Министерство образования и науки Российской Федерации

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Кафедра теплофизики и информатики

в металлургии

Домашняя работа №2

**МЕХАНИКА ЖИДКОСТИ И ГАЗА**

**Вариант 1**

Студентка И.И. Газизова

гр. НМТ-262011

Преподаватель Г.В.Воронов

Екатеринбург

2017

**Исходные данные**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| V0,м3/с | W0, м/c | W0рек,м/c | tв,°С | dрек,мм | LА-Гм | LГ-Дм | LД-Жм | LЖ-Зм | LЗ-Им | LИ-Лм | LЛ-Нм | LН-Тм | LТ-Фм |
| 0,5 | 5 | 8 | 300 | 40 | 8,0 | 0,8 | 4,0 | 0,8 | 16,0 | 9,0 | 4,0 | 1,5 | 1,5 |



**Рисунок 1** – Схема подачи воздуха к нагревательной печи и отвода продуктов

горения в дымовую трубу: 1 – нагревательная печь; 2 – воздухопровод;

3 – вентилятор; 4 – воздушный шибер; 5 – петлевой рекуператор;

6 – дымовой боров; 7 – газопровод; 8 – горелки; 9 – газовый шибер;

10 – дымовая труба

**1.Определение размеров поперечного сечения**

**секций рекуператора.**

Вычислим суммарную площадь поперечного сечения трубок рекуператора из выражения:

$$ω\_{сум}=\frac{V\_{0}}{W\_{рек}}=\frac{0,5}{8}=0,063м^{2}$$

Определим площадь поперечного сечения рекуператора

$$ω\_{рек}=\frac{πd\_{рек}^{2}}{4}=\frac{3,14\*0,04^{2}}{4}=0,0013м^{2}$$

 Найдем количество трубок в рекуператоре из уравнения:

$$N\_{тр}=\frac{ω\_{сум}}{ω\_{рек}}=\frac{0,063}{0,0013}=48шт$$

 По приложению I,а принимаем наружный диаметр трубки рекуператора $d\_{рек,нр}=0,042м$, при толщине стенки 3,5мм. Тогда внутренний диаметр трубки будет равен: $d\_{рек,вн}=0,042-2\*0,0035=0,035м.$

Площадь поперечного сечения трубки составит:

$$ω\_{тр}=\frac{πd\_{рек,вн}^{2}}{4}=\frac{3,14\*0,035^{2}}{4}=0,00096м^{2}$$

 Расход воздуха через одну рубку будет равен:

$$V\_{тр}=\frac{V\_{0}}{N\_{тр}}=\frac{0,5}{48}=0,01^{м^{3}}/\_{с}$$

Скорость воздуха в трубке составит:

$$ω\_{в0}=\frac{V\_{тр}}{ω\_{тр}}=\frac{0,01}{0,00096}=10,42^{м}/\_{с}$$

**2. Расчет сопротивлений на пути движения воздуха.**

**Вычисление диаметров отдельных участков воздухопровода.**

С учетом рекомендуемой скорости воздуха $ω\_{0}=5^{м}/\_{с}$, определим площадь поперечного сечения воздухопровода:

$$ω\_{в}=\frac{V\_{0}}{ω\_{0}}=\frac{0.5}{5}=0.1м^{2}$$

Диаметр воздухопровода будет равен:

$$d\_{в}=\sqrt{\frac{4ω\_{в}}{π}}=\sqrt{\frac{4\*0,1}{3,14}}=0,355м$$

По приложению I,в принимаем наружный диаметр воздухопровода $d\_{в,нр}=0,3556м$ с толщиной стенки 4мм. Внутренний диаметр составит $d\_{в,вн}=0,3556-2\*0,004=0,348м.$ Диаметр воздухопровода на участке А-Л будет таким же, т.е. равным 0,348м. Вычислим площадь поперечного сечения воздухопровода:

$$ω\_{в}=\frac{πd\_{в,вн}^{2}}{4}=\frac{3,14\*0,348^{2}}{4}=0,095м^{2}$$

Следовательно, скорость воздуха до точки Л будет равна:

$$W\_{в0}=\frac{V\_{0}}{ω\_{в}}=\frac{0,5}{0,095}=5,26^{м}/\_{с}$$

В точке Л основной воздухопровод разделяется на два равных. Определим площадь сечения воздухопровода после разветвления в точке Л.

$$ω\_{вЛ}=\frac{V\_{0}}{2W\_{0}}=\frac{0,5}{2\*5}=0,05м^{2}$$

Тогда диаметр воздухопровода будет равен:

$$d\_{Л}=\sqrt{\frac{4ω\_{вЛ}}{π}}=\sqrt{\frac{4\*0,05}{3,14}}=0,252м$$

По приложению I,в принимаем наружный диаметр воздухопровода $d\_{Л,нр}=0,273м$ с толщиной стенки 4мм. Тогда внутренний диаметр воздухопровода на участке Л-Т составит $d\_{Л-Т,вн}=0,273-2\*0,004=0,265м.$

Площадь поперечного сечения воздухопровода в соответствии с выбранным диаметром будет равен:

$$ω\_{в.Л-Т}=\frac{πd\_{Л-Т,вн}^{2}}{4}=\frac{3,14\*0,265^{2}}{4}=0,0551м^{2}$$

Найдем скорость воздуха на участке Л-Т:

$W\_{вЛ-Т}=\frac{V\_{0}}{2ω\_{вЛ-Т}}=\frac{0,5}{0\*0,0551}=4,54^{м}/\_{с}$.

На нагревательной печи установлено 12 горелок (по 6 с каждой стороны). Расход воздуха на одну горелку составит:

$$V\_{0гор}=\frac{V\_{0}}{12}=\frac{0.5}{12}=0.042^{м^{3}}/\_{с}$$

Найдем скорость воздуха в точке Т:

$$W\_{вТ}=\frac{V\_{0гор}}{ω\_{вЛ-Т}}=\frac{0,042}{0,0551}=0,762^{м}/\_{с}$$

Средняя скорость воздуха на участке М-Т будет равна

$$\overbar{W}\_{вМ-Т}=\frac{W\_{вЛ-Т}+W\_{вТ}}{2}=\frac{4,54+0,762}{2}=2,651^{м}/\_{с}$$

Рассчитаем площадь сечения воздухопровода и скорость воздуха на ответвлении к последней горелке на участке Т-Ф:

$$ω\_{вТ-Ф}=\frac{V\_{0гор}}{W\_{0}}=\frac{0,042}{5}=0,0084м^{2}$$

Тогда диаметр будет равен:

$$d\_{Т-Ф}=\sqrt{\frac{4ω\_{вТ-Ф}}{π}}=\sqrt{\frac{4\*0,0084}{3,14}}=0,103м$$

По приложению I,в принимаем наружный диаметр воздухопровода $d\_{Т-Ф,нр}=0,108м$ с толщиной стенки 3мм. Тогда внутренний диаметр составит $d\_{Т-Ф,вн}=0,108-2\*0,003=0,102м.$ В соответствии с выбранным диаметром определим площадь сечения воздухопровода:

$$ω\_{в.Т-Ф}=\frac{πd\_{Т-Ф,вн}^{2}}{4}=\frac{3,14\*0,102^{2}}{4}=0,0082м^{2}$$

Тогда скорость воздуха на участке Т-Ф составит:

$$W\_{вТ-Ф}=\frac{V\_{0гор}}{ω\_{вТ-Ф}}=\frac{0,042}{0,0082}=5,12^{м}/\_{с}$$

Полученные результаты расчетов представлены в таблице 1.

Таблица1- Результаты расчета диаметров воздухопровода и скоростей движения воздуха.

|  |  |
| --- | --- |
| Диаметр воздуховода (мм) и скорость воздуха (м/c) | Длина отдельных участков воздушной трасы |
| LА-Г | РекуператорLД-Ж=4,0м | LГ-Л | LЛ-Т | LТ-Ф |
| dв.вн | 348 | 35 | 348 | 265 | 102 |
| dв.нар | 355,6 | 42 | 355,6 | 273 | 108 |
| Wв | 5,26 | 10,42 | 5,26 | 4,54 | 5,12 |

**3.Определение потерь давления на трение.**

Рассчитаем потери на давление по длине воздуховода, обусловленные силами трения. Определим коэффициент трений λ для металлических шероховатых трубопроводов, используя для этого число Рейнольдса (Re).

$$Re=\frac{w\_{t}\*d\_{э}}{ν\_{е}}$$

где wt – действительная скорость воздуха, м/с;

dэ – эквивалентный диаметр, м (dэ = 4ω/П, где ω – площадь поперечного

сечения, м2; П – периметр канала, м);

νt – коэффициент кинематической вязкости воздуха при данной температуре, м2/с (для 20°С νt =15 ⋅10-6 м2 с ; для 235°С – средняя температура воздуха в рекуператоре νt = 39,49 ⋅10-6 м2 с ; для 300°С - температура воздуха на выходе из рекуператора νt = 48.33 ⋅10-6 м2 с).

Действительную скорость воздуха определим из выражения: wt = wв0 (1+ βt ),

где wв0 – скорость воздуха при нормальных условиях (t = 0°С, p = 760 мм.рт.ст. или 1,013·105 Па);

β – коэффициент объемного расширения воздуха, равный 1/273 °С-1.

Тогда имеем:

$W\_{tА-Г}=5,26\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=5,65^{м}/\_{с}$ $R\_{e}=\frac{5,65\*0,348}{15\*10^{-6}}=1,3\*10^{5}$

$W\_{tрек}=10,42\*\left(1+\frac{235}{273}\right)=19,39^{м}/\_{с}$ $R\_{e}=\frac{19,38\*0,035}{39,49\*10^{-6}}=0,17\*10^{5}$

$W\_{tГ-Л}=5,26\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=11,04^{м}/\_{с}$ $R\_{e}=\frac{11,04\*0,348}{48,33\*10^{-6}}=0,79\*10^{5}$

$W\_{tЛ-Т}=4,54\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=9,53^{м}/\_{с}$ $R\_{e}=\frac{9,53\*0,265}{48,33\*10^{-6}}=0,59\*10^{5}$

$W\_{tТ-Ф}=5,12\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=10,75^{м}/\_{с}$ $R\_{e}=\frac{10,75\*0,102}{48,33\*10^{-6}}=0,23\*10^{5}$

Если число Re < 105, то коэффициент трения λ определяют по формуле Блазиуса: λ = 0,316 ⋅Re-0,25;

Если число Re > 105, то коэффициент трения λ находят по формуле Никурадзе:

λ = 0,0032+ 0,221⋅Re-0,237 .

 В результате получим:

$$λ\_{А-Г}=0,0032+0,221\*\left(1,3\*10^{5}\right)^{-0,237}=0,012$$

$$λ\_{рек}=0,316\*\left(0,17\*10^{5}\right)^{-0,25}=0,028$$

$$λ\_{Г-Л}=0,316\*\left(0,79\*10^{5}\right)^{-0,25}=0,019$$

$$λ\_{Л-Т}=0,316\*\left(0,52\*10^{5}\right)^{-0,25}=0,021$$

$$λ\_{Т-Ф}=0,316\*\left(0,23\*10^{5}\right)^{-0,25}=0,026$$

Вычислим потери энергии на трение при движении воздуха на участке от вентилятора до рекуператора (участок А-Г). Длина участка LА-Г=8м, внутренний диаметр воздухопровода dА-Г=0,348. Плотность воздуха при нормальных условиях ρв0=1,293 кг/м3, скорость воздуха Wв=5,26 м/с, температура воздуха в цехе tв=20°С.

Используя формулу Дарси-Вейсбаха находим потери давления на трении на участке А-Г :

$$∆P\_{А-Г}=λ\_{А-Г}\*\frac{L\_{А-Г}}{d\_{э}}\*\frac{W\_{в0}^{2}}{2}\*ρ\_{в0}\*\left(1+\frac{t\_{в}}{273}\right)==0,012\*\frac{8}{0,348}\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=5,29Па$$

На коротком участке диффузора (участок Г-Д) потерями давления на трение пренебрегаем ввиду их малости. Определим потери давления в рекуператоре на участке Д-Ж. Длина участка LД-Ж=4,0м, внутренний диаметр воздухопровода dрек=0,035. Плотность воздуха при нормальных условиях ρв0=1,293 кг/м3, скорость воздуха Wв=10,42 м/с, температура воздуха на входе tв=20°С, на выходе tв,вых=300°С.

$$∆P\_{Д-Ж}=0,028\*\frac{4}{0,035}\*\frac{10,42^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=471,46Па$$

Потерями давления на трение на коротком участке Ж-З пренебрегаем ввиду их малости. Вычислим потери давления на трение на участке З-Л. Длина участка

LЗ-Л=16+9=25м

$$∆P\_{З-Л}=0,019\*\frac{25}{0,348}\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=44,76Па$$

Определим потери давления на трение на участке Л-Т. Длина участка

LЛ-Т=4,0+1,5=5,5м

$$∆P\_{Л-Т}=0,021\*\frac{5,5}{0,265}\*\frac{4,54^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=12,19Па$$

Найдем потери давления на трение на вертикальном участке воздухопровода к наиболее удаленной горелки (участок Т-Ф). Длина участка LТ-Ф=1,5м.

$$∆P\_{Т-Ф}=0,026\*\frac{1,5}{0,102}\*\frac{5,12^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=13,68Па$$

Суммарные потери давления на трение по всей трасе составят:

$$\sum\_{}^{}∆Р\_{тр}=5,29+471,46+44,76+12,19+13,68=547,38Па$$

**4.Определение потерь давления на местных сопротивлениях.**

Потери давления на местных сопротивлениях рассчитывают по формуле:

$$∆Р\_{мс}=ξ\*\frac{W\_{0}^{2}}{2}\*ρ\_{в0}\*\left(1+\frac{t\_{в}}{273}\right)$$

Потери давления в конфузоре (точка А)

$$∆Р\_{А}=1,23\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=23,61 Па$$

Потери давления в составном колене 45°\*2=90 (точка Б)

$$∆Р\_{Б}=0,4\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=7,68 Па$$

Потери давления в задвижке, открытой на 0,4d (точка В)

$$∆Р\_{В}=4,60\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=88,31 Па$$

Потери давления в диффузоре (точка Г)

$$∆Р\_{Г}=0,39\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=7,49 Па$$

Потери давления на входе в трубки рекуператора (точка Д)

$$∆Р\_{Д}=1,5\*\frac{10,42^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{20}{273}\right)=113,01 Па$$

Потери давления на плавном повороте на 180° (точка Е)

$$∆Р\_{Д}=0,4\*\frac{10,42^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{235}{273}\right)=52,25 Па$$

Потери давления на выходе из трубок рекуператора (точка Ж)

$$∆Р\_{Ж}=1,06\*\frac{10,42^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=156,17 Па$$

Потери давления в конфузоре (точка З)

$$∆Р\_{З}=1,23\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=46,18 Па$$

Потери давления в составном колене 22,5°\*4=90° (точка И)

$$∆Р\_{И}=0,2\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=7,51 Па$$

Потери давления в составном колене 30°\*3=90° (точка К)

$$∆Р\_{К}=0,32\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=12,01 Па$$

Потери давления при разделении потоков в симметричном тройнике (точка Л)

$$∆Р\_{Л}=1\*\frac{5,26^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=37,54 Па$$

Потери давления при повороте потока на 45° (точка М)

$$∆Р\_{М}=0,42\*\frac{4,54^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=11,75 Па$$

Потери давления в тройнике с ответвлениями (участок Н-С)

$$∆Р\_{Н-С}=0,45\*\frac{4,54^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=12,59 Па$$

Потери давлений на ответвлении потока воздуха (точка Т)

$$∆Р\_{Т}=1,55\*\frac{5,12^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=55,14 Па$$

Потери давления в регулировочной дроссельной заслонке, прикрытой на угол 20° (точка У)

$$∆Р\_{У}=2,7\*\frac{5,12^{2}}{2}\*1,293\*\left(1+\frac{300}{273}\right)=96,04 Па$$

Потери давления в корпусе горелки (точка Ф)

∆РФ = 50 мм.вод.ст. = 490 Па

Суммарные потери давления на преодоление местных сопротивлений по всей воздушной трассе составит:

$$\sum\_{}^{}∆Р\_{мс}=23,61+7,68+88,31+7,49+113,01+52,25+156,17+46,18+7,51+12,01+31,54+11,75+12,59+55,14+96,04+490=1211,28 Па$$

**5.Определение геометрического давления.**

Рассчитаем геометрическое давление на отдельных вертикальных участках воздушной трассы с помощью уравнения:

$$Р\_{геом}=g\*\left(H\_{1}-H\_{2}\right)\*(ρ\_{в20}-ρ\_{в300})$$

где g – ускорение свободного падения, м/с2;

Н1 и Н2 – перепады высот, м;

ρв20 и ρв300 – плотность воздуха соответственно при температурах 20° и 300°С, кг/м3.

Плотность воздуха при действительных условиях определяют из выражения:

$$ρ\_{в}=\frac{ρ\_{в0}}{1+\frac{t\_{в}}{273}}$$

Где ρв0 – плотность воздуха при нормальных условиях, кг/м3 ( ρв0 =1,293 кг/м3).

Тогда имеем:

$$ρ\_{в20}=\frac{1,293}{1+\frac{20}{273}}=1,205 ^{кг}/\_{м^{3}} $$

$$ρ\_{в300}=\frac{1,293}{1+\frac{300}{273}}=0,616 ^{кг}/\_{м^{3}}$$

Из рисунка 1 следует, что при движении подогретого воздуха существует геометрическое давление: на высоте Н1=16м (вертикальный участок З-И) оно содействует движению нагретого воздуха, а на высоте Н2=1,5м (вертикальный участок Т-Ф) оно, наоборот, препятствует его движению. Следовательно, результирующее геометрическое давление будет способствовать движению воздуха.

$$\sum\_{}^{}Р\_{геом}=9,81\*\left(16-1,5\right)\*\left(0,616-1,205\right)=-83,78 Па$$

**6.Определение суммарных потерь энергии.**

Суммарные потери давления по всей воздушной трассе будет складываться из потерь энергии на трение, на местных сопротивлениях с учетом геометрического давления, т.е.

$$\sum\_{}^{}∆Р=\sum\_{}^{}∆Р\_{тр}+\sum\_{}^{}∆Р\_{мс}\pm \sum\_{}^{}Р\_{геом}=547,38+1211,28-83,78=1674,88Па$$

Это те потери давления, составляющие общее сопротивление воздушной трассы, и которые должен преодолеть вентилятор, подающий воздух к топливосжигающим устройствам нагревательной печи.

ПРИЛОЖЕНИЕ I, а

Стандарт на горячедеформированные

бесшовные стальные трубы (ГОСТ 8732 – 78)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наружный |  |  |  |  |  |  | Масса 1 м труб, кг, при толщине стенки, мм |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| диаметр, |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 2,5 | 2,8 | 3 | 3,5 | 4 | 4,5 | 5 | 5,5 | 6 | (6,5) |  |  | 7 | (7,5) | 8 |
| мм |  |  |
| 20 | 1,08 | 1,19 | 1,26 | 1,42 | 1,58 |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – | – |  | – |  | – |
| 25 | 1,39 | 1,53 | 1,63 | 1,86 | 2,07 | 2,28 | 2,47 | 2,65 | 2,81 | 2,97 |  |  | 3,11 | 3,24 | 3,35 |
| 28 | 1,57 | 1,74 | 1,85 | 2,11 | 2,37 | 2,62 | 2,84 | 3,05 | 3,26 | 3,45 |  |  | 3,63 | 3,79 | 3,95 |
| 32 | 1,82 | 2,02 | 2,15 | 2,46 | 2,76 | 3,05 | 3,33 | 3,59 | 3,85 | 4,09 |  |  | 4,32 | 4,53 | 4,74 |
| 38 | 2,19 | 2,43 | 2,59 | 2,98 | 3,35 | 3,72 | 4,07 | 4,41 | 4,74 | 5,05 |  |  | 5,35 | 5,64 | 5,92 |
| 42 | 2,44 | 2,71 | 2,89 | 3,32 | 3,75 | 4,16 | 4,56 | 4,95 | 5,33 | 5,69 |  |  | 6,04 | 6,38 | 6,71 |
| 45 | 2,62 | 2,91 | 3,11 | 3,58 | 4,04 | 4,49 | 4,93 | 5,36 | 5,77 | 6,17 |  |  | 6,56 | 6,94 | 7,30 |
| 50 | 2,93 | 3,26 | 3,48 | 4,01 | 4,54 | 5,05 | 5,55 | 6,04 | 6,51 | 6,97 |  |  | 7,42 | 7,86 | 8,29 |
| 54 |  | – |  | – | 3,77 | 4,36 | 4,93 | 5,49 | 6,04 | 6,58 | 7,10 | 7,61 |  |  | 8,11 | 8,60 | 9,08 |
| 57 |  | – |  | – | 4,00 | 4,62 | 5,23 | 5,83 | 6,41 | 6,99 | 7,55 | 8,10 |  |  | 8,63 | 9,16 | 9,67 |
| 63,5 |  | – |  | – | 4,48 | 5,18 | 5,87 | 6,55 | 7,21 | 7,87 | 8,51 | 9,14 |  |  | 9,75 | 10,36 | 10,95 |
| 68 |  | – |  | – | 4,81 | 5,57 | 6,31 | 7,05 | 7,77 | 8,48 | 9,17 | 9,86 |  |  | 10,53 | 11,19 | 11,84 |
| 70 |  | – |  | – | 4,96 | 5,74 | 6,51 | 7,27 | 8,02 | 8,75 | 9,47 | 10,18 |  |  | 10,88 | 11,56 | 12,23 |
| 73 |  | – |  | – | 5,18 | 6,00 | 6,81 | 7,60 | 8,39 | 9,16 | 9,91 | 10,66 |  |  | 11,39 | 12,12 | 12,82 |
| 76 |  | – |  | – | 5,40 | 6,26 | 7,10 | 7,94 | 8,76 | 9,56 | 10,36 | 11,14 |  |  | 11,91 | 12,67 | 13,42 |
| 83 |  | – |  | – |  | – | 6,86 | 7,79 | 8,71 | 9,62 | 10,51 | 11,39 | 12,26 |  |  | 13,12 | 13,96 | 14,80 |
| 89 |  | – |  | – |  | – | 7,38 | 8,39 | 9,38 | 10,36 | 11,33 | 12,28 | 13,23 |  |  | 14,16 | 15,07 | 15,98 |
| 95 |  | – |  | – |  | – | 7,90 | 8,98 | 10,04 11,10 | 12,14 | 13,17 | 14,19 |  |  | 15,19 | 16,18 | 17,16 |
| 102 |  | – |  | – |  | – | 8,50 | 9,67 | 10,82 11,96 | 13,09 | 14,21 | 15,31 |  |  | 16,40 | 17,48 | 18,55 |
| 108 |  | – |  | – |  | – |  |  | – | 10,26 11,49 12,70 | 13,90 | 15,09 | 16,27 |  |  | 17,44 | 18,59 | 19,73 |
| 114 |  | – |  | – |  | – |  |  | – | 10,85 12,15 13,44 | 14,72 | 15,98 | 17,23 |  |  | 18,47 | 19,70 | 20,91 |
| 121 |  | – |  | – |  | – |  |  | – | 11,54 12,93 14,30 | 15,67 | 17,02 | 18,35 |  |  | 19,68 | 20,99 | 22,29 |
| 127 |  | – |  | – |  | – |  |  | – | 12,13 13,60 15,04 | 16,48 | 17,90 | 19,32 |  |  | 20,72 | 22,10 | 23,40 |
| 133 |  | – |  | – |  | – |  |  | – | 12,73 14,26 15,78 | 17,29 | 18,79 | 20,28 |  |  | 21,75 | 23,21 | 24,66 |
| 140 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – | 15,04 16,65 | 18,24 | 19,83 | 21,40 |  |  | 22,96 | 24,51 | 26,04 |
| 146 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – | 15,70 17,39 | 19,06 | 20,72 | 22,36 |  |  | 24,00 | 25,62 | 27,23 |
| 152 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – | 16,37 18,13 | 19,87 | 21,60 | 23,32 |  |  | 25,03 | 26,73 | 28,41 |
| 159 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – | 17,15 18,99 | 20,82 | 22,64 | 24,45 |  |  | 26,24 | 28,02 | 29,79 |
| 168 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – | 20,10 | 22,04 | 23,97 | 25,89 |  |  | 27,79 | 29,69 | 31,57 |
| 180 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – | 21,58 | 23,67 | 25,75 | 27,81 |  |  | 29,87 | 31,91 | 33,93 |
| 194 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – | 23,31 | 25,57 | 27,82 | 30,06 |  |  | 32,28 | 34,50 | 36,70 |
| 203 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – | 29,15 | 31,50 |  |  | 33,84 | 36,16 | 38,47 |
| 219 |  | – |  | – |  | – | - |  | – |  | – |  | – |  | – | 31,52 | 34,06 |  |  | 36,60 | 39,12 | 41,63 |
| 245 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – | 38,23 |  |  | 41,09 | 43,93 | 46,70 |
| 273 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – | 42,92 |  |  | 45,92 | 49,11 | 52,28 |
| 299 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – | – | 53,92 | 57,41 |
| 325 |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  | – |  |  | – |  | 58,73 |  | 62,54 |

ПРИЛОЖЕНИЕ I, в

Стандарт на электросварные прямошовные

стальные трубы (ГОСТ 10704 – 91)

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наружный |  |  |  | Теоретическая масса 1 м труб, кг, при толщине стенки, мм |  |  |  |
| диаметр, | 2,0 | 2,2 | 2,5 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,5 | 3,8 | 4,0 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,0 | 7,0 | 8,0 | 9,0 | 10 |  |
| мм |  |
| 51 | 2,42 | 2,65 | 2,99 | 3,33 | 3,55 | 3,77 | 4,10 | — | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 53 | 2,52 | 2,76 | 3,11 | 3,47 | 3,70 | 3,93 | 4,27 | — | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 54 | 2,56 | 2,81 | 3,18 | 3,54 | 3,77 | 4,01 | 4,36 | — | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 57 | 2,71 | 2,97 | 3,36 | 3,74 | 4,00 | 4,25 | 4,62 | — | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 60 | 2,86 | 3,14 | 3,55 | 3,95 | 4,22 | 4,48 | 4,88 | 5,27 | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 63,5 | 3,03 | 3,33 | 3,76 | 4,19 | 4,48 | 4,76 | 5,18 | 5,59 | — | — | — — — — — | — | — |  |
| 70 | 3,35 | 3,68 | 4,16 | 4,64 | 4,96 | 5,27 | 5,74 | 6,20 | 6,51 | — | — — — — — | — | — |  |
| 73 | 3,50 | 3,84 | 4,35 | 4,85 | 5,18 | 5,51 | 6,00 | 6,48 | 6,81 | — | — — — — — | — | — |  |
| 76 | 3,65 | 4,00 | 4,53 | 5,05 | 5,40 | 5,75 | 6,26 | 6,26 | 7,10 | 7,93 | 8,75 | 9,56 | — | — | — | — | — |  |
| 88 | 4,00 | 4,38 | 4,96 | 5,54 | 5,92 | 6,30 | 6,86 | 7,42 | 7,79 | 8,71 | 9,62 10,51 | — | — | — | — | — |  |
| 89 | 4,29 | 4,71 | 5,33 | 5,95 | 6,36 | 6,77 | 7,38 | 7,98 | 8,38 | 9,38 | 10,3611,33 | — | — | — | — | — |  |
| 95 | 4,59 | — | 5,70 | — | — | 7,24 | — | — | — | — | 11,10 — | — | — | — | — | — |  |
| 102 | 4,93 | 5,41 | 6,13 | 6,85 | 7,32 | 7,80 | 8,50 | 9,20 | 9,67 | 10,82 | 11,9613,09 | — | — | — | — | — |  |
| 108 | 5,23 | 5,74 | 6,50 | 7,26 | 7,77 | 8,27 | 9,02 | 9,76 | 10,26 | 11,49 | 12,7013,90 | — | — | — | — | — |  |
| 114 | 5,52 | 6,07 | 6,87 | 7,68 | 8,21 | 8,74 | 9,54 | 10,33 | 10,85 | 12,15 | 13,4414,72 | — | — | — | — | — |  |
| 127 | 6,17 | 6,77 | 7,68 | 8,58 | 9,17 | 9,77 | 10,66 11,55 | 12,13 | 13,59 | 15,0416,48 | — | — | — | — | — |  |
| 133 | 6,46 | 7,10 | 8,05 | 8,99 | 9,62 | 10,24 11,18 12,11 | 12,73 | 14,26 | 15,7817,29 | — | — | — | — | — |  |
| 140 | 6,81 | 7,48 | 8,48 | 9,47 | 10,14 10,80 11,78 12,76 | 13,42 | 15,04 | 16,6518,24 | — | — | — | — | — |  |
| 152 | 7,40 | 8,13 | 9,22 | 10,30 11,02 11,74 12,82 13,89 | 14,60 | 16,37 | 18,1319,87 | — | — | — | — | — |  |
| 159 | 7,74 | 8,51 | 9,65 | 10,79 11,54 12,30 13,42 14,52 | 15,29 | 17,15 | 18,9920,8222,6426,24 26,24 | — | — |  |
| 168 | 8,19 | 9,00 | 10,20 11,41 12,21 13,01 14,20 15,39 | 16,18 | 18,14 | 20,1022,0423,9727,79 31,57 | — | — |  |
| 177,8 | 8,67 | 9,53 | 10,81 12.08 12,93 13,78 15,04 16,31 | 17,14 | 19,23 | 21,3123,3725,4229,49 33,50 | — | — |  |
| 180 | — | — — — — — — — | 17,36 | — | 21,58 — | — | — | — | — | — |  |
| 193,7 | 9,46 | 10,39 11,79 13,18 14,11 15,03 16,42 17,80 | 18,71 | 21,00 | 23,2725,5327,7732,23 36,64 | — | — |  |
| 219 | — | — 13,35 14,93 15,98 17,03 18,60 20,17 | 21,21 | 23,80 | 26,3928,9631,5236,60 41,63 | 46,61 | — |  |
| 244,5 | — | — | — | — | 17,87 19,04 20,80 22,56 | 23,72 | 26,63 | 29,5332,4235,4241,00 46,66 | 52,27 | — |  |
| 273 | — | — — — — — — — | 26,54 | 29,80 | 23,0536,2839,5145,92 52,28 | 58,60 | — |  |
| 325 | — | — — — — — — — | 31,67 | 35,57 | 39,4643,3447,2054,90 62,54 | 70,14 | — |  |
| 355,6 | — | — — — — — — — | 34,68 | 38,96 | 43,2347,4951,7360,18 68,58 | 76,93 | 85,23 |  |
| 377 | — | — — — — — — — | 36,79 | 41,34 | 45,8750,3954,9063,87 72,80 | 81,68 | 90,51 |  |
| 406,4 | — | — — — — — — — | 39,70 | 44,60 | 49,5054,3859,2568,95 78,60 | 88,20 | 97,76 |  |
| 426 | — | — — — — — — — | 41,63 | 46,78 | 51,9157,0462,1572,33 82,47 | 92,55 102,59 |  |
| 530 | — | — — — — — — — | — | — | 64,7471,1477,5490,29102,99115,64128,24 |  |



 Список использованной литературы

1. Материал выданный на лекциях
2. http://media.ls.urfu.ru/Projects/460/uploaded/files/54998\_Пример%20расчета%20воздушной%20трассы.pdf