

## Аэродинамический расчет отвода продуктов сгорания от котла

**Виктор Андреевич Жила**

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия

e-mail: solovyva@mail.ru

**Аннотация.** В статье произведен расчет потерь давления на трение и местное сопротивление, который позволяет определить общие потери в дымовой трубе. Для нормальной работы газовых установок следует создать условия, при которых в местах выхода продуктов сгорания создается разрежение. В задачу удаления продуктов сгорания входит определение сечений дымоходов и присоединительных труб.

**Ключевые слова:** давление; газовая установка; продукты сгорания; аэродинамический расчет.

**Для цитирования:** Жила В. А. Аэродинамический расчет отвода продуктов сгорания от котла // Аграрный научный журнал. 2023. № 2. С. 117–121. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp117-121>.

Agricultural engineering

ORIGINAL ARTICLE

## Aerodynamic calculation of the removal of combustion products from the boiler

**Viktor A. Zhila**

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia

e-mail: solovyva@mail.ru

**Abstract.** The article calculates pressure losses due to friction and local resistance, which allows you to determine the total losses in the chimney. For normal operation of gas installations, conditions must be created under which a vacuum is created at the exit points of combustion products. The task of removing combustion products includes determining the cross sections of chimneys and connecting pipes.

**Keywords:** pressure; gas installation; combustion products; aerodynamic calculation.

**For citation:** Zhila V. A. Aerodynamic calculation of the removal of combustion products from the boiler. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2023;(2):117–121. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i2pp117-121>.

**Введение.** В котельных установках небольшой производительности подача воздуха и удаление продуктов сгорания предусматривается в следствии естественной тяги.

Для создания безопасных условий работы газовых установок требуется произвести аэродинамический расчет отвода продуктов сгорания от котла. При этом предусмотреть подачу и удаление воздуха.

Меры безопасности требуют установки датчиков загазованности, которые перекрывают подачу газа [1].

Расчет дымохода основывается на определении температуры, значение которой связано с остыванием при движении по соединительным трубам.

Для нормальной работы газовых горелок необходимо рассчитать тягу на вертикальных участках. При этом учитывается высота трубы и температура продуктов сгорания.

Отвод продуктов сгорания от котла «Vitogas 050» мощностью  $Q = 48,0$  кВт (Германия) осуществляется через дымоход, выполненный из нержавеющей стали  $d_y = 180$ , который врезается в дымовую трубу из асбестоцементной  $d = 200$ .

**Методика исследований.** Согласно СНиП 42-01-2003, площадь сечения дымовой трубы не должна быть меньше площади патрубка газового прибора, присоединенного к дымоходу.



Вентиляция помещения принята приточно-вытяжная с естественным побуждением. Вытяжка должна обеспечивать трехкратный воздухообмен в час. Размер канала вытяжной системы вентиляции помещения определяется по формуле:

$$S_{\text{вытяж}} = \frac{3V_{\text{пом}}}{v \cdot 3600}, \text{ м}^2,$$

где  $V$  – внутренний объем кухни,  $\text{м}^3$ ;  $v$  – средняя скорость воздуха, равна  $1 \text{ м/с}$ ;

$$S_{\text{вытяж}} = \frac{3 \cdot 29,4}{1 \cdot 3600} = 0,0245 \text{ м}^2,$$

Приток воздуха в помещение осуществляется через жалюзийную решетку, установленную в нижней части двери. Приток воздуха в помещение предусматривается в объеме вытяжки плюс количество воздуха на горение газа [2]:

$$V = 3V_{\text{пом}} + V_{\text{гор}}, \text{ м}^3/\text{ч},$$

где  $V$  – необходимый воздухообмен,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Расход газа:

$$B = \frac{Q_{\text{к}} 0,86 \cdot 10^3}{Q_{\text{н}}^{\text{р}} \eta};$$

$$B = \frac{48 \cdot 0,86 \cdot 10^3}{7950 \cdot 0,9} = 5,77 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Согласно нормативным данным, на сжигание  $1 \text{ м}^3$  газа расходуется  $11 \text{ м}^3$  воздуха. В данном случае, с учетом коэффициента избытка воздуха на горение газа, расход воздуха составляет  $63,47 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Таким образом, необходимый воздухообмен:

$$V = 3 \cdot 29,4 + 63,47 = 151,67 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Для обеспечения мер безопасности в помещении котельной устанавливается датчик загазованности ДТК-0,15-3,0, который подает сигнал о возникновении утечки газа при достижении концентрации газа  $10\%$  НКПР. Сигнал подается на сигнализатор СЗ-1-1Г. Одновременно срабатывает и перекрывает подачу газа установленный на вводе клапан-отсекатель КЗГЭМ-УЗ2НД.

Для нормальной работы газовых приборов в месте выхода продуктов сгорания следует поддерживать разрежение. При разрежении, значение которого меньше допустимой величины, часть продуктов сгорания будет выходить в помещение.

При расчете дымохода определяют размер поперечных сечений дымохода и присоединительной трубы.

О достаточности принятых размеров сечений судят по полученной величине разрежения перед прибором. Тягу рассчитывают по уравнению [3]:

$$\Delta p_{\text{т}} = 0,0345 H \left( \frac{1}{273 + t_{\text{н.в.}}} + \frac{1}{273 + t_{\text{т}}} \right) \cdot P_{\text{б}},$$

где  $\Delta p_{\text{т}}$  – тяга, создаваемая дымовой трубой, дымоходом или вертикальным участком присоединительной трубы;  $H$  – высота участка, создающего тягу;  $t_{\text{н.в.}}$  – температура наружного воздуха;  $t_{\text{т}}$  – средняя температура газов в участке;  $P_{\text{б}}$  – барометрическое давление.

Для определения средней температуры газов следует знать снижение их температуры в результате остывания при движении по соединительным трубам и дымовым каналам. Из сравнения уравнения теплопередачи от уходящих газов к воздуху, окружающему дымоход [4]:

$$Q = kF_{\text{в}}(t_{\text{yx}} - t_{\text{ов}}) - \frac{kF_{\text{б}} \Delta t}{2},$$

и уравнения теплового баланса для участка газохода:

$$Q = 1,38 Q_{\text{п.с}} \Delta t \frac{1000}{3600},$$



получаем зависимость для расчета остывания уходящих газов:

$$\Delta t = \frac{t_{yx} - t_{ов}}{\frac{0,334Q_{п.с}}{kF_B} + 0,5},$$

где  $k$  – среднее коэффициента теплопередачи для стенок дымохода, отнесенное к внутренней поверхности,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot град}$ ;  $F_B$  – внутренняя площадь поверхности расчетного участка дымохода,  $м^2$ ;

$t_{yx}$  – температура уходящих газов при входе в дымоход,  $^{\circ}C$ ;  $t_{ов}$  – температура воздуха, окружающего дымоход,  $^{\circ}C$ ;  $\Delta t$  – падение температуры уходящих газов в расчетном участке,  $^{\circ}C$ ;  $Q$  – количество теплоты, отдаваемой уходящими газами при остывании на величину  $\Delta t$ ,  $Вт$ ;  $1,38$  – средняя объемная теплоемкость дымовых газов,  $\frac{кДж}{м^3 \cdot град}$ ;  $Q_{п.с}$  – расход продуктов сгорания через дымоход,  $м^3/ч$ .

Основные размеры.

Дымоход от котла: диаметр  $d_d = 0,18$  м, длина горизонтального участка  $l_d = 1,0$  м, высота вертикального участка  $h_d = 1,0$  м, коэффициент трения металлического дымохода  $\lambda_d = 0,02$ .

Дымовая труба: диаметр трубы  $d_{тр} = 0,189$  м, высота  $h_{трн} = 8,0$  м,  $h_{трн} = 0,5$  м, коэффициент трения асбестоцементной трубы  $\lambda_{тр} = 0,04$ .

### Результаты исследований.

1. Количество продуктов сгорания:

$$V_{п.с} = V_r + (\alpha - 1) \cdot V_0 = 11,373 \text{ м}^3/ч.$$

2. Расход продуктов сгорания:

$$Q_{п.с} = V_{п.с} B = 65,615 \text{ м}^3/ч.$$

3. Охлаждение газа на вертикальном участке дымохода:

$$F_1 = \pi d_d h_d = 0,565 \text{ м}^2;$$

$$\Delta t_1 = \frac{t_{yx} - t_{ов}}{0,5 + 3,84 \frac{Q_{п.с}}{k_1 F_1}} = 8,302 \text{ }^{\circ}C.$$

4. Температура после вертикального участка:

$$t_1 = t_{yx} - \Delta t_1 = 121,698 \text{ }^{\circ}C.$$

5. Охлаждение газа на горизонтальном участке дымохода.

Площадь поверхности горизонтального участка дымохода:

$$F_2 = \pi d_d l_d = 0,565 \text{ м}^2;$$

$$\Delta t_2 = \frac{t_1 - t_{ов}}{0,5 + 0,384 \frac{Q_{п.с}}{k_1 F_2}} = 7,687 \text{ }^{\circ}C.$$

6. Температура после горизонтального участка дымохода:

$$t_2 = t_1 - \Delta t_2 = 114,011 \text{ }^{\circ}C.$$

7. Охлаждение дымовых газов в дымовой трубе на внутреннем участке (по помещению):

$$F_3 = \pi d_{тр} h_{трн} = 4,75 \text{ м}^2;$$

$$\Delta t_3 = \frac{t_2 - t_{ов}}{0,5 + 0,384 \frac{Q_{п.с}}{k_2 F_3}} = 16,541 \text{ }^{\circ}C.$$

8. Температура после внутреннего участка дымовой трубы:

$$t_3 = t_2 - \Delta t_3 = 97,47 \text{ }^{\circ}C.$$

9. Охлаждение дымовых газов в дымовой трубе на наружном участке (по улице):

$$F_4 = \pi d_{тр} h_{трн} = 0,297 \text{ м}^2$$



$$\Delta t_4 = \frac{t_3 - t_H}{0,5 + 0,384 \frac{Q_{п.с}}{k_2 F_4}} = 1,47 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

10. Температура после наружного участка дымовой трубы:

$$t_4 = t_3 - \Delta t_4 = 96 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

11. Температура газов, уходящих из трубы  $t_4$  должна быть выше температуры точки росы  $t_{т.р.}$  на  $15 \text{ } ^\circ\text{C}$ :

$$t_{т.р.} = 40 \text{ } ^\circ\text{C} \quad t_4 > t_{т.р.} + 15 \quad 96 \text{ } ^\circ\text{C} > 55 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

12. Расчет тяги.

В вертикальном участке дымохода:

$$\Delta t_{т1} = t_{yx.r} - \frac{\Delta t_1}{2} = 125,849 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta p_{т1} = 0,0345 h_d \left( \frac{1}{273 + t_{об}} + \frac{1}{273 + t_{т1}} \right) \cdot 99000 = 3,174 \text{ Па}.$$

В дымовой трубе:

$$t_{т2} = \frac{t_1 + t_4}{2} = 105,006 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

$$\Delta p_{т2} = 0,0345 (h_{т.рп} + h_{т.рн}) \cdot \left( \frac{1}{273 + t_1} + \frac{1}{273 + t_{т2}} \right) \cdot 99000 = 18,;$$

$$\Delta P_{т} = \Delta P_{т1} + \Delta P_{т2} = 21,557 \text{ Па}.$$

13. Потери на трение.

Потери в дымоходе  $\Delta p_1$ :

средняя температура в дымоходе:

$$t_{cp1} = \frac{t_{yx.r} + t_2}{2} = 122,005 \text{ } ^\circ\text{C};$$

сечение дымохода:

$$f_1 = \pi \frac{d_d^2}{4} = 0,025 \text{ м}^2;$$

скорость уходящих газов:

$$W_{yx} = \frac{Q_{п.с}}{f_{1.3600}} = 0,716 \text{ м/с};$$

эквивалентный диаметр:

$$d_{\text{эк1}} = d_d d_{\text{эк1}} = 0,18 \text{ м};$$

$$\Delta p_1 = \lambda_d \frac{(h_d + l_d) \cdot [w_{yx}^2 \rho_{yx} (273 + t_{cp1})]}{d_{\text{эк1}} \cdot 2 \cdot 273} = 0,107 \text{ Па}.$$

14. Местные сопротивления

Коэффициент местных сопротивлений на дымоходе:

вход в тягопрерыватель  $\zeta_1 = 0,5$ .

поворот  $\zeta_2 = 0,9$ .

вход в дымовую трубу  $\zeta_3 = 1,2$ .

$n$  – количество поворотов дымохода,  $n = 1$ .

$$\sum \zeta = \zeta_1 + n \times \zeta_2 + \zeta_3 = 2,6;$$

$$\Delta p_2 = \sum \zeta \times \frac{[w_{yx}^2 \rho_{yx} \times (273 + t_{cp1})]}{2 \times 273} = 1,254 \text{ Па}.$$



15. Потери в дымовой трубе  $\Delta p_3$ ;  
средняя температура в дымовой трубе:

$$t_{\text{ср2}} = \frac{t_2 + t_3}{2} = 105,74 \text{ }^\circ\text{C};$$

сечение дымовой трубы:

$$f_2 = \pi \frac{d_{\text{тр}}^2}{4} = 0,028 \text{ м}^2;$$

скорость уходящих газов:

$$W_{\text{ух2}} = \frac{Q_{\text{п.с}}}{f_{2.3600}} = 0,65 \text{ м/с};$$

эквивалентный диаметр:  $d_{\text{эк2}} = d_{\text{тр}} = 0,189 \text{ м}^2$ ;

$$W_{\text{ух2}} = \frac{Q_{\text{п.с}}}{f_{2.3600}} = 0,65 \text{ м/с};$$

16. Потери на местное сопротивление.

Выход из дымовой трубы:

$$\sum \zeta = 2,6;$$

$$\Delta p_4 = \sum \zeta \frac{[w_{\text{ух}}^2 \rho_{\text{ух}} (273 + t_{\text{ср2}})]}{2 \cdot 273} = 1,254 \text{ Па.}$$

Разрешение:

$$P_{\text{раз}} = [\Delta p_{\text{т}} - (\Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4)] = 18,521 \text{ Па.}$$

**Заключение.** Полученное значение разрежения, равное 18,521 Па, превышает минимально необходимое 3 Па, следовательно, будет обеспечена подача воздуха в топочную камеру для горения топлива и перемещение продуктов сгорания с определенной скоростью по газоходам с удалением через дымовую трубу. Дымовая труба создает силу тяги, необходимую для преодоления гидравлических сопротивлений котельного агрегата, таким образом обеспечивает нормальную работу установки.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кязимов К.Г., Гусев В. Е. Газоснабжение: устройство и эксплуатация газового хозяйства: учебник для среднего профессионального образования. М., 2019. 392 с.
2. Соколов Б.А. Устройство и эксплуатация оборудования газомазутных котельных: учеб. пособие для нач. проф. образования. М., 2007. 304 с.
3. Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А., Хаванов П.А. Теплогенерирующие установки: учебник для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М., 2010. 624 с.
4. Ионин А.А., Жила В.А., Артихович В.В., Пшоник М.Г. Газоснабжение: учебник для студентов вузов по специальности «Теплогазоснабжение и вентиляция». М., 2013. 472 с.

#### REFERENCES

1. Kyazimov K. G., Gusev V. E. Gas supply: device and operation of the gas economy: a textbook for secondary vocational education. Moscow, 2019. 392 p.
2. Sokolov B.A. Device and operation of the equipment of gas-oil boiler rooms: textbook allowance for the beginning prof. education. Moscow, 2007. 304 p.
3. Delyagin G.N., Lebedev V.I., Permyakov B.A., Khavanov P.A. Heat generating installations: textbook. for universities. 2nd ed., revised and additional. Moscow, 2010. 624 p.
4. Ionin A.A., Zhila V.A., Artikhovich V.V., Pshonik M.G. Gas supply: a textbook for university students majoring in Heat and Gas Supply and Ventilation. M., 2013. 472 p.

*Статья поступила в редакцию 17.09.2022; одобрена после рецензирования 17.10.2022; принята к публикации 30.10.2022.  
The article was submitted 17.09.2022; approved after reviewing 17.10.2022; accepted for publication 30.10.2022.*

