

О внесении изменений и дополнения в приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 марта 2021 года № 63 "Об утверждении Методики определения нормативов эмиссий в окружающую среду"

Приказ Министра экологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 2 сентября 2024 года № 199. Зарегистрирован в Министерстве юстиции Республики Казахстан 3 сентября 2024 года № 35022

ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Внести в приказ Министра экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан от 10 марта 2021 года № 63 "Об утверждении Методики определения нормативов эмиссий в окружающую среду" (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов за № 22317) следующие изменения и дополнение:

заголовок приказа изложить в следующей редакции:

"Об утверждении Методик определения нормативов эмиссий в окружающую среду"

;

пункт 1 изложить в следующей редакции:

"1. Утвердить:

1) Методику определения нормативов эмиссий в окружающую среду согласно приложения 1 к настоящему приказу;

2) Методику расчета выбросов загрязняющих веществ от факельных установок газохимических комплексов согласно приложения 1-1 к настоящему приказу.";

правый верхний угол приложения изложить в следующей редакции:

"Приложение 1 к приказу
Министра экологии, геологии
и природных ресурсов
Республики Казахстан
от 10 марта 2021 года № 63";

дополнить приложением 1-1 согласно приложению к настоящему приказу.

2. Комитету экологического регулирования и контроля Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан в установленном законодательством порядке обеспечить:

1) государственную регистрацию настоящего приказа в Министерстве юстиции Республики Казахстан;

2) размещение настоящего приказа на интернет-ресурсе Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан после его официального опубликования;

3) в течение десяти рабочих дней после государственной регистрации настоящего приказа в Министерстве юстиции Республики Казахстан представление в Департамент

юридической службы Министерства экологии и природных ресурсов Республики Казахстан сведений об исполнении мероприятий, предусмотренных подпунктами 1) и 2) настоящего пункта.

3. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на курирующего вице-министра экологии и природных ресурсов Республики Казахстан.

4. Настоящий приказ вводится в действие по истечении десяти календарных дней после дня его первого официального опубликования.

*и.о. Министра экологии
и природных ресурсов
Республики Казахстан*

Н. Шарбиев

"СОГЛАСОВАНО"

Министерство здравоохранения
Республики Казахстан

"СОГЛАСОВАНО"

Министерство финансов
Республики Казахстан

"СОГЛАСОВАНО"

Министерство национальной экономики РК

"СОГЛАСОВАНО"

Министерство энергетики
Республики Казахстан

Приложение
и.о. Министра экологии
и природных ресурсов
Республики Казахстан
от 2 сентября 2024 года № 199
Приложение 1-1 к приказу
Министра экологии
и природных ресурсов
Республики Казахстан
от 10 марта 2021 года № 63

Методика расчета выбросов загрязняющих веществ от факельных установок газохимических комплексов

Глава 1. Общие положения

1. Методика расчета выбросов загрязняющих веществ от факельных установок газохимических комплексов (далее – Методика) устанавливает порядок расчета параметров выбросов и валовых выбросов загрязняющих веществ от высотных факельных установок, распространяется на общие факельные установки, эксплуатируемые в соответствии с проектными нормами (с учетом работы дежурных горелок факельных установок).

2. В настоящей Методике применяются следующие основные термины и определения, сокращения и аббревиатуры:

- 1) M – мощность выброса загрязняющего вещества, грамм/секунды;
- 2) M_i – мощность выброса i -го загрязняющего вещества, грамм/секунды;
- 3) $TГ$ – температура горения газовой смеси, °С (градусов Цельсия);
- 4) V_1 – расход выбрасываемой в атмосферу газовой смеси, кубические метры/секунды;
- 5) H – высота источника выброса загрязняющих веществ в атмосферу над уровнем земли, метры;
- 6) W_0 – средняя скорость поступления в атмосферу факельного газа из источника выброса, метры/секунды;
- 7) $W_{ист}$ – скорость истечения сжигаемой смеси, метры/секунды;
- 8) $W_{зв}$ – скорость распространения звука в сжигаемой смеси, метры/секунды;
- 9) P_i – валовый выброс i -го загрязняющего вещества, тонн/год;
- 10) F – коэффициент удельных выбросов загрязняющих веществ, килограмм/килокалорий;
- 11) G – массовый расход факельного газа, килограмм/секунды;
- 12) NHV – удельная теплота сгорания факельного газа, килокалорий/килограмм;
- 13) x_i – содержание i -го вещества в смеси, % (процент) по объему (по результатам лабораторного анализа);
- 14) $NHVi$ – удельная теплота сгорания i -го вещества в смеси, килокалорий/килограмм;
- 15) ρ – плотность факельного газа, килограмм/кубические метры;
- 16) d – диаметр выходного сопла факела, метры;
- 17) n – полнота сгорания факельного газа;
- 18) y_1 и y_2 – число атомов углерода и водорода в одной молекуле i -го вещества сжигаемой смеси, соответственно (например, для C_2H_6 $y_1=2$, $y_2=6$);
- 19) m – молярная масса сжигаемой факельного газа, килограмм/киломоль;
- 20) m_i – молярная масса i -го вещества в смеси, килограмм/киломоль;
- 21) w_{H_2S} – содержание сероводорода в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;
- 22) w_{RSH} – содержание меркаптанов в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;
- 23) w_S – содержание общей серы в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;
- 24) T_0 – температура факельного газа, °С (градусов Цельсия);
- 25) QH – низшая теплота сгорания факельного газа, килокалорий/кубические метры;
- 26) e – доля энергии, теряемая за счет излучения;

27) $c_{пс}$ – теплоемкость продуктов сгорания, килограмм/кубические метры · °С (градусов Цельсия);

28) $V_{пс}$ – объем газовой смеси, полученный при сжигании 1 (одного) кубического метра факельного газа, кубические метры/ кубические метры;

29) a – коэффициент избытка воздуха;

30) V_0 – стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 (одного) кубического метра факельного газа, кубические метры/ кубические метры;

31) B – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды;

32) L_f – длина факела, метры;

33) h_v – высота факельной установки от уровня земли, метры;

34) D_f – диаметр факела, метры;

35) Ar – приведенный критерий Архимеда;

36) $L_{сх}$ – стехиометрическая длина факела, метры;

37) t – продолжительность работы факельной установки, час/год;

38) k – показатель адиабаты;

39)

$$\sum_{i=1}^n$$

– сумма выражения от i равного 1 до n , где i – это нижний предел суммы равный 1, n – верхний предел суммы, равный целому числу

40) высотная факельная установка – техническое устройство для сжигания в атмосфере факельных газов, транспортируемых под давлением в зону горения по вертикальному факельному стволу высотой 4 (четыре) метра и более;

41) газохимический комплекс – комплексное производственное сооружение по глубокой переработке многокомпонентных углеводородных газов с целью производства и полимеризации этилена, пропилена, бутилена, олефинов;

42) объект газохимического комплекса – устройства, оборудования, строения, здания и сооружения, связанные в единый технологический процесс газохимического комплекса;

43) установки газохимического комплекса – технологические агрегаты и оборудования, эксплуатируемые в составе газохимического комплекса;

44) факельные газы – отходящие газы с технологических установок, которые поступают в общую факельную систему предприятия, в том числе и природный газ, используемый на нужды факела;

45) факельные установки газохимического комплекса – установки, предназначенные для сброса и последующего сжигания углеводородов с целью обеспечения безопасности при проведении газохимических процессов.

3. Настоящая Методика разработана для получения исходных данных для оценки влияния на качество атмосферного воздуха выбросов загрязняющих веществ от факельных установок сжигания углеводородных смесей, образующихся при

эксплуатации объектов газохимического комплекса, а именно производства и полимеризации этилена, пропилена, бутилена, олефинов.

4. Полученные по настоящей Методике результаты используются при:

- 1) расчете загрязнения атмосферного воздуха выбросами факельных установок;
- 2) установлении нормативов допустимых выбросов;
- 3) инвентаризации выбросов загрязняющих веществ;
- 4) оценке воздействия на состояние окружающей среды проектируемых факельных установок.

5. Выделяемые в атмосферу от факельных установок загрязняющие вещества представляют собой газоздушную смесь продуктов сгорания и несгоревших компонентов сжигаемого факельного газа. Качественная и количественная характеристика выбросов загрязняющих веществ определяется составом сжигаемой смеси, типом и параметрами факельной установки.

6. Настоящая Методика предусматривает выполнение расчетов мощности выброса и валовых выбросов загрязняющего вещества для оценки максимальных значений приземных концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ, выбрасываемых от факельных установок при эксплуатации объектов газохимического комплекса.

Кроме того, расчеты таких параметров как температура выбрасываемой в атмосферу газоздушной смеси, расход выбрасываемой в атмосферу газоздушной смеси, высота источника выброса над уровнем земли, средняя скорость поступления в атмосферу газоздушной смеси из источника выброса производятся по требованиям норм настоящей Методики.

7. Необходимые для выполнения расчетов экспериментальные данные получают с соблюдением требований Закона Республики Казахстан "Об обеспечении единства измерений" с применением аттестованных методик выполнения измерений и средств поверки измерений.

Глава 2. Расчет параметров выбросов загрязняющих веществ

8. Мощность выброса M (грамм/секунды) углеводородов в пересчете на метан, оксида углерода, окислов азота и сажи от факельных установок сжигания углеводородных смесей, образующихся при эксплуатации объектов газохимического комплекса, а именно производства и полимеризации этилена, пропилена, бутилена, олефинов рассчитывается по формуле:

$$M = 1000 * F * G * NHV, \text{ где:}$$

F – коэффициент удельных выбросов загрязняющих веществ, килограмм/килокалорий;

G – массовый расход факельного газа, килограмм/секунды;

NHV – Удельная теплота сгорания факельного газа, килокалорий/килограмм.

9. Коэффициент удельных выбросов загрязняющих веществ на единицу тепла сжигаемой смеси принимается по таблице согласно приложению 1 к настоящей Методике.

10. Удельная теплота сгорания факельного газа определяется по формуле:

$$NHV = 0.01 * \sum_{i=1}^n (x_i * NHV_i), \text{ где:}$$

x_i – содержание i -го вещества в смеси, % (процент) по объему (по результатам лабораторного анализа);

NHV_i – удельная теплота сгорания i -го вещества в смеси, килокалорий/килограмм. Данная величина является справочной, значения приведены в таблице согласно приложению 4 к настоящей Методике.

11. Массовый расход факельного газа принимается из материального баланса предприятия. При отсутствии показателя массовый расход сжигаемого факельного газа G (килограмм/секунды) рассчитывается по формуле:

$$G = V * \rho, \text{ где:}$$

V – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды;

ρ – плотность факельного газа, килограмм/кубические метры.

12. Плотность ρ и объемный расход V факельного газа, сжигаемого на высотных факельных установках, принимаются по результатам измерений либо по материальному балансу предприятия. В отсутствие данных объемный расход V факельного газа рассчитывается по формуле:

$$V = 0,785 \cdot W_{\text{ист}} \cdot d^2, \text{ где:}$$

$W_{\text{ист}}$ – скорость истечения сжигаемого факельного газа, метры/секунды;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

13. Расчет скорости истечения сжигаемого факельного газа производится по формуле пункте 32 настоящей Методики.

14. Для факельных газов, содержащих сернистые соединения наряду с мощностью выбросов загрязняющих веществ, рассчитываются мощность выбросов (грамм/секунды) общей серы S (M_S), сероводорода H_2S (M_{H_2S}) и меркаптанов RSH (M_{RSH}) по следующим формулам:

$$M_S = 20 * w_S * G * n$$

$$M_{H_2S} = 10 * w_{H_2S} * G * (1 - n)$$

$$M_{RSH} = 10 * w_{RSH} * G * (1 - n), \text{ где:}$$

w_S – содержание общей серы в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;

w_{H_2S} – содержание сероводорода в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;

w_{RSH} – содержание меркаптанов в факельном газе принимающиеся по данным лабораторного анализа, % (процент) по массе;

n – полнота сгорания факельного газа, установленная на основе экспериментальных исследований, составляет 0,9984 – для газовых и газоконденсатных смесей.

15. Валовый выброс i -го загрязняющего вещества Π_i (тонн/год) от факельных установок сжигания факельного газа, образующихся при эксплуатации объектов газохимического комплекса, а именно производства и полимеризации этилена, пропилена, бутилена, олефинов, рассчитывается по формуле:

$$\Pi_i = 0,0036 * t * M_i,$$

M_i – мощность выброса i -го загрязняющего вещества, грамм/секунды;

t – продолжительность работы факельной установки, часы/год.

16. Температура горения ТГ ($^{\circ}\text{C}$ (градусов Цельсия)) газовой смеси вычисляется по формуле:

$$T_r = T_0 + \frac{Q_H * (1 - e) * n}{V_{пс} * C_{пс}}, \text{ где:}$$

T_0 – температура факельного газа, $^{\circ}\text{C}$ (градусов Цельсия);

Q_H – низшая теплота сгорания факельного газа, килокалорий/кубические метры;

e – доля энергии, теряемая за счет излучения;

$C_{пс}$ – теплоемкость продуктов сгорания, килограмм/кубические метры \cdot $^{\circ}\text{C}$ (градусов Цельсия);

$V_{пс}$ – объем газовой смеси, полученный при сжигании 1 кубического метра факельного газа, кубические метры/кубические метры.

17. Температура факельного газа (T_0) определяется по результатам лабораторных измерений.

18. Низшая теплота сгорания газовых смесей (Q_H) определяется по результатам лабораторных измерений или рассчитывается по эмпирической формуле для факельных газов:

$$Q_H = 25,8x_{H_2} + 30,2x_{CO} + 85,6x_{CH_4} + 152,3x_{C_2H_6} + 218,0x_{C_3H_8} + 283,4x_{C_4H_{10}} + 348,9x_{C_5H_{12}} + 133,8x_{C_2H_2} + 141,1x_{C_2H_4} + 205,4x_{C_3H_6} + 271,1x_{C_4H_8} + 330,6x_{C_5H_{10}} + 335,3x_{C_6H_6} + 55,9x_{H_2S}, \text{ килокалорий/кубические метры, где:}$$

x_i – содержание i -го вещества в смеси, % (процент) по объему.

19. Доля энергии e , теряемая за счет излучения, принимается для факельного газа по формуле:

$$e = 0,048 \cdot \sqrt{m}, \text{ где:}$$

m – молярная масса сжигаемой смеси, килограмм/киломоляр.

20. Молярную массу сжигаемой смеси m (килограмм/киломоляр) рассчитывают по формуле:

$$m = 0,01 * \sum_{i=1}^n (x_i * m_i), \text{ где:}$$

x_i – содержание i -го вещества в смеси, % (процент) по объему (по результатам лабораторного анализа);

m_i – молярная масса i -го вещества в смеси, килограмм/киломоляр (справочная величина).

21. Объем газовой смеси, полученный при сжигании 1 (одного) кубического метра факельного газа $V_{\text{гс}}$ (кубические метры/кубические метры), рассчитывается по формуле:

$$V_{\text{гс}} = 1 + a * V_0, \text{ где:}$$

a – коэффициент избытка воздуха (принят равным 1);

V_0 – стехиометрическое количество воздуха для сжигания 1 (одного) кубического метра факельного газа, кубические метры/кубические метры.

22. Параметр V_0 вычисляется по формуле:

$$V_0 = 0,0476 * \{1,5x_{\text{H}_2\text{S}} + (\sum_{i=1}^n (y_1 + \frac{y_2}{4}) * x_{\text{C}_y\text{H}_1\text{N}_y\text{O}_2}) - x_{\text{O}_2}\}, \text{ где:}$$

x_i – содержание i -го вещества в смеси, % (процент) по объему;

y_1 и y_2 – число атомов углерода и водорода в одной молекуле i -го вещества сжигаемой смеси, соответственно (например, для C_2H_6 $y_1=2$, $y_2=6$).

23. При теплоемкости газовой смеси (продуктов сгорания) для газовой смеси $c_{\text{гс}} = 0,4$ (килокалорий/кубические метры·°С (градусов Цельсия)) рассчитывается ориентировочное значение температуры горения факельного газа ($T_{\text{г}}$). Используя данные из таблицы 1, уточняется величина теплоемкости газовой смеси и рассчитывается окончательная величина $T_{\text{г}}$.

Таблица 1

Определение величины теплоемкости газозвдушной смеси

Температура продуктов сгорания T_{Γ} , ° С (градусов Цельсия)	600-800	800-1000	1000-1200	1200-1500	1500-1800	1800-2000
Теплоемкость продуктов сгорания $c_{пс}$:						
килокалорий/(кубические метры°С градусов Цельсия))	(0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,4

24. Расход выбрасываемой в атмосферу газозвдушной смеси V_1 (кубические метры /секунды) рассчитывается по формуле:

$$V_1 = B * V_{пс} * \frac{273+T_{\Gamma}}{273}, \text{ где:}$$

B – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды;

$V_{пс}$ – объем газозвдушной смеси, полученный при сжигании 1 (одного) кубического метра факельного газа, кубические метры/кубические метры;

T_{Γ} – температура горения газозвдушной смеси, °С (градусов Цельсия).

25. Высота источника выброса H (метры) загрязняющих веществ в атмосферу от высотных факельных установок сжигания факельного газа рассчитывается по следующей формуле:

$$H = L_{\phi} + h_{в}, \text{ где:}$$

L_{ϕ} – длина факела, метры;

$h_{в}$ – высота факельной установки от уровня земли, метры.

26. Высота источника выброса (H) загрязняющих веществ в атмосферу от факельных установок сжигания природного газа, поступающего на дежурные горелки и факельный ствол высотной установки, при расчетах принимается равной высота факельной установки от уровня земли ($h_{в}$).

27. Высота факельной трубы ($h_{в}$) принимается по проектным данным для эксплуатируемого объекта газохимического комплекса.

28. Длина факела L_{ϕ} (метры) для высотных факельных установок при ($W_{ист}/W_{зв} \geq 0,2$) рассчитывается по формуле:

$$L_{\phi} = 1,74 * d * Ar^{0,17} * \left(\frac{L_{сж}}{d} \right)^{0,59}, \text{ где:}$$

Ar – приведенный критерий Архимеда;

L_{cx}/d – отношение стехиометрической длины факела к диаметру выходного сопла.

Параметр (L_{cx}/d) устанавливается по номограмме, приведенной в приложении 2;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

29. Длина факела ($L_{ф}$) для высотных факельных установок при ($W_{ист}/W_{зв} < 0,2$) принимается равной $15d$.

30. Диаметр выходного сопла (d) трубы подачи, сжигаемой факельного газа, устанавливается по проектным данным факельной установки.

31. Приведенный критерий Архимеда (Ar), учитывающий действие подъемной силы факела, вычисляется по выражению:

$$Ar = \frac{0,26 \cdot W_{ист} \cdot \rho}{d}, \text{ где:}$$

ρ – плотность факельного газа, килограмм/кубические метры;

$W_{ист}$ – скорость истечения сжигаемой факельного газа, метры/секунды;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

32. Скорость истечения сжигаемого факельного газа $W_{ист}$ (метры/секунды) рассчитывается по формуле:

$$W_{ист} = \frac{1,27 \cdot B}{d^2}, \text{ где:}$$

B – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

33. Диаметр (d) выходного сопла принимается по проектным данным высотной факельной установки; объемный расход (B) сжигаемой смеси – по результатам измерений. При отсутствии данных об объемном расходе смеси, сжигаемой на высотных факельных установках, скорость истечения принимается:

при постоянных сбросах

$$W_{ист} = 0,2 * W_{зв}, \text{ метры/секунды}$$

при периодических и аварийных сбросах

$$W_{ист} = 0,5 * W_{зв}, \text{ метры/секунды, где:}$$

$W_{зв}$ – скорость звука в сжигаемой смеси, метры/секунды.

34. Расчет скорости звука в сжигаемой смеси приведен в приложении 3.

35. Средняя скорость поступления в атмосферу газозвушной смеси W_0 (метры/секунды) для высотных факельных установок рассчитывается как:

$$W_0 = \frac{1,27 \cdot V_1}{D_{\phi}^2}, \text{ где:}$$

V_1 – расход выбрасываемой в атмосферу газовой смеси, кубические метры/секунды;

D_{ϕ} – диаметр факела, метры.

36. Диаметр факела D_{ϕ} (метры) при сжигании факельного газа на высотных факельных установках вычисляется по формуле:

$$D_{\phi} = 0,14 \cdot L_{\phi} + 0,49 \cdot d, \text{ где:}$$

L_{ϕ} – длина факела, метры;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

Приложение 1
к Методике расчета выбросов
загрязняющих веществ
от факельных установок
газохимических комплексов

Коэффициенты удельных выбросов загрязняющих веществ

В таблице ниже приведены коэффициенты удельных выбросов загрязняющих веществ для объектов газохимического комплекса, при производстве бутилена, этилена, пропилена, олефинов.

Коэффициенты удельных выбросов загрязняющих веществ

Загрязняющее вещество	Значение коэффициента выбросов в килограмм/килокалорий
Углеводороды в пересчете на метан CH_4	$0,25 \cdot 10^{-6}$
Окислы азота NO_x	$0,12 \cdot 10^{-6}$
Оксид углерода CO	$0,56 \cdot 10^{-6}$

Сажа не выделяется при соблюдении следующего условия – отношение скорости истечения сжигаемой смеси $W_{ист}$ к скорости распространения звука в этой смеси $W_{зв}$ должно быть более 0,2. Расчет приведен в приложении 3.

В случаях не выполнения условия $W_{ист}/W_{зв} > 0,2$, мощность выброса рассчитывается по формуле:

$$M(\text{сажи}) = 1000 \cdot F(\text{сажи}) \cdot V, \text{ где:}$$

$M(\text{сажи})$ – мощность выброса сажи, грамм/секунды;

$F(\text{сажи})$ – коэффициент удельного выброса сажи, килограмм/кубические метры;

V – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды.

Коэффициент удельного выброса сажи (F) определяется по уровню непрозрачности дыма на основании паспорта факельной установки:

коэффициент непрозрачности дыма 0-20%, недымящие факела: 0 килограмм/кубические метры;

коэффициент непрозрачности дыма 20-40%, слабодымящие: $40 \cdot 10^{-6}$ килограмм/кубические метры;

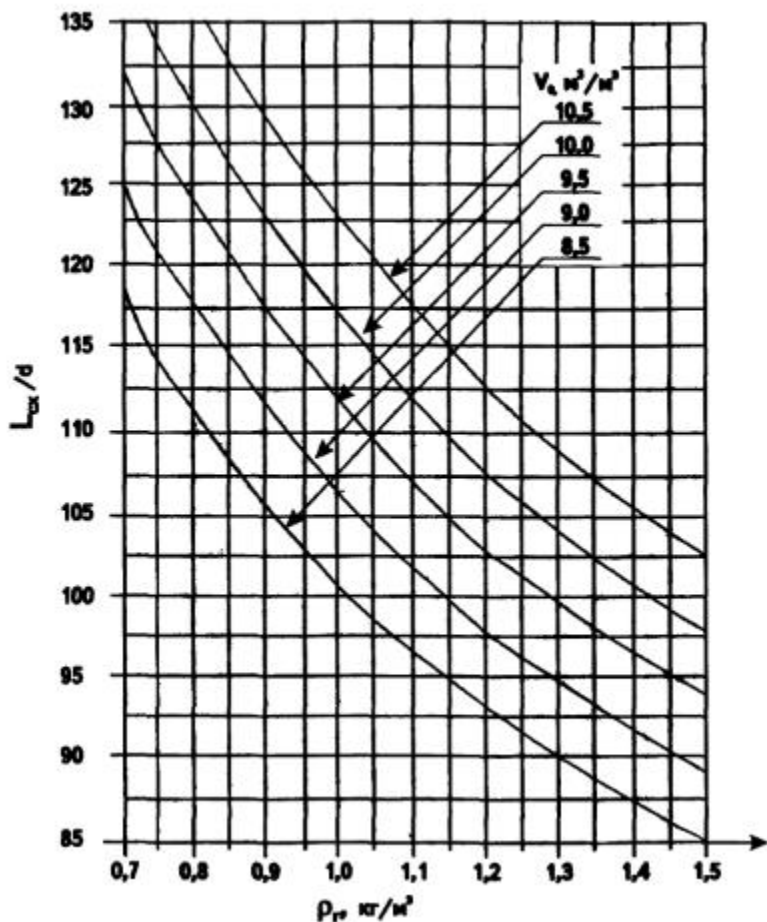
коэффициент непрозрачности дыма 40-60%, среднедымящие: $177 \cdot 10^{-6}$ килограмм/кубические метры;

коэффициент непрозрачности дыма 60-100%, сильнодымящие: $274 \cdot 10^{-6}$ килограмм/кубические метры.

Приложение 2
к Методике расчета выбросов
загрязняющих веществ
от факельных установок
газохимических комплексов

Номограмма (L/D)

Номограмма для нахождения отношения стехиометрической длины факела к диаметру выходного сопла ($L_{сх}/d$) при заданных значениях плотности сжигаемой смеси (ρ) и теоретического удельного расхода воздуха (V_0).



Проверка соблюдения условий беспламенного горения

Для проверки условий беспламенного горения рассчитываются следующие параметры

:

Скорость истечения сжигаемой смеси ($W_{ист}$) по формуле:

$$W_{ист} = \frac{1,27 \cdot B}{d^2},$$

метры/секунды, где:

B – объемный расход факельного газа, кубические метры/секунды;

d – диаметр выходного сопла факела, метры.

Скорость распространения звука в сжигаемой смеси ($W_{зв}$) по формуле:

$$W_{зв} = 91,5 * \left[k * \frac{T_0 + 273}{m} \right]^{0,5},$$

метры/секунды, где:

k – показатель адиабаты;

T_0 – температура факельного газа, °C (градусов Цельсия);

m – молярная масса, килограмм/киломоляр.

Показатель адиабаты для газовых смесей принимается равным 1,3.

Температура сжигаемой смеси (T_0) определяется по результатам лабораторных измерений.

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

Приложение 4

Удельная теплота сгорания веществ

Компонентный состав сжигаемого газа:		Удельная теплота сгорания
Наименование	Формула	килокалорий/килограмм
Метан	CH_4	11957
Этан	C_2H_6	11355
Пропан	C_3H_8	11073
Изобутан	$i-C_4H_{10}$	10889
н-Бутан	$n-C_4H_{10}$	10927

2-Метилбутан	C_5H_{12}	10815
н-Гексан	C_6H_{14}	10779
Пропилен	C_3H_6	10939
н-Гептан	C_7H_{16}	10736
Этилмеркаптан	C_2H_6S	6680
Сероводород	H_2S	3633
н-Пентан	C_5H_{12}	10839
н-Октан	C_8H_{18}	10702
н-Нонан	C_9H_{20}	10679
н-Декан	$C_{10}H_{22}$	10659
Этилен	C_2H_4	11271
Бутен	C_4H_8	10822
2-Метилпропен	$(CH_3)_2C=CH_2$	10753
Пентен	C_5H_{10}	10753
Пропадиен	C_3H_4	11066
Ацителен	C_2H_2	11539
Циклопентан	C_5H_{10}	10561
Циклогексан	C_6H_{12}	10475
Бензол	C_6H_6	9696
Толуол	$C_6H_5CH_3$	9785
Метанол	CH_3OH	5043
Азот	N_2	0
Вода	H_2O	0
Водород	H_2	28668
Моноксид углерода	CO	2414
Диоксид углерода	CO_2	0
Метилмеркаптан	CH_4S	5719
Сероводород	H_2S	3633
Общая сера	S	3466

Приложение 5
к Методике расчета выбросов
загрязняющих веществ
от факельных установок
газохимических комплексов

Примеры расчетов

Исходные данные для определения основных параметров для расчета выбросов загрязняющих веществ от факельных установок газохимических комплексов даны в таблице ниже. Это компонентный состав факельного газа, содержание, удельная теплота сгорания и молекулярная масса компонентов. А также известны плотность газа ρ (1,21 килограмм/кубические метры), время работы t (8760 часы/год), массовый расход G (0,278 килограмм/секунды) и полнота горения факельного газа η (0,9984), объемный расход V (0,23 кубические метры/секунды), диаметр выходного сопла факела d (1,12 метры). В таблице ниже представлен компонентный состав сжигаемого газа, применяемый в примере расчета.

Компонентный состав сжигаемого газа

Поток сжигаемого газа на факела					
Компонентный состав сжигаемого газа:		Удельная теплота сгорания	Молекулярная масса	Содержание	
Наименование	Формула	килокалорий/килограмм	килограмм/киломоль	% (процент) по объему	% (процент) по массе
Азот	N_2	0,000	28,0	97,61%	97,13%
Вода	H_2O	0,000	18,0	0,81%	0,52%
Пропилен	C_3H_6	10939	42,1	1,57%	2,35%

Состав и свойства газа не являются общеприменимыми, представлены в качестве примера расчета для объектов газохимических производств.

Удельная теплота сгорания факельного газа рассчитывается как:

$$NHV = 0,01 * \sum_{i=1}^n (x_i * NHV_i) = 0,01 * (10939 * 1,57 + 0 * 97,61 + 0 * 0,81) = 171,97 \text{ килокалорий/килограмм}$$

Мощность выброса углеводородов в пересчете на метан, оксида углерода, окислов азота и сажи (коэффициент непрозрачности дыма 0-20%) M (грамм/секунды) от факельных установок сжигания факельного газа определяется как:

$$M(\text{метан}) = 1000 * F * G * NHV = 1000 * 0,25 * 10^{-6} * 0,278 * 171,97 = 0,0119 \text{ грамм/секунды}$$

$$M(\text{окислы азота}) = 1000 * F * G * NHV = 1000 * 0,12 * 10^{-6} * 0,278 * 171,97 = 0,0057 \text{ грамм/секунды}$$

$$M(\text{оксид углерода}) = 1000 * F * G * NHV = 1000 * 0,56 * 10^{-6} * 0,278 * 171,97 = 0,0268 \text{ грамм/секунды}$$

$$M(\text{сажи}) = 1000 * F(\text{сажи}) * V_{\Gamma} = 1000 * 0 * 0,23 = 0 \text{ грамм/секунды}$$

Валовый выброс i -го загрязняющего вещества Π_i (тонн/год) от факельных установок сжигания факельного газа выражается как:

$$\Pi(\text{метан}) = 0,0036 * t * M_i = 0,0036 * 8760 * 0,0119 = 0,377 \text{ тонн/год}$$

$$П (\text{окислы азота}) = 0,0036 * t * M_i = 0,0036 * 8760 * 0,0057 = 0,181 \text{ тонн/год}$$

$$П (\text{оксид углерода}) = 0,0036 * t * M_i = 0,0036 * 8760 * 0,0268 = 0,844 \text{ тонн/год}$$

$$П (\text{сажи}) = 0,0036 * t * M_i = 0,0036 * 8760 * 0 = 0 \text{ тонн/год}$$

Молярная масса факельного газа определяется по выражению:

$$m = 0,01 * \sum_{i=1}^n (x_i * m_i) = 0,01(28 * 97,61 + 18 * 0,81 + 42,1 * 1,57) = 28,15 \text{ килограмм/киломоль}$$

Низшая теплота сгорания газовых и газоконденсатных смесей (Q_H) определяется по результатам лабораторных измерений или рассчитывается по эмпирической формуле для углеводородных газов:

$$Q_H = 25,8x_{H_2} + 30,2x_{CO} + 85,6x_{CH_4} + 152,3x_{C_2H_6} + 218,0x_{C_3H_8} + 283,4x_{C_4H_{10}} + 348,9x_{C_5H_{12}} + 133,8x_{C_2H_2} + 141,1x_{C_2H_4} + 205,4x_{C_3H_6} + 271,1x_{C_4H_8} + 330,6x_{C_5H_{10}} + 335,3x_{C_6H_6} + 55,9x_{H_2S} = 205,4 * 2,35 + 0 = 482,69 \text{ килокалорий/кубические метры}$$

Доля энергии e , теряемая за счет излучения, принимается для природного газа, газовых и газоконденсатных смесей по формуле:

$$e = 0,048 * \sqrt{m} = 0,048 * (28,15)^{0,5} = 0,255$$

Параметр V_0 вычисляется по формуле:

$$V_0 = 0,0476 * \{1,5w_{H_2S} + (\sum_{i=1}^n (y_1 + \frac{y_2}{4}) * w_{C_{y_1}H_{y_2}}) - w_{O_2}\} = 0,0476 (1,5 * 0 + ((2 + \frac{6}{4}) * 2,35) - 0) = 0,337 \frac{\text{кубические метры}}{\text{кубические метры}}$$

Объем газовой смеси, полученное при сжигании 1 кубического метра факельного газа кубические метры/кубические метры, рассчитывается по формуле:

$$V_{пс} = 1 + \alpha * V_0 = 1 + 1 * 0,337 = 1,337 \frac{\text{кубические метры}}{\text{кубические метры}}$$

При теплоемкости газовой смеси (продуктов сгорания) для газовой смеси $c_{пс} = 0,4$ (килокалорий/кубические метры \cdot °C (градусов Цельсия)), ориентировочная температура горения T_G (°C (градусов Цельсия)) смеси вычисляется по формуле:

$$T_G = T_0 + \frac{Q_H * (1 - e) * n}{V_{пс} * c_{пс}} = 20 + \frac{482,69 * (1 - 0,255) * 0,9984}{1,337 * 0,4} = 691,76 \text{ °C (градусов Цельсия)}$$

Используя данные из таблицы 1, можно сделать вывод о том, что ориентировочная теплоемкость газа была выбрана неправильно, так как ориентировочная температура продуктов сгорания не входит в диапазон, указанный в таблице для $c_{пс} = 0,4$. В этом случае выбирается новое ориентировочное значение для теплоемкости продуктов сгорания (0,35 для температуры смеси 691,76°C (градусов Цельсия)) и расчет повторяется.

$$T_{г} = T_0 + \frac{Q_{н*(1-e)*n}}{V_{пс}*c_{пс}} = 20 + \frac{482,69*(1-0,255)*0,9984}{1,337*0,35} = 787,73 \text{ } ^\circ\text{C (градусов Цельсия)}$$

В этом случае можно сделать вывод о том, что ориентировочная теплоемкость газа была выбрана правильно, так как ориентировочная температура продуктов сгорания (787,73°C (градусов Цельсия)) входит в диапазон, указанный в таблице для $c_{пс} = 0,35$.

Расход выбрасываемой в атмосферу газовой смеси V_1 (кубические метры/секунды) рассчитывается по формуле:

$$V_1 = B * V_{пс} * \frac{273 + T_{г}}{273} = 0,23 * 1,337 * \frac{273 + 787,73}{273} = 1,19 \text{ кубические метры/секунды}$$

Скорость истечения сжигаемого факельного газа рассчитывается как:

$$W_{ист} = \frac{1,27 * B}{d^2} = \frac{1,27 * 0,23}{(1,12)^2} = 0,233 \text{ метры/секунды}$$

$$W_{зв} = 91,5 * \left[k * \frac{T_0 + 273}{m} \right]^{0,5} = 91,5 * \left(1,3 * \frac{20 + 273}{28,15} \right)^{0,5} = 336,58 \text{ метры/секунды}$$

$$\frac{W_{ист}}{W_{зв}} = \frac{0,233}{336,58} = 6,9 * 10^{-4}$$

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

$$L_{ф} = 15d = 15 * 1,12 = 16,8 \text{ метры}$$

Высота источника выброса загрязняющих веществ в атмосферу от высотных факельных установок сжигания факельного газа рассчитывается как:

$$H = L_{ф} + h_{в} = 16,8 + 95 = 111,8 \text{ метры}$$

Диаметр факела (D_{ϕ}) при сжигании факельного газа на высотных факельных установках вычисляется по формуле:

$$D_{\phi} = 0,14 * L_{\phi} + 0,49 * d = 0,14 * 16,8 + 0,49 * 1,12 = 2,9 \text{ метры}$$

Средняя скорость поступления в атмосферу газоздушнoй смеси (W_0) метры/секунды для высотных факельных установок рассчитывается как:

$$W_0 = \frac{1,27 * V_1}{D_{\phi}^2} = \frac{1,27 * 1,19}{(2,9)^2} = 0,18 \text{ метры/секунды}$$