
меркаптанов M_{RSH} (по формуле (9)	0,0017	$4,6 \cdot 10^{-7}$
Стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 м^3 углеводородной смеси V_o (по формуле (13), м^3/м^3	10,5	9,6
Количество газовоздушной смеси, полученное при сжигании 1 м^3 углеводородной смеси V_{nc} (по формуле (12), м^3/м^3	11,5	10,6
Доля энергии, теряемой за счет излучения факела e (по формуле (11)	0,21	0,20
Температура выбрасываемой газовоздушной смеси $T_г$ (по формуле (10) , °C	1583	1581
Расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_1 (по формуле (14), м^3/с	78,8	182,1
Длина факела $L_ф$ (по рис. 5 и 3 приложения 4), м	18,2	25,5

Продолжение табл. 1

1	2	3
Высота источника выброса H (по формулам (15) и (16), м	5,0	60,5
Диаметр факела $D_ф$ (по формуле (29), м	2,6	3,64
Средняя скорость поступления в атмосферу газовоздушной смеси W_o (по формуле (28), м/с	15,0	17,5
Валовый выброс i-го ЗВ $П_i$ (по формуле (30), т/год:		
оксида углерода $П_{CO}$	0,248	5,68
оксидов азота $П_{NO_x}$ (в пересчете на NO_2)	$3,7 \cdot 10^{-2}$	0,85
метана $П_{CH_4}$	$19 \cdot 10^{-3}$	0,14
сероводорода $П_{H_2S}$	$6,84 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-6}$
меркаптанов $П_{RSH}$	$2,5 \cdot 10^{-5}$	$6,58 \cdot 10^{-8}$
диоксида серы $П_{SO_2}$	0,113	$9,68 \cdot 10^{-5}$
диоксида углерода $П_{CO_2}$	31,5	747

Таблица 2

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от высотных, горизонтальных и наземных факельных установок сжигания природного газа в дежурных горелках

Параметры	Значение для различных типов факельных установок	
	горизонтальная	высотная
1	2	3
Геометрические параметры источника выброса, м: диаметр выходного сечения факельного ствола d диаметр выходного сечения	0,15	

Продолжение табл. 2

1	2	3
дежурной горелки d		0,1
высота факельной трубы $h_в$	35	
Состав природного газа $[i]_o$, % об.:		
метан $[CH_4]_o$	91,4	93,7
этан $[C_2H_6]_o$	4,91	4,54
пропан $[C_3H_8]_o$	2,22	0,47
бутаны $[C_4H_{10}]_o$	0,82	0,24
пентан $[C_5H_{12}]_o$	0,07	0,12
азот $[N_2]_o$	0,58	0,93
Объемный расход природного газа $B_г$, $м^3/с$		
на дежурные горелки и факельный ствол	0,05	
на дежурную горелку		0,01
Температура сжигаемого природного газа T_o, °С	20	20
Низшая теплота сгорания природного газа $Q_{нг}$, ккал/$м^3$	9307	8306
Молекулярная масса природного газа m, кг/кмоль	17,3	16,9
Плотность природного газа $\rho_{кг}$, кг/$м^3$	0,794	0,717
Продолжительность работы дежурных горелок τ, ч/год	8760	8760
Полнота сгорания природного газа n	0,9984	0,9984
Теплоемкость продуктов сгорания $C_{пс}$, ккал/($м^3$·°С)	0,39	0,39
Коэффициент избытка воздуха α	1,0	1,0
Количество газовоздушной смеси на единицу объема сжигаемого природного газа V_o, $м^3/м^3$ (по формуле (12) основного текста)	11,3	10,86
Доля энергии, теряемой за счет излучения факела e (по формуле (11)	0,20	0,20
Температура выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси		

Продолжение табл. 2

1	2	3
$T_г$, °С (по формуле (10)	1705	1567
Расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_o, $м^3/с$ (по формуле (14)	0,606	0,117
Средняя скорость поступления в атмосферу газовоздушной смеси W_o, м/с (по формуле (28)	34,31	14,9
Высота источника выброса Н, м (по п. 4.4)	35	2
Диаметр факела $Д_ф$, м (по пунктам 4.5.4 и 4.5.5)	0,15	0,1
Массовый расход природного газа $G_г$, г/с (по формуле (2)		
на дежурные горелки и факельный ствол	39,7	
на дежурную горелку		7,17
Содержание углерода $[C]_m$ в природном газе, % мас.(формула (8) приложения 3)	77,8	75,4
Мощность выброса вредного вещества М, г/с (по формуле (1) и табл. 1 основного текста)		
оксида углерода M_{CO}	0,794	0,143
оксидов азота M_{NO_x}		
(в пересчете на NO_2)	0,119	0,022
метана M_{CH_4}	0,02	0,004
диоксида углерода M_{CO_2}		
(по формуле (6) п. 4.1.2)	112,3	19,66
Валовый выброс вредного вещества $П_i$ (по формуле (30), т/год:		
оксида углерода $П_{CO}$	25,04	4,51
оксидов азота $П_{NO_x}$		
(в пересчете на NO_2)	3,75	0,68
метана $П_{CH_4}$	0,624	0,126
диоксида углерода $П_{CO_2}$	3543	619,9

Таблица 3

Состав и физико-химические свойства углеводородного конденсата

Фракции углеводородного конденсата	Температура кипения $T_к$, °С	Состав компонентов $[i]_m$, % мас.	Молярная масса m, кг/моль	Плотность при температуре 20 °С $\rho_к$, кг/м^3	Состав компонентов $[i]_o$, % об.	Скорость выгорания $W_{выг}$, кг/(м^2·с)
Бензиновая	120	49,3	115	756	70,0	0,0465
Керосиновая, дизельная	258	22,2	193	845	18,7	0,0465
Остаток	450	28,5	413	914	11,3	0,0345
Конденсат	192	100	163	815	100	0,0451

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от наземных факельных установок сжигания углеводородного конденсата

Размеры источника выделения выброса амбара, м:

длина а	3
ширина в	3
высота наполнения амбара углеводородным конденсатом $h_к$	3
расстояние между плоскостью поверхности горения углеводородного конденсата и уровнем земли $h_{св}$	0,3

Условия эксплуатации: сжигание дренажной жидкости в амбаре производится периодически по мере ее накопления

Содержание углеводородов в конденсате $[i]_m/[i]_o$, % мас./ %об. (по табл. 3 приложения 5)

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от наземных факельных установок сжигания углеводородного конденсата
(продолжение)

бензиновая	49,3/70,0
керосиновая, дизельная	22,2/18,7
остаток	28,5/11,3
Содержание в сжигаемом конденсате сероводорода $[H_2S]_m$, % мас.	5,2
Температура сжигаемого углеводородного конденсата T_o, °С	20
Плотность углеводородного конденсата $\rho_к$ (по формуле (4) приложения 3), кг/м^3	815
Низшая теплота сгорания углеводородного конденсата $Q_{нк}$ (по формуле (3) приложения 3), ккал/кг	10390
Теплоемкость продуктов сгорания $C_{пс}$ (п.4.2.6), ккал/(кг·°С)	0,32
Коэффициент избытка воздуха α (п. 4.2.5)	1,0
Полнота сгорания углеводородного конденсата n (п. 4.1.2.2.)	0,873
Доля энергии, теряемой за счет излучения факела, e (по формуле (11)	0,4
Продолжительность работы факельной установки τ, ч/год	2,0
Молярная масса сжигаемой смеси m (формула (5) приложения 3) и табл. 2 приложения 5), кг/кмоль	163
Температура кипения углеводородного конденсата $T_к$ (формула (6) приложения 3), °С	192
Плотность конденсата в газовой фазе, кг/м^3 при рабочих условиях, $\rho_{кг}$ (формула (7а) приложения 3)	4,27
Содержание углерода $[C]_m$ в конденсате, (формула (9) приложения 3), % мас.	84,78
(формула (10) приложения 3), % мас.	15,22
Число атомов углерода в одной молекуле конденсата x_i (по формуле (8)	11,52

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от наземных факельных установок сжигания углеводородного конденсата
(продолжение)

Число атомов водорода в одной молекуле конденсата y_i (по формуле (9) приложение 3)	24,8
Стехометрическое количество воздуха на 1 кг ($м^3$) массы сжигаемого конденсата V_o (по формуле (13), кг/кг ($м^3$/ $м^3$)	14,8 (84,35)
Количество газовоздушной смеси, полученное при сжигании 1 кг ($м^3$), конденсата $V_{пс}$ (по формуле (12), кг/кг ($м^3$/ $м^3$)	15,8 (85,35)
Температура выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси $T_г$ (по формуле (10), °С	1096
Скорость выгорания углеводородного конденсата $W_{выг}$ (формула (13) приложения 3 и табл. 2 приложения 5), кг/($м^2$·с)	0,0451
Массовый расход углеводородного конденсата $G_к$ (формула (4а), г/с	405,9
Объемный расход углеводородного конденсата в газовой фазе $B_к$ (формула (5), $м^3$/с	0,095
Расход выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_1 (формула (14), $м^3$/с	40,66
Эквивалентный диаметр поверхности горения $D_{экв}$ (п. 4.4.5.), м	3,0
Длина факела $L_{фк}$ (формула (26), м	6,0
Высота источника выброса Н (формулы (15)-(16), м	4,2
Средняя скорость поступления в атмосферу газовоздушной смеси W_o (по формуле (28), м/с	5,737
Мощность выброса вредного вещества М (по формуле (1) и табл. 1 основного текста), г/с:	
оксида углерода M_{CO}	101,5
оксидов азота M_{NO_x} (в пересчете на NO_2)	0,812
диоксида серы M_{SH_2}	36,85
сероводорода M_{H_2S}	2,68

Пример расчета параметров выбросов и валовых выбросов вредных веществ от наземных факельных установок сжигания углеводородного конденсата
(продолжение)

метана M_{CH_4}	12,18
диоксида углерода M_{CO_2}	976,7
(по формуле (6)	
сажи M_c	12,18
Валовый выброс i-го ЗВ $П_i$ (по формуле (30), т/год:	
оксида углерода $П_{CO}$	0,731
оксидов азота $П_{NO_x}$	0,006
(в пересчете на NO_2)	
диоксида серы $П_{SO_2}$	0,265
сероводорода $П_{H_2S}$	0,0192
метана $П_{CH_4}$	0,088
диоксида углерода $П_{CO_2}$	7,032
сажи $П_c$	0,088

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила устройства и безопасной эксплуатации факельных систем, утв. Госгортехнадзором России от 21.04.92.

2. ГОСТ 17.2.1.03-84. Охрана природы. Атмосфера. Термины и определения контроля загрязнения.

3. ГОСТ 17.2.1.07-77. Охрана природы. Атмосфера. Метеорологические аспекты загрязнения и промышленные выбросы. Основные термины и определения.

4. ОНД-86. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий.

5. Стрижевский Т.Т., Эльнатанов А.И.. Факельные установки. - М.: Химия, 1979.

6. Абрамович Г.Н. и др. Теория турбулентных струй. М.: Наука, 1984.

7. Хзмалян Д.М., Каган Я.А.. Теория горения и топочные устройства. - М.: Энергия, 1976.

8. Мильков С.Н., Сухов Г.С., Ярин Л.П. Теория горения жидкостей со свободной поверхностью//Физика горения и взрыва, N1, 1985.

9. Hiroshi Koseki. Combustion Properties of Large Liguid Pool Fires // Fire Techology, v. 25, № 3, 1989.

10. Методика расчета выбросов в атмосферу загрязняющих веществ при сжигании газа на факельных установках. - Оренбург: ВолгоУралнипигаз, 1990.

11. Равич М.Б.. Эффективность использования топлива. - М.: Наука, 1977.

12. Инженерная методика расчета длины факела и выгорания газообразного топлива применительно к промышленным горелкам общего назначения. - Саратов: ВНИПИгаздобыча, 1981.

13. Провести расчеты по определению удельных выбросов загрязняющих веществ при сжигании углеводородных смесей на факельных установках. - М.: ДАО "Промгаз". 1995.

14. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. - М.: Гидрометеоиздат, 1986.

15. Беренблюм С.Л., Ривин Э.М.. Методы расчета вредных выбросов в атмосферу из нефтехимического оборудования. Обз. информ. Сер.: Охрана окружающей среды. - М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1991.

16. Синярев Г.Б. и др. Применение ЭВМ для термодинамических расчетов металлургических процессов. - М.: Наука, 1982.

17. Варгафтик Н.Б.. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкости. - М.: Наука, 1972.

18. Гриценко А.И., Гриценко И.А., Юшкин В.В., Островская Т.Д. Научные основы прогноза фазового поведения пластовых газоконденсатных систем - М.: Недра, 1995.

19. Intergovermental Panel on Climate Change JPCC Supplement //WMO/UNEP, 1992.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Введение 4
2. Понятия и определения 4
3. Основные положения 5
4. Расчет параметров выбросов вредных веществ 6
4.1. Расчет мощности выброса вредного вещества M 6
4.2. Расчет температуры выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси $T_г$ 11
4.3. Расчет расхода выбрасываемой в атмосферу газовоздушной смеси V_1 13
4.4. Расчет высоты источника выброса вредных веществ в атмосферу над уровнем земли H 14
4.5. Расчет средней скорости поступления в атмосферу газовоздушной смеси из источника выброса W_o 18
5. Расчет валовых выбросов вредных веществ 19
Приложение 1. Состав выбросов от факельных установок 20
Приложение 2. Проверка соблюдения условий бессажевого горения газовых и газоконденсатных смесей на горизонтальных и высотных факельных установках 21
Приложение 3. Расчет физико-химических параметров углеводородной смеси и природного газа 22
Приложение 4. Номограммы для нахождения длины факела на горизонтальных и высотных факельных установках 28
Приложение 5. Примеры расчетов 35
Список использованной литературы 44

Ответственный за выпуск Ульрих О.Я.
Компьютерная верстка Леонтьевой М.А.

Подписано в печать 23.04.96 г. Формат 60×84/16 Офсетная печать
Усл.печ.л. 2,79 Уч.-изд.л. 2,7 Тираж 500 экз. Заказ 172

Ротапринт ИРЦ Газпром. Адрес: 109172, Москва, ул.Народная, 4,
Тел.: 912-63-16

gost.e-ecolog.ru