

Титульный лист методических
рекомендаций и указаний



Форма
Ф СО ПГУ 7.18.3/40

Министерство образования и науки Республики Казахстан
Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова
Кафедра теплоэнергетики

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И УКАЗАНИЯ
к курсовой работе по дисциплине
«Специальные вопросы сжигания топлива»
для студентов специальности 5В071700,
050717 Теплоэнергетика

Павлодар

Лист утверждения методических
рекомендаций и указаний



Форма
Ф СО ПГУ 7.18.3/41

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по УР

_____ Пфейфер Н.Э.

«___» _____ 201__ г.

Составитель: _____ к.т.н., доцент Баубеков К.Т.

Кафедра теплоэнергетики

Методические рекомендации и указания

к курсовой работе по дисциплине «Специальные вопросы сжигания
топлива» для студентов специальности -
5В071700, 050717 Теплоэнергетика

Рекомендована на заседании кафедры «___» _____ 201 г.

Протокол №__

Заведующий кафедрой _____ С.А. Глазырин «___» _____ 201 г.

Одобрена учебно-методическим советом энергетического факультета
«___» _____ 201__ г. Протокол №__

Председатель УМС _____ Кабдуалиева М.М. «___» _____ 201__ г.

СОГЛАСОВАНО

Декан энергетического факультета _____ А.П. Кислов

«___» _____ 201__ г.

ОДОБРЕНО:

Начальник ОПиМОУП _____ Варакута А.А.

«___» _____ 201__ г.

Одобрена учебно-методическим советом университета

«___» _____ 201__ г. Протокол №__

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания составлены в соответствии с рабочей программой по курсу «Спецвопросы сжигания топлива» для студентов специальностей 050717 «Теплоэнергетика» и предназначены для закрепления теоретических знаний по лекционным занятиям.

Согласно рабочей учебной программы:

- в результате усвоения объема теоретических положений и проблем **студенты должны уметь:** рассчитывать основные параметры и режимы работы сожигательных устройств при сжигании газообразного, жидкого и твердого топлива.

- в результате изучения курса **студенты должны владеть:** методикой расчётов тепловых и конструктивных параметров сожигательных устройств, методикой выбора оптимальных типов горелок и форсунок.

Методические указания содержат методику расчета некоторых видов сожигательных устройств, а также примеры данных расчетов.

Материал курса изучают по основному учебнику. Для более подробного и глубокого изучения отдельных вопросов и в помощь при решении задач рекомендуется дополнительная литература. При самостоятельной работе необходимо добиваться отчетливого представления о физической сущности изучаемых явлений и процессов.

1 Расчет основных размеров горелок без предварительного смешения

1.1 Расчет горелок

Расчет горелок без предварительного смешения (рисунок 1) состоит в определении проходных сечений газа – d_g , для воздуха – $d_{кор}$, и для газа газозвоздушной смеси $d_{нг}$. или в определении пропускной способности горелки (расходы газа, воздуха и смеси) при известных геометрических размерах.

Обычно при расчете бывают заданы:

параметры газа ($Q_{нг}^p, \rho_{ог}, t_g, p_g$);

параметры воздуха (T_B, p_B);

пропускная способность горелки по газу $V_{ог}$.

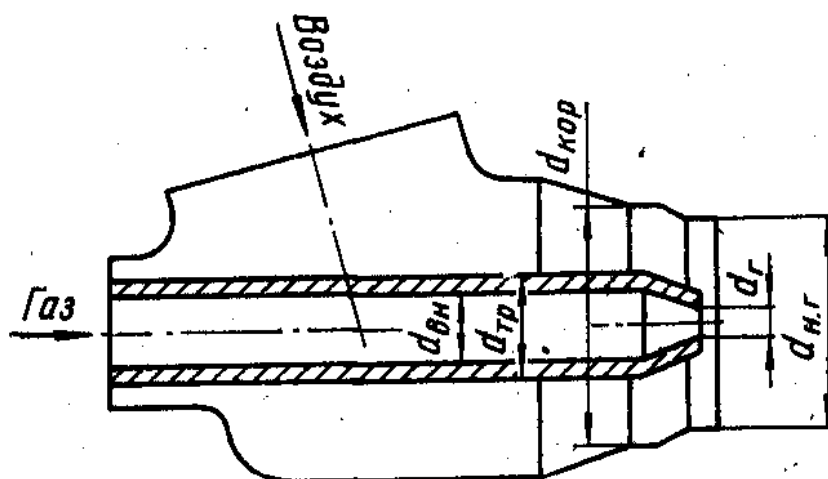


Рисунок 1 – Расчетная схема горелки без предварительного смешения

1.1.1 Количество воздуха $V_{ов}$ которое нужно для сжигания данного объема газа можно определить по формуле

$$V_{ОВ} = \alpha \cdot L_0 \cdot V_{ог}, м^3 / с , \quad (1.1),$$

где α – коэффициент расхода воздуха, $\alpha > 1,1 \div 1,5$;

L_0 – стехиометрическое количество воздуха на единицу объема газа (при $\alpha = 1,0$). Определяется из таблиц.

1.1.2 Так как в горелке поступает воздух и газ низкого давления, то в расчетах их можно считать несжимаемыми. Поэтому скорость

газа или воздуха на выходе можно определить по формуле

$$w_o = \sqrt{\frac{2T_o \cdot p}{\xi \cdot \rho_o \cdot T}}, \text{ м/с} \quad (1.2),$$

где ξ - коэффициент сопротивления горелки, отнесенный к скорости в самом узком сечении; для газа $\xi_{\Gamma} = 1,5$, для воздуха $\xi_{\text{в}} = 1,0$.

Таким образом, скорость газа

$$w_{O\Gamma} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_o \cdot P_{\Gamma}}{\xi_{\Gamma} \cdot \rho_{O\Gamma} \cdot T_{\Gamma}}}, \text{ м/с} . \quad (1.2 \text{ а})$$

1.1.3 Скорость воздуха на выходе

$$w_{OB} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_o \cdot P_B}{\xi_B \cdot \rho_{OB} \cdot T_B}}, \text{ м/с} . \quad (1.3)$$

1.1.4 Площадь выходного сечения:
для газа

$$F_{\Gamma} = \frac{V_{O\Gamma} \cdot 10^6}{\omega_{O\Gamma}}, \text{ мм}^2 \quad (1.4),$$

для воздуха

$$F_B = \frac{V_{OB} \cdot 10^6}{\omega_{OB}}, \text{ мм}^2 . \quad (1.5)$$

1.1.5 Зная площади F , можно найти диаметры горелочного туннеля d_{Γ} и коридора для воздуха $d_{\text{кор}}$

$$d_{\Gamma} = \sqrt{\frac{F_{\Gamma}}{0,785}}, \text{ мм} , \quad (1.6),$$

$$d_{\text{КОР}} = \sqrt{\frac{F_B}{0,785 + d_{TP}^2}}, \text{ мм} . \quad (1.7)$$

1.1.6 Действительные скорости на выходе из горелки

$$\omega_{\Gamma} = \frac{\omega_{O\Gamma} \cdot T_{\Gamma}}{T_O}, \text{ м/с} \quad (1.8),$$

$$\omega_B = \frac{\omega_{OB} \cdot T_B}{T_O}, \text{ м/с} \quad (1.9)$$

1.1.7 Диаметр носика горелки

$$d_H = d_{КОР} + d_{\Gamma}, \text{ мм} . \quad (1.10)$$

Расчеты и опыт работы показывают, что скорость истечения газа не должно превышать 80-100 м/с.

Действительная скорость воздуха должна быть меньше скорости газа примерно в два раза, для сокращения длины факела, но не более чем 3-4 раза. Для получения длинного факела скорость воздуха и газа можно принимать одинаковыми. Скорость смеси в носике горелки при максимальном расходе газа и воздуха может быть 25-30 м/с.

Этот расчет производится, если известно расход газа и параметры газа и воздуха с целью определение геометрических размеров горелки.

Если, наоборот, известны геометрические размеры горелки и надо определить ее пропускную способность ($V_{ов}$, $V_{ог}$) тогда:

1. Определяем скорость по формуле (2).

2. Определяем расход по формуле (3).

Замечание: если давление газа и воздуха не известны, то скорости газа и воздуха можно взять из таблицы 1.

1.2 Пример расчета горелки

Расчитать горелку типа «труба в трубе» для сжигания объемов $V_{ог}=0,0085 \text{ м}^3/\text{с}$ природного газа с теплотой сгорания $Q_H^p=34 \text{ МДж/м}^3$. Давления газа перед горелками $P_{\Gamma}=5,3 \text{ кПа}$, $P_B=0,5 \text{ кПа}$, $t_{\Gamma}=20^{\circ}\text{C}$. Воздух подогрет до 400°C , коэффициент расхода воздуха $\alpha=1,1$; плотность $\rho_{ог}=0,82 \text{ кг/м}^3$; $L_o=9,01 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $\rho_B=1,29 \text{ кг/м}^3$.

1.2.1 Необходимое количество воздуха

$$V_{OB} = \alpha \cdot L_O \cdot V_{O\Gamma} = 0,0085 \cdot 9,01 \cdot 1,1 = 0,0842 \text{ м}^3/\text{с} .$$

Таблица 1 - Рекомендуемые скорости для горелок типа «труба в трубе»

Характерное место	Рекомендуемая скорость, м/с		
	воздух	газ	смесь
Трубопровод перед горелкой	8-10	10-15	
Входные сечения горелки: при избытке давления	18-20	18-20	
при недостатке давления	5-7	5-7	
Газовое сопло до выходного сечения	-	20-25	
Газовое сопло в выходном сечении		80-100	
Носик горелки: максимальная	-	-	25-30
минимальная	-	-	4-5

1.2.2 Скорость газа

$$w_{OG} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_O \cdot P_{\Gamma}}{\xi_{\Gamma} \cdot \rho_{OG} \cdot T_{\Gamma}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 273 \cdot 5,3 \cdot 10^3}{1,5 \cdot 0,82 \cdot 293}} = 89,6 \text{ м/с} .$$

1.2.3 Скорость воздуха на выходе

$$w_{OB} = \sqrt{\frac{2 \cdot T_O \cdot P_B}{\xi_B \cdot \rho_{OB} \cdot T_B}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 273 \cdot 0,5 \cdot 10^3}{1 \cdot 1,29 \cdot 673}} = 17,7 \text{ м/с} .$$

1.2.4 Площадь выходного сечения для газа

$$F_{\Gamma} = \frac{V_{OG} \cdot 10^6}{w_{OG}} = \frac{0,0085 \cdot 10^6}{89,6} = 94,866 \text{ мм}^2$$

1.2.5 Площадь выходного сечения для воздуха

$$F_B = \frac{V_{OB} \cdot 10^6}{w_{OB}} = \frac{0,0842 \cdot 10^6}{17,7} = 4757,06 \text{ мм}^2$$

1.2.6 Диаметр газового сопла

$$d_{\Gamma} = \sqrt{\frac{F_{\Gamma}}{0,785}} = \sqrt{\frac{94,866}{0,785}} = 11 \text{ мм.}$$

1.2.7 Диаметр коридора

$$d_{\text{КОР}} = \sqrt{\frac{F_B}{0,785} + d_{\text{ТР}}^2} = \sqrt{\frac{4757,06}{0,785} + 35^2} = 85,35 \text{ мм.}$$

1.2.8 Скорость газа на выходе

$$w_{\Gamma} = w_{\text{ОГ}} \cdot \frac{T_{\Gamma}}{T_{\text{ОГ}}} = 89,6 \cdot \frac{293}{273} = 96,164 \text{ м/с.}$$

1.2.9 Скорость воздуха

$$w_B = w_{\text{ОВ}} \cdot \frac{T_B}{T_{\text{ОВ}}} = 17,7 \cdot \frac{673}{273} = 43,634 \text{ м/с.}$$

1.2.10 Диаметр носика горелки

$$d_{\text{НГ}} = d_{\text{КОР}} + d_{\Gamma} = 85,35 + 10,99 = 96,3 \text{ мм.}$$

1.2.11 Соотношение скоростей

$$\frac{\omega_{\Gamma}}{\omega_B} = \frac{96,16}{43,63} = 2,2$$

1.2.12 Общий расход

$$V = V_{\text{ОГ}} + V_{\text{ОВ}} = 0,0085 + 0,0842 = 0,093 \text{ м}^3 / \text{с}$$

2 Расчет инжекционных горелок

2.1 Расчет горелок

Горелки с предварительным смешением представляют собой горелки, в которых газ полностью смешиваются с воздухом и эта смесь сгорает при выходе из горелки или сгорает внутри горелки. Самыми распространенными горелками с предварительным смешением являются инжекционные горелки.

При расчете обычно бывают заданы:

параметры газа ($Q_{нг}^p, \rho_{ог}, t_{г}, p_{г}$);

параметры воздуха ($T_B, p_B, \rho_{ОВ}$);

пропускная способность горелки по газу $V_{ог}$;

коэффициент расхода воздуха;

противодавление – сумма давления в топке и сопротивления на пути подсасываемого воздуха Δp_B .

Расчет инжекционных горелок основан на уравнении количества движения и основных уравнений истечения газа. Различают методы расчета для:

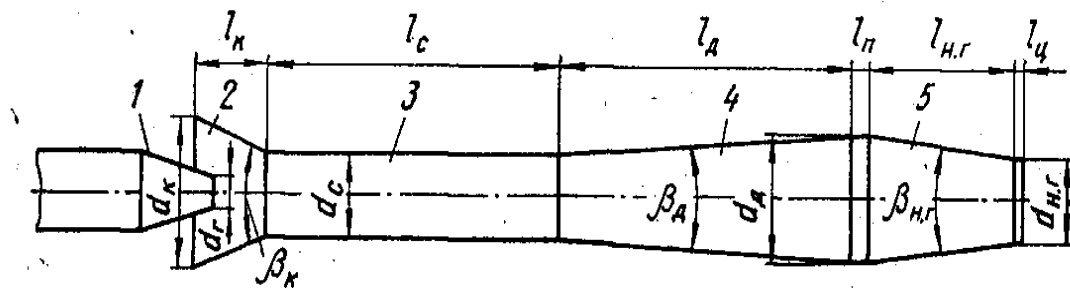
газа низкого давления (< 20 кПа);

газа докритического давления (< 90 кПа);

газа сверхкритического давления (> 90 кПа).

Цель расчета: определение конструктивных размеров форсунки.

Схема расчета представлена на рисунке 2.



1-газовое сопло; 2-входной конфузор; 3-смеситель; 4-диффузор; 5-носик горелки

Рисунок 2 – Расчетная схема инжекционной горелки

2.1.1 Теоретическая скорость истечения газа из сопла:
для газа низкого давления (< 20 кПа)

$$w_{OГ} = \varphi \sqrt{\frac{2 \cdot T_o \cdot P_{Г}}{\rho_{OГ} \cdot T_{Г} \cdot P_o}} \cdot p_{Г}, м/с \quad (2.1),$$

где $P_{Г}$ – абсолютное давление газа, Па; $p_{Г}$ - избыточное давление, Па;

для газа докритического давления (< 90 кПа)

$$w_{OГ} = 2,944 \cdot \varphi \cdot P_{Г} \sqrt{\frac{T_o}{\rho_{OГ} T_{Г} P_o} \left[\left(\frac{P_o}{P_{Г}} \right)^{1,54} - \left(\frac{P_o}{P_{Г}} \right)^{1,77} \right]}, м/с \quad (2.2)$$

По этим формулам построены графики (Рисунок Б1, приложение Б) по которому можно определить скорость истечения газов в зависимости от давления $p_{Г}$.

Для газа сверхкритического давления (>90 кПа)

$$w_{OГ} = 0,667 \cdot \varphi \cdot P_{Г} \sqrt{\frac{T_o}{\rho_{OГ} T_{Г} P_o}}, м/с. \quad (2.3)$$

2.1.2 Диаметр газового сопла

$$d_{Г} = \sqrt{\frac{V_{OГ} \cdot 10^6}{0,785 \cdot \omega_{OГ}}}, мм. \quad (2.4)$$

2.1.3 Оптимальное соотношение площадей смесителя f_c и газового сопла $f_{Г}$ можно найти из соотношения

$$F_1 = \frac{f_c}{f_{Г}} = A \cdot [B \cdot m \cdot n - C(m-1)(n-1)], мм^2 \quad (2.5),$$

где A можно определить по (2.6) или из таблиц по значению отношения $P_o/P_{Г}$ (Таблица А1, приложение А), или по номограмме (рисунок А1, приложение А)

$$A = \frac{0,277}{\sqrt{\left(\frac{P_o}{P_{Г}} \right)^{1,54} - \left(\frac{P_o}{P_{Г}} \right)^{1,77}}} \quad (2.6)$$

Объемную кратность инжекции m (отношение объема смеси к объему газа после истечения) определим по формуле

$$m = 1 + \alpha \cdot L_o \frac{T_B}{T_\Gamma} \left(\frac{P_o}{P_\Gamma} \right)^{-0,23} \quad (2.7),$$

где L_o – стехиометрическое количество воздуха.

Массовая инжекция n (отношение массы смеси к массе газа)

$$n = 1 + \alpha \cdot L_o \frac{\rho_{OB}}{\rho_{OГ}} \quad (2.8)$$

B – коэффициент, характеризующий сопротивление на пути движения газозвушной смеси в горелке

$$B = 1 + \sum \zeta_C \quad (2.9)$$

C - коэффициент, характеризующий сопротивление на пути движения газозвушной смеси в горелке

$$C = 1 - \sum \zeta_B \quad (2.10)$$

Можно принять $B = 1,15$; $C = 0,425$.

2.1.4 Диаметр смесителя

$$d_C = d_\Gamma \sqrt{F_1} \quad (2.11)$$

2.1.5 Оптимальное соотношение площадей носика горелки $f_{HГ}$ и смесителя f_C можно найти из соотношения

$$F_2 = \frac{f_{HГ}}{f_C} = \sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (1 + \zeta_{HГ}) \cdot \Delta p_C}{F_1 \cdot (\Delta p_C - \Delta p_B - p_{ТОП})}}, \text{мм}^2 \quad (2.12),$$

где $\zeta_{HГ}$ - коэффициент сопротивления носика горелки; $\zeta_{HГ} = 0,2$;
 Δp_C - повышение давления в горелке

$$\Delta p_C = \varphi^2 \cdot \frac{D}{2} \cdot \frac{P_\Gamma}{F_1} \quad (2.13),$$

где $D = 8,67 \left[\left(\frac{P_o}{P_r} \right)^{0,77} - \left(\frac{P_o}{P_r} \right) \right]$ - при докритическом давлении;

$D = 1,98 \sqrt{1 - \left(\frac{P_o}{P_r} \right)^{0,23}}$ - при сверхкритическом давлении.

Коэффициент D также можно определить из таблицы А1 по величине отношения P_o/P_r . При давлении $p < 20$ кПа можно принять

$$\Delta P_C = \varphi^2 \cdot \frac{P_r}{F_1} \quad (2.14)$$

При отсутствии противодействия ($\Delta p_B + \Delta p_{\text{топ}} = 0$) формула упрощается

$$F_2 = \sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (1 + \zeta_{HG})}{F_1}}, \text{мм}^2 \quad (2.15)$$

2.1.6 Диаметр носика горелки

$$d_{HG} = d_C \sqrt{F_2}, \text{мм} \quad (2.16)$$

Остальные конструктивные размеры инжекционной горелки определяются из экспериментально найденных соотношений:

2.1.7 Длина смесителя равна длине диффузора

$$l_c = l_d = (4 \div 6) d_c, \text{мм} \quad (2.17)$$

2.1.8 Длина конфузора

$$l_k = (0,5 \div 1,5) d_c, \text{мм} \quad (2.18)$$

2.1.9 Угол сужения входного конфузора принимаем $\beta_k = 30 \div 45$.

2.1.10 Угол раскрытия диффузора принимаем $\beta_d = 6 \div 9$.

2.1.11 Начальный диаметр входного конфузора

$$d_k = d_c + 2l_k \cdot \text{tg}(\beta_k / 2), \text{мм} \quad (2.19)$$

2.1.12 Конечный диаметр диффузора

$$d_{\delta} = d_c + 2l_{\delta} \cdot \operatorname{tg}(\beta_{\delta} / 2), \text{ мм} \quad (2.20)$$

2.1.13 Угол сужения носика горелки принимаем $\beta_{HG} = 12 \div 15$.

2.1.14 Длина носика горелки

$$l_{HG} = \frac{d_c - d_{HG}}{2 \operatorname{tg} \frac{\beta_{HG}}{2}}, \text{ мм} \quad (2.21)$$

2.1.15 Скорость истечения смеси из носика горелки

$$w_{HG} = \frac{V_{OG} (1 + \alpha L_o) \cdot T_{CM} \cdot 10^6}{0,785 d_{HG}^2 \cdot T_o}, \text{ м/с} \quad (2.22)$$

2.1.16 Температура смеси

$$T_{CM} = \frac{T_G + T_B (m - 1)}{m} \quad (2.23)$$

2.2 Пример расчета горелки

Рассчитать инжекционную горелку для сжигания газа с низкой теплотой сгорания $35,27 \text{ мДж/м}^3$. Избыточное давление газа 19 кПа . Объем газа $V = 0,011 \text{ м}^3/\text{с}$. Газ и воздух холодный с температурой 20°C . Коэффициент расхода воздуха $\alpha = 1,07$. Избыточное давление печи 32 Па . Теоретическое количество воздуха необходимого для горения $9,97 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Плотность газа $0,77 \text{ кг/м}^3$. Плотность воздуха $1,29 \text{ кг/м}^3$.

2.2.1 Теоретическая скорость газа

$$\omega_{OG} = \varphi \sqrt{\frac{2 \cdot T_o \cdot P_G}{\rho_{OG} \cdot T_G \cdot P_o} \cdot P_G} = 0,85 \sqrt{\frac{2 \cdot 273 \cdot 122,3 \cdot 10^3}{0,77 \cdot 293 \cdot 103,3 \cdot 10^3} \cdot 79 \cdot 10^3} = 198,32 \text{ м/с}$$

2.2.2 Диаметр газового сопла

$$d_G = \sqrt{\frac{V_{OG} \cdot 10^6}{0,785 \cdot \omega_{OG}}} = \sqrt{\frac{0,011 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 198,32}} = 8,41 \text{ мм}$$

2.2.3 Объемная кратность инжекции

$$m = 1 + \alpha \cdot L_o \frac{T_B}{T_\Gamma} \left(\frac{P_o}{P_\Gamma} \right)^{-0,23} = 1 + 1,07 \cdot 9,97 \cdot \frac{293}{293} \left(\frac{103,3}{122,3} \right)^{-0,23} = 12,1$$

2.2.4 Массовая инжекция n (отношение массы смеси к массе газа)

$$n = 1 + \alpha \cdot L_o \frac{\rho_{OB}}{\rho_{OГ}} = 1 + 1,07 \cdot 9,97 \cdot \frac{1,29}{0,77} = 18,87$$

2.2.5 Оптимальное соотношение площадей смесителя f_c и газового сопла f_Γ

$$F_1 = \frac{f_c}{f_\Gamma} = A \cdot [B \cdot m \cdot n - C(m-1)(n-1)] = 1 \cdot [1,2 \cdot 12,1 \cdot 18,9 - 0,8(12,1-1) \cdot (18,9-1)] = 115,5 \text{ мм}^2,$$

где $A = 1$; $\sum \zeta = 0,2$; $B = 1 + \sum \zeta_C = 1,2$; $C = 1 - \sum \zeta_B = 0,8$.

2.2.6 Диаметр смесителя

$$d_c = d_\Gamma \sqrt{F_1} = 8,4 \sqrt{115,5} = 90,27 \text{ мм}$$

2.2.7 Повышение давления в горелке для докритического давления ($p < 20$ кПа)

$$\Delta P_C = \varphi^2 \cdot \frac{P_\Gamma}{F_1} = 0,85^2 \cdot \frac{122,3 \cdot 10^3}{115,5} = 765,04 \text{ Па}$$

2.2.8 Оптимальное соотношение площадей носика горелки и смесителя

$$F_2 = \frac{f_{HG}}{f_c} = \sqrt{\frac{m \cdot n \cdot (1 + \zeta_{HG}) \cdot \Delta p_C}{F_1 \cdot (\Delta p_C - \Delta p_B - p_{TOP})}} = \sqrt{\frac{12,1 \cdot 18,9 \cdot 1,2 \cdot 765,06}{115,5 \cdot (765,1 - 32)}} = 1,575 \text{ мм}^2,$$

где ζ_{HG} - коэффициент сопротивления носика горелки; $\zeta_{HG} = 0,2$;

2.2.9 Диаметр носика горелки

$$d_{HG} = d_c \sqrt{F_2} = 90,3 \cdot \sqrt{1,575} = 113,31 \text{ мм}$$

2.2.10 Длина смесителя равна длине диффузора

$$l_c = l_\delta = (4 \div 6) d_c = 5 \cdot 90,3 = 451,5 \text{ мм}$$

2.2.11 Длина конфузора

$$l_k = (0,5 \div 1,5) d_c = 0,75 \cdot 90,3 = 67,73 \text{ мм}$$

2.2.12 Угол сужения входного конфузора принимаем $\beta_k = 38^\circ$.

2.2.13 Угол раскрытия диффузора принимаем $\beta_\delta = 7^\circ$.

2.2.14 Начальный диаметр входного конфузора

$$d_k = d_c + 2l_k \cdot \text{tg}(\beta_k / 2) = 90,3 + 135,4 \cdot \text{tg}(38/2) = 136,9 \text{ мм}$$

2.2.15 Конечный диаметр диффузора

$$d_\delta = d_c + 2l_\delta \cdot \text{tg}(\beta_\delta / 2), \text{ мм}$$

2.2.16 Угол сужения носика горелки принимаем $\beta_{HG} = 14^\circ$.

2.2.17 Длина носика горелки

$$l_{HG} = \frac{d_c - d_{HG}}{2 \text{tg} \frac{\beta_{HG}}{2}} = \frac{145,5 - 113,3}{2 \text{tg} \frac{14}{2}} = 131,12 \text{ мм}$$

2.2.18 Скорость истечения смеси из носика горелки

$$w_{HG} = \frac{V_{OG} (1 + \alpha L_o) \cdot T_{CM} \cdot 10^6}{0,785 d_{HG}^2 \cdot T_o} = \frac{0,011 (1 + 1,07 \cdot 9,97) \cdot 293 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 12836,9 \cdot 299} = 12,48, \text{ м/с}$$

2.2.19 Температура смеси

$$T_{CM} = \frac{T_\Gamma + T_B (m - 1)}{m} = \frac{293 + 293(12,1 - 1)}{12,1} = 293^\circ \text{ C}.$$

3 Расчет форсунки высокого давления

3.1 Расчет форсунок

Расчет форсунок основан на формулах истечения. Цель расчета: определения проходных сечений для мазута распылителя и воздуха идущего на сгорание. Расчет проходного сечения воздуха идущего на сгорание аналогичен расчету проходного сечения воздуха в горелках без предварительного смешения.

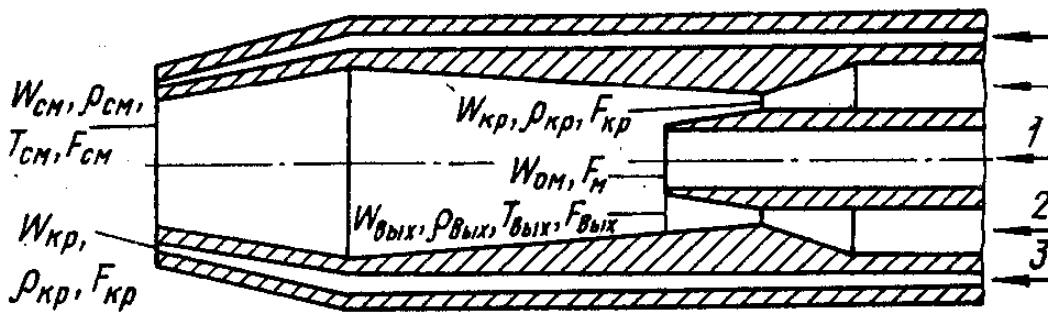
Рассмотрим методику расчета форсунок высокого давления:

3.1.1 Исходные данные:

- а) параметры мазута: давление, температура, плотность;
- б) параметры распылителя: абсолютное давление, температура, плотность;
- в) расход мазута;
- г) расход распылителя (удельный).

3.1.2 Цель расчета: определение конструктивных размеров форсунки.

Схема расчета представлена на рисунке 3.



1- мазут; 2 – распылитель первичный; 3 - распылитель вторичный

Рисунок 3 – Расчетная схема форсунки высокого давления

3.1.3 Порядок расчета:

3.13.1 Скорость истечения мазута из сопла

$$\omega_m = \mu \sqrt{\frac{2 \cdot P_m}{\rho_m}}, \text{ м/с} \quad (3.1),$$

где μ - коэффициент истечения мазута из сопла, $\mu=0,2$;

ρ_m – плотность мазута, $\rho_m=960$ кг/м³.

3.1.3.2 Диаметр мазутного сопла

$$d_m = \sqrt{\frac{B_m \cdot 10^6}{0,785 \cdot \omega_m \cdot \rho_m}}, \text{ мм} \quad (3.2)$$

По этой формуле построен график (Рисунок Б2, приложение Б) по которому можно определить d_m в зависимости от расхода B_m и давления p_m .

Диаметр мазутного сопла d_m должен быть не меньше 3мм (чтобы избежать засорения).

3.1.3.3 Скорость распылителя в критическом (в узком) сечении сопла Лавалья

$$\omega_{окр} = \varphi \cdot M \cdot P_p \sqrt{\frac{T_o}{\rho_{ор} \cdot T_p \cdot P_o}}, \text{ м/с} \quad (3.3),$$

где φ – коэффициент истечения для сопла Лавалья, $\varphi=0,8$;
М-масштаб: для воздуха $M=0,685$; для сухого пара $M=0,635$; для перегретого пара $M=0,667$; $\rho_{ор}$ – плотность распылителя: для воздуха $\rho_{ор}=1,29$ кг/м³; для сухого пара $\rho_{ор}=0,804$; для перегретого пара $\rho_{ор}=0,804$; P_p - абсолютное давление распределителя; T_o – температура окружающей среды, P_o – атмосферное давление.

3.1.3.4 Площадь сечения сопла Лавалья

$$F_{кр} = \frac{B_m \cdot q \cdot 10^6}{\omega_{окр} \cdot \rho_{ор}}, \text{ мм}^2 \quad (3.4)$$

3.1.3.5 Площадь выходного (конечного) сечения сопла Лавалья

$$F_{вых} = F_{кр} \cdot A, \text{ мм}^2 \quad (3.5)$$

где A – коэффициент, который определяется из таблицы А1 (Приложение А) для воздуха или пара по значению их давления.

3.1.4 Расчет смесителя

3.1.4.1 Плотность распылителя, поступающего в смеситель

$$\rho_{\text{вых}} = \rho_{\text{ор}} \cdot \frac{T_{\text{О}}}{T_{\text{Р}}} \cdot \Pi, \text{ кг} / \text{ м}^3 \quad (3.6),$$

где Π – коэффициент, который определяется из таблицы А1 (Приложение А) для воздуха или пара по значению их давления.

3.1.4.2 Скорость распылителя поступающего в смеситель

$$\omega_{\text{вых}} = \frac{B_{\text{М}} \cdot q \cdot 10^6}{F_{\text{вых}} \cdot \rho_{\text{вых}}}, \text{ м} / \text{ с} \quad (3.6 \text{ а})$$

3.1.4.3 Суммарная кинетическая энергия в начальном сечении смесителя, отнесенная к 1кг мазута, складывается из кинетической энергии мазута и распылителя

$$E_{\text{нач}} = \frac{\omega_{\text{М}}^2}{2} + \frac{\omega_{\text{вых}}^2}{2} \cdot q, \text{ Дж} / \text{ кг} \quad (3.7)$$

3.1.4.4 Расход энергии на смешение, отнесенный к 1кг мазута

$$E_{\text{смеш}} = \frac{(\omega_{\text{вых}} - \omega_{\text{М}})^2}{2} \cdot \frac{q}{1+q}, \text{ Дж} / \text{ кг} \quad (3.8)$$

3.1.4.5 Радиус капли распыленного мазута

$$r = \frac{0,275}{\omega_{\text{вых}}^2 \cdot \rho_{\text{вых}}}, \text{ м} \quad (3.9)$$

3.1.4.6 Расход энергии на распыление 1кг мазута

$$E_{\text{расп}} = \frac{3 \cdot \delta}{\rho_{\text{М}} \cdot r} \text{ Дж} / \text{ кг} \quad (3.10),$$

где δ – коэффициент поверхностного натяжения (берется в пределах 0,024-0,033 Н/м).

Кинетическая энергия в выходном сечении смесителя, отнесенная к 1кг мазута

$$E_{\text{кон}} = \frac{E_{\text{нач}} \cdot \eta_{\text{см}} - E_{\text{см}} - E_{\text{расп}}}{\eta_{\text{см}}} \quad (3.11)$$

где $\eta_{\text{см}}$ - к.п.д. смесителя, $\eta_{\text{см}} = 0,8-0,9$.

3.1.4.7 Скорость смеси на выходе

$$\omega_{\text{см}} = \sqrt{\frac{2E_{\text{кон}}}{1+q}}, \text{ м / с} \quad (3.12)$$

3.1.4.8 Температура распылителя, поступающего в смеситель

$$T_{\text{вых}} = T_P / \Pi, \text{ К} \quad (3.13)$$

3.1.4.9 Энтальпия мазута и распылителя, поступающих в смеситель, отнесенная к 1 кг мазута

$$i_{\text{нач}} = c_M \cdot T_M + c_P \cdot T_{\text{вых}} \cdot q, \text{ Дж/кг} \quad (3.14),$$

где c_M – теплоемкость мазута; $c_M = 1880-2050$ Дж/кг·°С;
 c_P - теплоемкость распылителя.

3.1.4.10 Тепло смешения и трения, отнесенное к 1 кг мазута

$$i_n = E_{\text{нач}} - E_{\text{кон}} - E_{\text{расп}}, \text{ Дж / кг} \quad (3.15)$$

3.1.4.11 Температура смеси на выходе

$$T_{\text{см}} = \frac{i_{\text{нач}} + i_n}{c_M + c_P \cdot q}, \text{ К} \quad (3.16)$$

3.1.4.12 Плотность смеси на выходе

$$\rho_{\text{см}} = \rho_{\text{ор}} \frac{T_o}{T_{\text{см}}}, \text{ кг / м}^3 \quad (3.17)$$

3.1.4.13 Площадь смеси на выходе

$$F_M = \frac{B_M \cdot g \cdot 10^6}{\omega_{\text{вых}} \cdot \rho_{\text{см}}}, \text{ мм}^2 \quad (3.18)$$

3.2 Пример расчета форсунки

Рассчитать форсунку высокого давления для сжигания мазута, $B_M = 0,028$ кг/с. Давление мазута перед форсункой $p_M = 200$ кПа, температура $t = 90$ °С. Распылитель - компрессорный воздух по давлением $P_P = 600$ кПа с температурой $t_p = 50$ °С. Удельные расходы первичного и вторичного распылителя одинаковы и равны $q = 0,65$ кг/кг мазута.

3.2.1 Скорость истечения мазута из сопла

$$\omega_M = \mu \sqrt{\frac{2 \cdot P_M}{\rho_M}} = 0,2 \sqrt{\frac{2 \cdot 200000}{960}} = 4,08 \text{ м/с}$$

3.2.2 Диаметр мазутного сопла

$$d_M = \sqrt{\frac{B_M \cdot 10^6}{0,785 \cdot \omega_M \cdot \rho_M}} = \sqrt{\frac{0,028 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 4,08 \cdot 960}} = 3,02 \text{ мм}$$

3.2.3 Скорость распылителя в критическом (в узком) сечении сопла Лавалья

$$\omega_{o_{кр}} = \varphi \cdot M \cdot P_P \sqrt{\frac{T_o}{\rho_{op} \cdot T_P \cdot P_o}} = 0,8 \cdot 0,685 \cdot 600 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{273}{1,29 \cdot 323 \cdot 103300}} = 826,3 \text{ м/с}$$

3.2.4 Площадь сечения сопла Лавалья

$$F_{кр} = \frac{B_M \cdot g \cdot 10^6}{\omega_{o_{кр}} \cdot \rho_{OP}} = \frac{0,028 \cdot 0,65 \cdot 10^6}{826,3 \cdot 1,29} = 17,2 \text{ мм}^2$$

3.2.5 Площадь выходного (конечного) сечения сопла Лавалья

$$F_{\text{вых}} = F_{кр} \cdot A = 17,2 \cdot 1,45 = 24,9 \text{ мм}^2$$

3.2.6 Плотность распылителя, поступающего в смеситель

$$\rho_{\text{вых}} = \rho_{\text{ор}} \cdot \frac{T_o}{T_p} \cdot \Pi = 1,29 \cdot \frac{273}{323} \cdot 1,65 = 1,8$$

3.2.7 Скорость распылителя поступающего в смеситель

$$\omega_{\text{вых}} = \frac{B_M \cdot q \cdot 10^6}{F_{\text{вых}} \cdot \rho_{\text{вых}}} = \frac{0,028 \cdot 0,65 \cdot 10^6}{24,9 \cdot 1,8} = 405,6 \text{ м / с}$$

3.2.8 Суммарная кинетическая энергия в начальном сечении смесителя

$$E_{\text{нач}} = \frac{\omega_M^2}{2} + \frac{\omega_{\text{ВЫХ}}^2}{2} \cdot q = \frac{4,08^2}{2} + \frac{405,6^2}{2} \cdot 0,65 = 53474 \text{ Дж / кг}$$

3.2.9 Расход энергии на смешение

$$E_{\text{смеш}} = \frac{(\omega_{\text{вых}} - \omega_M)^2}{2} \cdot \frac{q}{1+q} = \frac{(405,6 - 4,08)^2}{2} \cdot \frac{0,65}{1+0,65} = 31767 \text{ Дж / кг}$$

3.2.10 Радиус капли распыленного мазута

$$r = \frac{0,275}{\omega_{\text{вых}}^2 \cdot \rho_{\text{вых}}} = \frac{0,275}{405,6^2 \cdot 1,8} = 0,928 \cdot 10^{-6}$$

3.2.11 Расход энергии на распыление 1кг мазута

$$E_{\text{расп}} = \frac{3 \cdot \delta}{\rho_M \cdot r} = \frac{3 \cdot 0,028}{960 \cdot 0,928 \cdot 10^{-6}} = 94 \text{ Дж / кг}$$

3.2.12 Кинетическая энергия в выходном сечении смесителя

$$E_{\text{кон}} = \frac{E_{\text{нач}} \cdot n - E_{\text{см}} - E_{\text{см}}}{n_{\text{см}}} = \frac{53474 \cdot 0,8 - 31767 - 94}{0,8} = 13647 \text{ Дж / кг}$$

3.2.14 Скорость смеси на выходе

$$\omega_{см} = \sqrt{\frac{2E_{кон}}{1 + \varepsilon}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 13647}{1 + 0,65}} = 128,6 м / с$$

3.2.15 Температура распылителя поступающего в смеситель

$$T_{вых} = \frac{T_P}{\Pi} = \frac{323}{1,65} = 196^\circ K (-77^\circ C)$$

3.2.16 Энтальпия мазута и распылителя, поступающих в смеситель

$$i_{нач} = c_m \cdot T_m + c_p \cdot T_{вых} \cdot q = 1960 \cdot 363 + 1000 \cdot 196 \cdot 0,65 = 838880 \text{ Дж} / \text{кг}$$

3.2.17 Тепло смешения и трения, отнесенное к 1 кг мазута

$$i_{\Pi} = E_{нач} - E_{кон} - E_{расп} = 53474 - 13647 - 94 = 39733 \text{ Дж} / \text{кг}$$

3.2.18 Температура смеси на выходе

$$T_{см} = \frac{i_{нач} + i_{\Pi}}{c_m + c_p \cdot q} = \frac{838880 + 39733}{1960 + 1000 \cdot 0,65} = 337 K (64^\circ C)$$

3.2.19 Плотность смеси на выходе

$$\rho_{см} = \rho_{ор} \frac{T_o}{T_{см}} = 1,29 \frac{273}{337} = 1,045 \text{ кг} / \text{м}^3$$

3.2.20 Площадь смеси на выходе

$$F_m = \frac{B_m \cdot q \cdot 10^6}{\omega_{вых} \cdot \rho_{вых}} = \frac{0,028 \cdot 0,65 \cdot 10^6}{128,6 \cdot 1,045} = 135,4 \text{ мм}^2$$

3.2.21 Диаметр выходного сечения смесителя

$$d_{см} = \sqrt{F_{см} / 0,785} = \sqrt{134,4 / 0,785} = 13,1 \text{ мм}$$

Принимается $d_{см} = 13 \text{ мм}$

Литература

1 Маслов В. И., Винтовкин А. А., Дружинин Г. М. Рациональное сжигание газообразного топлива в металлургических агрегатах. – М. : Металлургия, 1987. – 112 с.

2 Спейшер В. А., Горбаненко А. Д. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках. – М. : Энергоатомиздат, 1991. – 184 с.

3 Сожигательные устройства нагревательных и термических печей. Справочник Гусовский В. Л., Лифшиц А. Е., Тымчак М. М. – М. : Металлургия, 1981. – 272 с.

4 Адамов В. А. Сжигание мазута в топках котлов. – Л. : Недра, 1989. – 304 с.

5 Хзмалян Д. М., Каган Я. А. Теория горения и топочные устройства. – М. : Энергия, 1976. – 488 с.

6 Мадоян А. А., Балтен В. Н., Гречаный А. Н. Эффективное сжигание низкосортных углей в энергетических котлах. – М., Энергоатомиздат, 1991. – 199 с.

7 Котлер В. Р. Специальные топки энергетических котлов. – М., Энергоатомиздат. 1990. – 104 с.

8 Иссерлин А. С. Основы сжигания газового топлива. – Л.: Недра, 1987. – 337 с.

9 Горелочные устройства промышленных печей и топок (конструкции и технические характеристики). Справочник. / А. А. Винтовкин, М. Г. Ладыгичев, В. Л. Гусовский, Т. В. Калинова. – М. : "Интермет Инжиниринг", 1999. – 560 с.

Приложение А
(обязательное)

Таблица А.1 - Значения коэффициентов А, П и D

P_e/P_r	Горючие газы, перегретый пар			Воздух		Сухой насыщенный пар	
	А	П	Д	А	П	А	П
0,01	9,6747	2,896	1,5896	8,1161	3,737	13,990	1,699
0,02	5,9574	2,467	1,5149	5,1600	3,057	8,0733	1,568
0,03	4,5148	2,246	1,4634	3,9817	2,723	5,8935	1,497
0,04	3,7224	2,102	1,4225	3,3272	2,509	4,7282	1,448
0,05	3,2131	1,997	1,3880	2,8995	2,353	4,0008	1,411
0,06	2,8558	1,915	1,3578	2,5976	2,234	3,5950	1,382
0,07	2,5874	1,847	1,3306	2,3699	2,138	3,1238	1,358
0,08	2,3793	1,791	1,3059	2,1931	2,058	2,8387	1,337
0,09	2,2122	1,743	1,2829	2,0485	1,990	2,6092	1,319
0,10	2,0749	1,702	1,2615	1,9311	1,931	2,4242	1,303
0,11	1,9595	1,664	1,2413	1,8311	1,879	2,2706	1,289
0,12	1,8618	1,631	1,2220	1,7455	1,833	2,1392	1,276
0,13	1,7762	1,602	1,2041	1,6716	1,791	2,0271	1,265
0,14	1,7023	1,575	1,1866	1,6076	1,753	1,9310	1,254
0,15	1,6376	1,549	1,1699	1,5513	1,719	1,8457	1,244
0,16	1,5800	1,527	1,1538	1,5006	1,688	1,7699	1,235
0,17	1,5278	1,506	1,1387	1,4557	1,659	1,7022	1,224
0,18	1,4829	1,486	1,1231	1,4157	1,632	1,6438	1,218
0,19	1,4411	1,467	1,1085	1,3792	1,607	1,5893	1,211
0,20	1,4034	1,449	1,0943	1,3458	1,584	1,5403	1,203
0,21	1,3693	1,434	1,0804	1,3156	1,561	1,4969	1,197
0,22	1,3372	1,418	1,0699	1,2879	1,541	1,4564	1,190
0,23	1,3090	1,403	1,0536	1,2623	1,522	1,4191	1,184
0,24	1,2829	1,390	1,0405	1,2393	1,504	1,3846	1,178
0,25	1,2576	1,377	1,0283	1,2184	1,486	1,3544	1,173
0,26	1,2359	1,364	1,0155	1,1989	1,470	1,3243	1,167
0,27	1,2150	1,353	1,0033	1,1805	1,453	1,2983	1,163
0,28	1,1958	1,341	0,9913	1,1640	1,439	1,2738	1,158
0,29	1,1783	1,331	0,9793	1,1480	1,425	1,2517	1,152
0,30	1,1614	1,320	0,9678	1,1335	1,410	1,2305	1,148
0,31	1,1468	1,311	0,9560	1,1206	1,398	1,2101	1,144
0,32	1,1325	1,301	0,9446	1,1078	1,385	1,1969	1,140
0,33	1,1197	1,292	0,9332	1,0963	1,373	1,1741	1,136
0,34	1,1070	1,283	0,9222	1,0856	1,361	1,1589	1,133
0,35	1,0956	1,275	0,9114	1,0759	1,350	1,1443	1,129
0,36	1,0854	1,266	0,9004	1,0666	1,339	1,1308	1,125
0,37	1,0751	1,258	0,8898	1,0583	1,329	1,1175	1,121
0,38	1,0662	1,251	0,8789	1,0508	1,318	1,1065	1,118
0,39	1,0578	1,243	0,8686	1,0444	1,309	1,0946	1,114
0,40	1,0508	1,235	0,8576	1,0374	1,299	1,0840	1,111
0,41	1,0430	1,229	0,8475	1,0321	1,290	1,0748	1,108
0,42	1,0368	1,221	0,8369	1,0256	1,282	1,0659	1,105

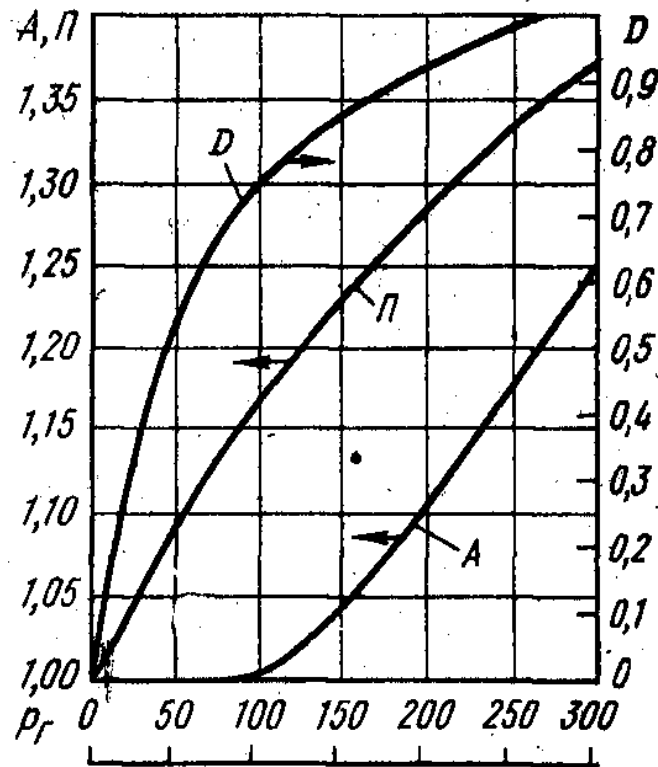
Продолжение приложения А

Продолжение таблицы А.1

P_0/P_T	Горючие газы, перегретый пар			Воздух		Сухой насыщенный пар	
	А	П	Д	А	П	А	П
0,43	1,0313	1,215	0,8265	1,0216	1,273	1,0581	1,102
0,44	1,0256	1,209	0,8163	1,0172	1,265	1,0497	1,099
0,45	1,0207	1,202	0,8063	1,0136	1,256	1,0425	1,096
0,46	1,0172	1,196	0,7956	1,0104	1,248	1,0361	1,093
0,47	1,0133	1,190	0,7854	1,0075	1,241	1,0307	1,091
0,48	1,0096	1,185	0,7756	1,0052	1,234	1,0244	1,088
0,49	1,0071	1,179	0,7654	1,0030	1,226	1,0207	1,86
0,50	1,0043	1,174	0,7556	1,0020	1,219	1,0167	1,083
0,51	1,0028	1,168	0,7454	1,0008	1,212	1,0133	1,080
0,52	1,0017	1,163	0,7352	1,0003	1,205	1,0087	1,078
0,53	1,0009	1,158	0,7251	1,0000	1,199	1,0075	1,075
0,54	1,0004	1,152	0,7153	1,0000	1,192	1,0045	1,073
0,55	1,0000	1,148	0,7048	1,0000	1,187	1,0029	1,071
0,56	1,0000	1,143	0,6945	1,0000	1,180	1,0014	1,069
0,57	1,0000	1,138	0,6839	1,0000	1,174	1,0007	1,067
0,58	1,0000	1,134	0,6738	1,0000	1,169	1,0000	1,065
0,59	1,0000	1,130	0,6625	1,0000	1,163	1,0000	1,063
0,60	1,0000	1,125	0,6506	1,0000	1,157	1,0000	1,060
0,61	1,0000	1,121	0,6394	1,0000	1,151	1,0000	1,058
0,62	1,0000	1,116	0,6264	1,0000	1,146	1,0000	1,057
0,63	1,0000	1,113	0,6140	1,0000	1,141	1,0000	1,055
0,64	1,0000	1,109	0,6013	1,0000	1,136	1,0000	1,053
0,65	1,0000	1,105	0,5893	1,0000	1,131	1,0000	1,051
0,66	1,0000	1,100	0,5767	1,0000	1,126	1,0000	1,049
0,67	1,0000	1,097	0,5617	1,0000	1,121	1,0000	1,047
0,68	1,0000	1,093	0,5495	1,0000	1,116	1,0000	1,045
0,69	1,0000	1,090	0,5348	1,0000	1,112	1,0000	1,044
0,70	1,0000	1,086	0,5218	1,0000	1,107	1,0000	1,042
0,71	1,0000	1,082	0,5055	1,0000	1,103	1,0000	1,041
0,72	1,0000	1,079	0,4913	1,0000	1,099	1,0000	1,039
0,73	1,0000	1,075	0,4776	1,0000	1,094	1,0000	1,037
0,74	1,0000	1,072	0,4620	1,0000	1,090	1,0000	1,035
0,75	1,0000	1,069	0,4460	1,0000	1,086	1,0000	1,034
0,76	1,0000	1,065	0,4302	1,0000	1,081	1,0000	1,032
0,77	1,0000	1,063	0,4154	1,0000	1,078	1,0000	1,031
0,78	1,0000	1,059	0,3987	1,0000	1,073	1,0000	1,029
0,79	1,0000	1,056	0,3824	1,0000	1,070	1,0000	1,028
0,80	1,0000	1,053	0,3672	1,0000	1,066	1,0000	1,026
0,81	1,0000	1,049	0,3493	1,0000	1,062	1,0000	1,025
0,82	1,0000	1,047	0,3333	1,0000	1,058	1,0000	1,024
0,83	1,0000	1,044	0,3162	1,0000	1,055	1,0000	1,022
0,84	1,0000	1,041	0,2994	1,0000	1,051	1,0000	1,020
0,85	1,0000	1,038	0,2814	1,0000	1,047	1,0000	1,018

Продолжение приложения А
Окончание таблицы А.1

P_0/P_r	Горючие газы, перегретый пар			Воздух		Сухой насыщенный пар	
	А	П	Д	А	П	А	П
0,86	1,0000	1,035	0,2639	1,0000	1,044	1,0000	0,017
0,87	1,0000	1,033	0,2468	1,0000	1,041	1,0000	0,016
0,88	1,0000	1,030	0,2286	1,0000	1,037	1,0000	0,015
0,89	1,0000	1,028	0,2108	1,0000	1,034	1,0000	0,013
0,90	1,0000	1,025	0,1926	1,0000	1,031	1,0000	1,012
0,91	1,0000	1,022	0,1749	1,0000	1,028	1,0000	1,011
0,92	1,0000	1,019	0,1553	1,0000	1,024	1,0000	1,010
0,93	1,0000	1,017	0,1369	1,0000	1,020	1,0000	1,008
0,94	1,0000	1,014	0,1173	1,0000	1,018	1,0000	1,007
0,95	1,0000	1,012	0,0975	1,0000	1,015	1,0000	1,006
0,96	1,0000	1,009	0,0790	1,0000	1,012	1,0000	1,005
0,97	1,0000	1,007	0,0584	1,0000	1,009	1,0000	1,004
0,98	1,0000	1,005	0,0392	1,0000	1,006	1,0000	1,002
0,99	1,0000	1,002	0,0198	1,0000	1,003	1,0000	1,001
1,00	1,0000	1,0000	0,0000	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000

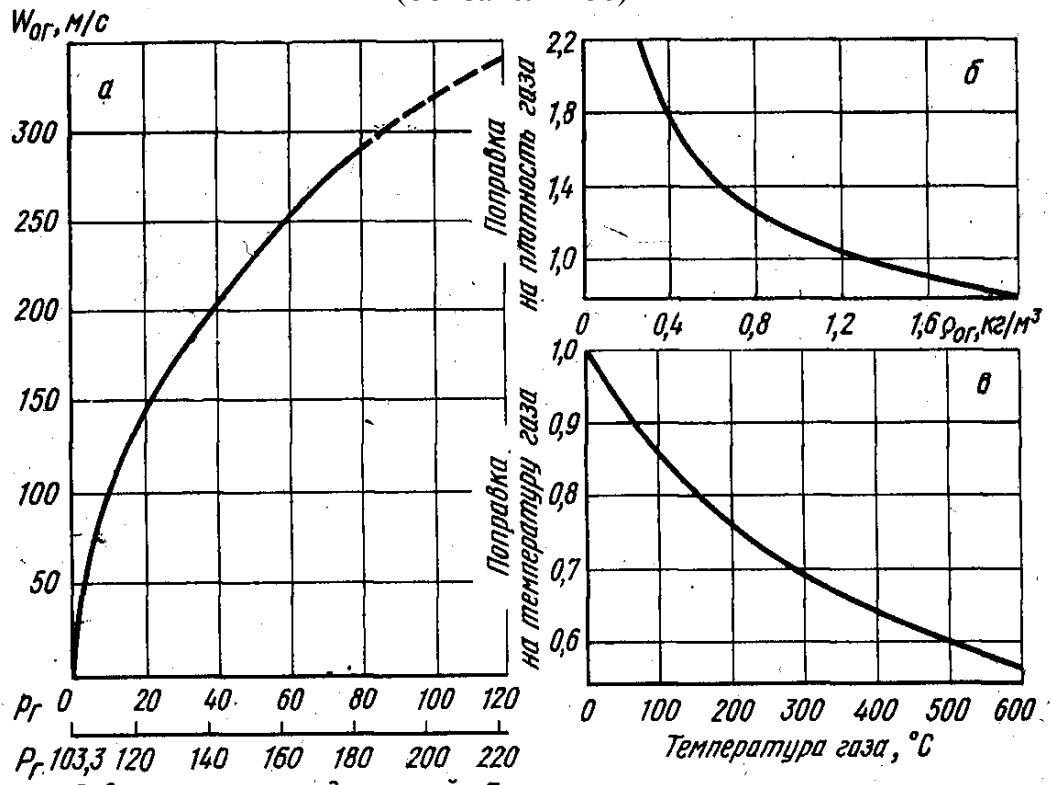


P_r 103,3 150 200 250 300 350 400

Давление газа перед горелкой, кПа

Рисунок А.1- Значения коэффициентов А, П и D

Приложение Б
(обязательное)



а – при $\rho_{ог} = 1,29$ кг/м³, $t = 0^\circ\text{C}$; б – поправка на плотность газа;
в – поправка на температуру газа

Рисунок Б.1 - Скорость истечения газа из сопла

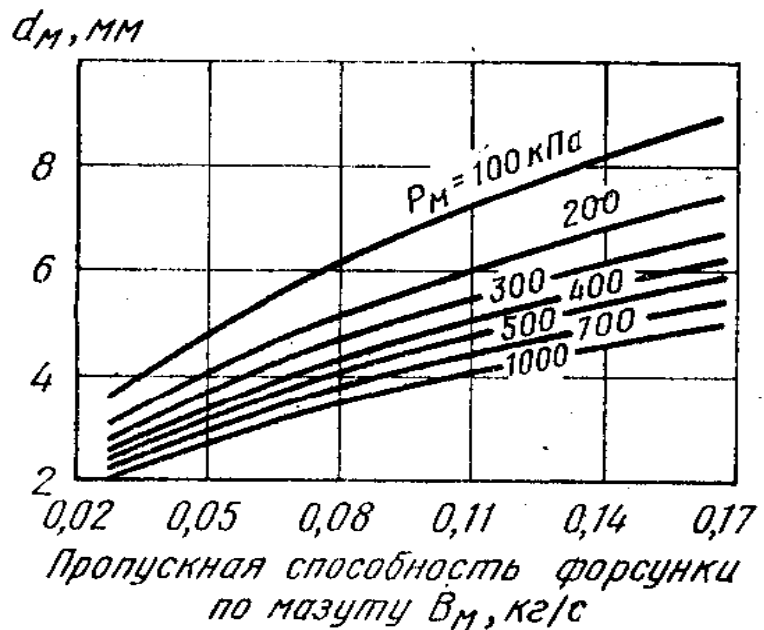


Рисунок Б.2 - Определение диаметра мазутного сопла

Приложение В
(обязательное)

Таблица В.1 – Средний состав природного газа, его теплота сгорания, плотность, объемы воздуха и продуктов сгорания при $\alpha = 1$

№№ газопровода (вариант)	Состав газа, %							$Q_{H_2O}^0$, МДж/м ³ (ккал/м ³)	ρ , кг/м ³	V^0	V_{RO_2}	$V_{N_2}^0$	$V_{H_2O}^0$	V_{Γ}^0
	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	C ₅ H ₁₂ (более)	N ₂	CO ₂			м ³ /м ³				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1 Брянск-Москва	92.8	3.9	1.1	0.4	0.1	1.6	0.1	37.31 (8910)	0.775	9.91	1.06	7.84	2.20	11.11
2 Бухара-Урал	94.2	2.5	0.4	0.2	0.1	2.6	-	36.17 (8640)	0.752	9.54	1.01	7.56	2.14	10.72
3 Газли-Каган-Ташкент	94.0	2.8	0.4	0.3	0.1	2.0	0.4	36.26 (8660)	0.751	9.64	1.03	7.64	2.16	10.83
4 Газли-Каган	95.4	2.6	0.3	0.2	0.2	1.1	0.2	36.59 (8740)	0.750	9.72	1.04	7.69	2.18	10.91
5 Гоголева-Полтава	8.5	0.2	0.1	0.1	0	13.7	0.1	30.98 (7400)	0.789	8.26	0.87	6.66	1.86	9.39
6 Дашава-Киев	98.9	0.3	0.1	0.1	0	0.4	0.2	35.88 (8570)	0.712	9.52	1.00	7.52	2.15	10.68
7 Джаркак-Ташкент	95.5	2.7	0.2	0.2	0.1	1.0	0.1	36.68 (8760)	0.748	9.74	1.04	7.70	2.18	10.92
8 Игрим-Пунга-Серов-Нижний Тагил	95.7	1.9	0.3	0.3	0.1	1.3	-	36.47 (8710)	0.741	9.68	1.03	7.66	2.17	10.86

Продолжение приложения В
Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
9 Карабулак- Грозный	68.5	14.5	3.5	3.5	1.0	3.5	1.4	45.85 (10950)	1.036	12.21	1.41	9.68	2.54	13.63
10 Карадаг- Тбилиси- Ереван	93.9	3.1	0.3	0.3	0.1	1.3	0.2	37.09 (8860)	0.766	9.85	1.05	7.79	2.19	11.04
11 Коробки- Жирное- Камышин	81.5	8.0	2.3	2.3	0.5	3.2	0.5	41.45 (9900)	0.901	10.95	1.22	8.68	2.35	12.25
12 Коробки- Лог- Волгоград	93.2	1.9	0.3	0.3	0.1	3.0	0.7	35.84 (8560)	0.766	9.51	1.02	7.54	2.13	10.69
13 Кумертау- Ишимбай- Магнитогор ск	71.7	5.3	0.9	0.9	0.3	8.8	0.1	36.80 (8790)	0.858	9.74	1.06	7.79	2.13	10.98
14 Лижво- Кологривов ка-Вольск	93.2	2.6	1.2	0.7	-	2.0	0.3	37.01 (8840)	0.782	9.81	1.05	7.74	2.18	11.00
15 Оренбург- Совхозное	91.4	4.1	1.9	0.6	-	0.2	0.7	38.02 (9080)	0.883	10.05	1.08	7.94	2.28	11.25
16 Первомайск - Сторожевка	62.4	3.6	2.6	0.9	0.2	30.2	0.1	28.30 (6760)	0.952	7.51	0.82	6.24	1.64	8.70
17 Промыслов ка- Астрахань	97.1	0.3	0.1	0	0	2.4	0.1	35.04 (8370)	0.733	9.32	0.98	7.38	2.11	10.47
18 Рудки- Минск- Вильнюс, Рудки- Самбор	95.6	0.7	0.4	0.2	0.2	2.8	0.1	35.51 (8480)	0.740	9.45	1.0	7.49	2.12	10.62

Продолжение приложения В
Продолжение таблицы В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
19 Саратов-Горький	91.9	2.1	1.3	0.4	0.1	3.0	1.2	36.13 (8630)	0.786	9.57	1.03	7.59	2.13	10.75
20 Саратов-Москва	78.2	4.4	2.2	0.7	0.2	14.2	0.1	34.16 (8160)	0.879	8.99	0.98	7.25	1.98	10.20
21 Саушино-Лог-Волгоград	96.1	0.7	0.1	0.1	0	2.8	0.2	35.13 (8390)	0.741	9.32	0.98	7.39	2.10	10.48
22 Серпухов-Ленинград	89.7	5.2	1.7	0.5	0.1	2.7	0.1	37.43 (8490)	0.799	10.0	1.0	7.93	2.21	11.22
23 Средняя Азия-Центр	93.8	3.6	0.7	0.2	0.4	0.7	0.6	37.56 (8970)	0.776	9.91	1.07	7.84	2.21	11.11
24 Ставрополь - Невинномысск-Грозный	98.2	0.4	0.1	0.1	0	1.0	0.2	35.63 (8510)	0.728	9.47	1.0	7.4	2.14	10.63
25 Ставрополь-Москва: 1-я нитка	93.8	2.0	0.8	0.3	0.1	2.6	0.4	36.09 (8620)	0.764	9.58	1.02	7.60	2.14	10.76
2-я нитка	92.8	2.8	0.9	0.4	0.1	2.5	0.5	36.55 (8730)	0.772	9.68	1.04	7.67	2.16	10.86
3-я нитка	91.2	3.9	1.2	0.5	0.1	2.6	0.5	37.01 (8840)	0.786	9.81	1.06	7.78	2.18	11.01

Продолжение приложения В
Окончание таблицы В.1

В қосымшаның жалғасы

В.1 кестесінің аяғы

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
26 Угерско-Стрый, Угерско-Гнездици, Угерско-Львов	98.5	0.2	0.1	0	0	1.0	0.2	35.50 (8480)	0.722	9.43	0.99	7.46	2.13	10.59
27 Урицк-Сторожевка	91.9	2.4	1.1	0.8	0.1	3.2	0.5	36.47 (8710)	0.789	9.70	1.04	7.70	2.16	10.89
28 Хаджи-Абад-Фергана	85.9	6.1	1.5	0.8	0.6	5.0	0.1	38.35 (9160)	0.832	10.03	1.09	7.97	2.20	11.26
29 Щебелинка - Острогожск, Щебелинка - Днепропетровск, Щебелинка - Харьков	92.8	3.9	1.0	0.4	0.3	1.5	0.1	37.31 (8910)	0.781	9.93	1.07	7.88	2.21	11.16
30 Щебелинка - Брянск-Москва	94.1	3.1	0.6	0.2	0.8	1.2	-	37.87 (9045)	0.776	9.98	1.07	7.90	2.22	11.19
31 Смесь из Западной Сибири	92.66	5.04	0.45	-	1.85	-	-	36.84 (8800)	0.800	-	-	-	-	-
32 Якутск-Усть-Вилюй	94.8	2.3	0.8	0.5	0.1	0.3	1.2	34.37 (8210)	0.764	-	-	-	-	-

Примечания:
1 Для сжиженного природного газа МДж/м³ (22000-23000 ккал/м³).
2 Номер варианта курсовой работы выбирается в зависимости от номера газопровода

Содержание

	Введение	3
1	Расчет основных размеров горелок без предварительного смешения	4
1.1	Расчет горелок	4
1.2	Пример расчета горелки	6
2	Расчет инжекционных горелок	9
2.1	Расчет горелок	9
2.2	Пример расчета горелки	13
3	Расчет форсунки высокого давления	16
3.1	Расчет форсунок	16
3.2	Пример расчета форсунки	20
	Литература	23
	Приложение А	24
	Приложение Б	27
	Приложение В	28