МИНИСТЕРСТВО
МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ СССР

(МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ СССР)

# УКАЗАНИЯ

## по расчету железобетонных дымовых труб

ВСН—286—72.

ММСС СССР

Заменен: ВСН 286-90 / Минмонтажспецстрой "Указания по расчету ж/бетонных дымовых труб" / ВНИПИ Теплопроект, 1990 г.

МОСКВА - 1972

gost.e-ecolog.ru

Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР
(Минмонтажспецстрой СССР)

# У К А З А Н И Я

# ПО РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ

ВСН-286-72
ММСС СССР

Москва
1972

В настоящих Указаниях приведен расчет железобетонных дымовых труб на совместное действие нагрузок от собственного веса и ветра и воздействия температуры (нагрев ствола отходящими газами и солнечной радиации), а также приведены новые данные по определению крена и осадок фундаментов дымовых труб в зависимости от их высоты.

Указания разработаны институтами НИИЖБ, ЦНИИСК им. Кучеренко, НИИОСП Госстроя СССР и ВНИПИ Теплопроект Минмонтажспецстроя СССР.

Участие в разработке приняли: от НИИЖБ – докт. техн. наук А.Ф.Милованов, канд. техн. наук Б.А.Альтшулер; от ЦНИИСК им. Кучеренко – доктора техн. наук Б.Г.Коренев, А.Р.Ржаницын, А.В.Геммерлинг, кандидаты техн. наук М.П.Баштейн, Власов В.Г., инж. П.К. Шкляревский; НИИОСП – докт. техн. наук К.Е. Егоров; от ВНИПИ Теплопроект канд. техн. наук И.А.Шишков, инженеры В.Г.Лебедев, В.В.Сидоров, В.С.Першко.

Редакторы Инж. Д.А.Аппак
Инж. И.М.Рейнов

| Минмонтажспецстрой СССР | Ведомственные строительные нормы | ВСН-286-72 |
|---|---|---|
| | Указания по расчету железобетонных дымовых труб | ММСС СССР |

## I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие указания распространяются на расчет монолитных железобетонных дымовых труб высотой более I50 м с ненапрягаемой арматурой.

Примечания: I. Железобетонные дымовые трубы высотой до I50 м должны рассчитываться по "Инструкции по проектированию железобетонных дымовых труб". М., Госстройиздат, 1962, при этом ветровые нагрузки следует принимать по действующей главе СНиП "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования".

2. Монолитные железобетонные дымовые трубы высотой более I50 м с ненапрягаемой арматурой далее в тексте "Указаний" будут именоваться сокращенно "трубы".

I.2. Расчет труб, возводимых в сейсмических районах, должен вестись с учетом требований главы СНиП II-2.I2-69 "Строительство в сейсмических районах. Нормы проектирования".

I.3. Расчет железобетонных плит для фундаментов дымовых труб должен выполняться согласно "Инструкции по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учётом перераспределения усилий" 2-е издание (М., Госстройиздат, I96I).

I.4. При расчетах труб кроме настоящих Указаний надлежит соблюдать требования глав СНиП II-B.I-62* "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" и II-B.7-67 "Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Нормы проектирования".

| Внесены | Утверждены | Срок введения |
|---|---|---|
| ВНИПИ Теплопроект, НИИЖБ, ЦНИИСК, НИИОСП | Минмонтажспецстроем СССР "27" января 1972 г. № | "I" марта 1972 г. |

## 2. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБЫ

### Общие указания

2.I. Расчет трубы следует производить по двум группам предельных состояний: по потере несущей способности и по непригодности к нормальной эксплуатации.

При расчете по первой группе предельных состояний необходимо учитывать одновременное действие нагрузки от собственного веса, расчетной ветровой нагрузки, а также влияние температуры отводимых газов; при расчете по второй группе предельных состояний - одновременное действие собственного веса, нормативной нагрузки от ветра, а также влияние температуры отводимых газов и солнечной радиации.

Примечание. Собственный вес трубы принимается без коэффициентов перегрузки.

Предельному состоянию по потере несущей способности вертикальных и горизонтальных сечений трубы отвечает образование пластического шарнира, в том числе:

- в горизонтальных сечениях трубы с наветренной стороны пластическому шарниру соответствует состояние, когда зона текучести растянутой арматуры, равномерно расположенной по периметру кольца, доходит до центра тяжести арматуры растянутой зоны (рис.I); с подветренной стороны этому соответствует полное использование прочности сжатой зоны бетона;

- в вертикальных сечениях предельному состоянию соответствует текучесть растянутой арматуры.

Вторая группа предельных состояний вертикальных и горизонтальных сечений трубы характеризуется достижением трещинами предельной величины раскрытия, равной: для верхней трети высоты трубы - 0,I мм; для остальной части трубы - 0,2 мм.

2.2. Определение напряжений от температурных воздействий следует производить при наибольшем значении температуры отводимых газов, расчетной температуре наружного воздуха (средней температуре наиболее холодной пятидневки) и наибольшем значении коэффициента теплоотдачи наружной поверхности трубы ( $\alpha_н$ ).

2.3. Для армирования труб принимается, как основная, стержневая арматура периодического профиля классов А-II и А-III. Расчетные характеристики арматуры приводятся в табл. 5 приложения I.

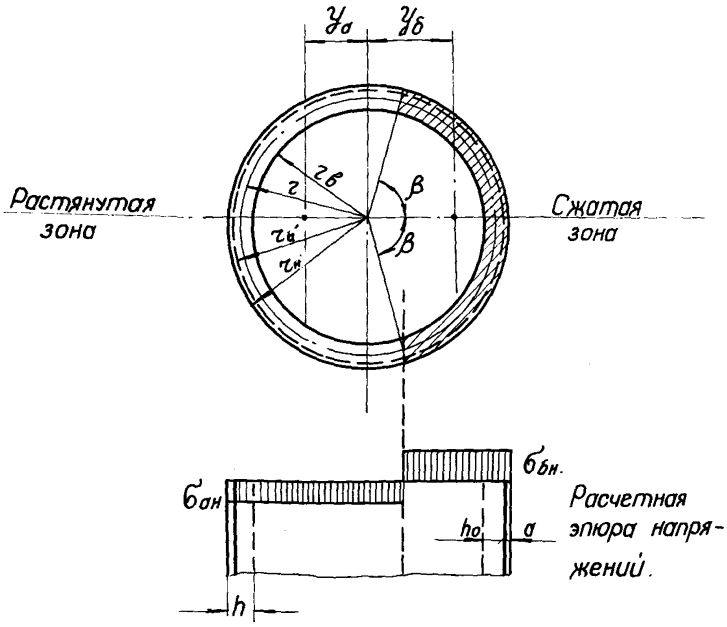



Рис.I. Расчетная схема горизонтального сечения трубы и эпюра напряжений

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$y_a$ – расстояние от центра трубы до центра тяжести растянутой зоны.

$y_б$ – расстояние от центра трубы до центра тяжести сжатой зоны

$r_в$ – внутренний радиус сечения.

$r_а$ – радиус арматуры.

$r_н$ – наружный радиус сечения.

$r$ – расчетный радиус, равный

$\beta$ – половина угла сжатой зоны.

$б_{ан}$ – напряжение в растянутой арматуре.

$б_{бн}$ – сжимающие напряжения в бетоне.

$h$ – толщина стенки трубы.

$h_о$ – полезная высота сечения стенки трубы.

2.4. Бетон для труб принимается проектной марки по прочности на сжатие не ниже 300 на портландцементе. Марки бетона по морозостойкости и водонепроницаемости следует принимать в соответствии с требованиями нормативных документов. Расчетное сопротивление бетона сжатию принимается равным 0,9 $R$ пр. с учетом условий работы бетона в трубах.

## Определение расчетной ветровой нагрузки

2.5. Трубы рассчитываются на ветровую нагрузку с учетом 3-х форм свободных колебаний.

2.6. Расчетная ветровая нагрузка $P_{ik}$ (т), действующая на участок трубы $k$ (рис.2), при колебаниях его по $i$-ой форме ($i$ =I,2,3) (труба условно разбивается по высоте на $\tau$ участков с текущим номером $j$ =I,2... $k$ ... $\tau$, при этом масса $j$-го участка и действующая на него ветровая нагрузка принимаются сосредоточенными в середине участка с абсциссой $x_j$) определяется по формуле:

$$P_{ik} = P_k^c + P_{ik}^д , \qquad (I)$$

где

$P_k^c = q_k S_k$ – расчетная ветровая нагрузка (т) на $k$-й участок трубы, соответствующая статическому действию скоростного напора ветра;

$q_k = q_0 k_k c n$ – расчетное давление ветра (в т/м$^2$) для середины $k$-го участка;

$q_0$ – нормативный скоростной напор ветра в т/м$^2$ для высоты над поверхностью земли до I0 м, принимаемый по табл.9 п.6.I главы СНиП П-А. II-62 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования";

$k_k$ – поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора для середины данного участка, принимаемый по табл.I0 главы СНиП П-А. II-62;

$c$= 0,7 – аэродинамический коэффициент для звена $k$;

$n$ – коэффициент перегрузки: для труб высотой от I50 до 300 м – I,4; выше 300 м – I,5;

$S_k$ – площадь проекции $k$-го звена (м$^2$) на плоскость, перпендикулярную ветровому потоку;

$P_{ik}^д = M_k \eta_{ik} \xi_i$ – расчетная инерционная сила (т), действующая в середине $k$-го звена при колебаниях трубы по $i$-ой форме;

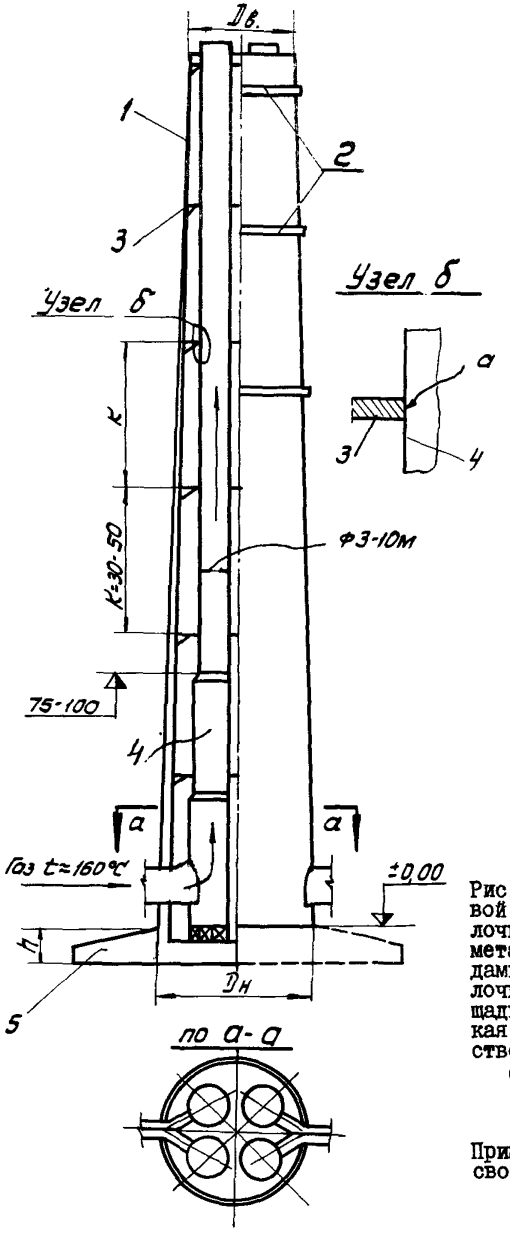



Рис.2. Схема конструкции дымовой трубы с железобетонной оболочкой и четырьмя внутренними металлическими стволами-газоходами: I - железобетонная оболочка трубы; 2 - светофорная площадка; 3 - сплошная металлическая площадка; 4 - металлический ствол-газоход (самонесущий); $\delta_{ср}$ =I2 мм; 5 - фундамент под трубу

Примечание. Металлический ствол 4 свободно опирается в точке а на металлическую площадку 3

$M_k$ – масса $k$ -го звена ( $\frac{т.сек^2}{м}$ );

$\eta_{ik}$ – приведенное ускорение (м/сек$^2$) середины $k$ -го звена при колебаниях трубы по $i$ -ой форме

$$\eta_{ik}=\frac{\alpha_i(x_k)\sum_{j=1}^{\tau}\alpha_i(x_j)P_j^c m_j}{\sum_{j=1}^{\tau}\alpha_i^2(x_j)M_j} \qquad (2)$$

В формуле (2) $\alpha_i(x_k)$ и $\alpha_i(x_j)$ – относительные ординаты $i$ -ой формы свободных колебаний трубы в рассматриваемой точке с абсциссой $x_k$ и во всех точках с абсциссами $x_j$ ( $j$ =I,2... $k$ ... $\tau$ ), где сосредоточены массы $M_j$ ;

$m_j$ – коэффициент пульсации скоростного напора для середины $j$ -го участка, определяемый по табл. I2 главы СНиП П-А. II-62 ;

$\zeta_i$ – коэффициент динамичности, зависящий от периода $i$ – ой формы свободных колебаний и от логарифмического декремента колебаний трубы, определяемый по графикам на рис.3.

## Расчет горизонтальных сечений трубы

2.7. Усилия в горизонтальных сечениях трубы определяются методом последовательных приближений.

Окончательными являются усилия или прогибы $n$ -го приближения, которые отличаются от $n$ -I приближения не более, чем на 5%.

При расчете горизонтальных сечений трубы по первой и второй группам предельных состояний изгибающий момент определяют от соответствующих нагрузок и воздействий, указанных в п.2.I. В необходимых случаях принимают наибольший изгибающий момент с учетом проверки трубы на резонанс.

2.8. При расчете трубы по первой группе предельных состояний прогибы и усилия определяют в следующем порядке:

I. Для всех сечений трубы задаются толщиной стенки и сечением вертикальной арматуры на I пог.м длины окружности трубы.

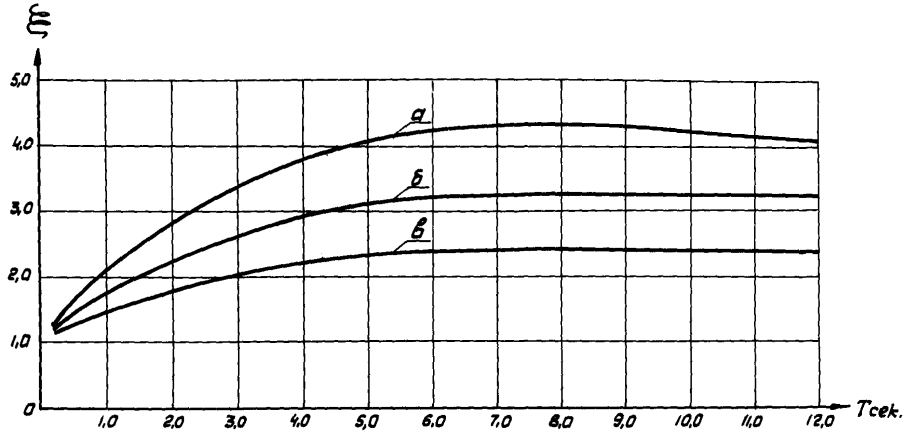



Рис.3

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИНАМИЧНОСТИ

а- для гибких стальных конструкций (логарифмический декремент колебаний $\delta \approx 0,10$)

б- для металлических и деревянных сооружений ( $\delta \approx 0,15$)

в- для железобетонных и каменных сооружений ( $\delta \approx 0,30$)

2. Определяют нормальные силы (от собственного веса ствола, футеровки, площадок и т.п.) и изгибающие моменты от статических расчетных ветровых нагрузок и динамических воздействий порывов ветра.

В первом приближении изгибающие моменты определяют без учета нормальных сил по формуле:

$$M^{(1)}_{изг.к} = M^{с}_{изг.к} + M^{д}_{изг.к} \qquad (3)$$

где $M^{с}_{изг.к}$ – изгибающий момент в $k$-ом сечении трубы от расчетных статических ветровых нагрузок $P_j$;

$M^{д}_{изг.к}$ – изгибающий момент от динамического воздействия порывов ветра:

$$M^{д}_{изг.к} = \sqrt{\sum_{i=1}^{3} \left(M^{д}_{ik}\right)^2}\ , \qquad (4)$$

В формуле (4) $M^{д}_{ik} = \sum_{j=k}^{n} P^{д}_{ij} (x_j - x_k)$ – динамический изгибающий момент в $k$-ом сечении трубы при колебаниях его по $i$-ой форме;

$P^{д}_{ij}$ – расчетная инерционная сила, определяемая согласно пункту 2.6. настоящих Указаний.

3. Определяют напряжение в арматуре ( $\sigma_{ан}$ ) и бетоне ($\sigma_{бн}$) соответственно согласно п.п. 2.13 и 2.14.

4. Определяют кривизну оси трубы по формуле:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_{ан} + \frac{\alpha_1}{M_1}\sigma_{бн}}{0{,}6\, E_a z \left(1 + \frac{\sin\beta}{\pi - \beta}\right)} \qquad (5)$$

при $\beta < 90^{\circ}$ кривизну оси трубы допускается определять по формуле

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_{ан}}{0{,}5\, E_a z \left(1 + \cos\beta\right)} \qquad (6)$$

5. Принимая эпюру кривизны первого приближения за фиктивную нагрузку, определяют прогибы трубы - $y_к^{(1)}$

6. Вычисляют дополнительный момент ( $Mq^{(1)}$ ) от нормальных сил, при этом, кроме перемещения $y_к^{(1)}$ учитывают перемещения от крена фундамента - $y_{кр.к}$

7. Во втором приближении определяют перемещения трубы по суммарному изгибающему моменту $(M_{изг.к}^{(2)})$ вычисляют новый дополнительный изгибающей момент $(Mq^{(2)})$ и суммируют его с моментом

$$M_{изг.к}^{(3)} = M_{изг.к}^{(2)} + Mq^{(2)} ;$$

2.9. Для определения напряжений в сечениях трубы предварительно определяют центральный угол $2\beta$ , ограничивающий сжатую зону (см.рис.I).

Величину $\beta$ определяют в зависимости от $\alpha_1$ и Со по графикам, приведенным в приложении 4 на рис. II.

$$\alpha_1 = 4\mu_1 \cdot \frac{E_a}{E_б \beta_б} \qquad (7)$$

В формуле (7) $\beta_б$ - определяется по табл.3 главы СНиП П-В. 7-67 или по опытным данным в зависимости от средней температуры сечения стенки

$$\mu_1 = \frac{F_a}{bh} \qquad (8)$$

где $b$ - ширина полосы, равная IOO см

$$C_o = \frac{M_{изг.}}{N r} > \frac{r_я}{r} \qquad (9)$$

Для неослабленного сечения

$$r_я = \frac{r_н^2 + r_в^2}{4 r_н} \qquad (IO)$$

где $r_н$ , $r_в$ - соответственно наружный и внутренний радиусы стенки трубы.

2.IO. При расчете по второй группе предельных состояний прогиб трубы определяют от суммарного действия нормативной ветровой нагрузки, крена фундамента, солнечной радиации и нормальных сил.

Прогиб $f$ верха трубы от действия солнечной радиации принимают равным 0,005 Н, где Н – высота трубы. Для упругой линии трубы при учете солнечной радиации принимается парабола вида:

$$y = \frac{f}{H^2} x^2; \qquad (11)$$

2.11. Суммарный изгибающий момент от нормативных нагрузок определяют путем деления расчетного момента на коэффициент перегрузки:

$$M^{н}_{изг.к} = \frac{M^{с}_{изг.к} + M^{д}_{изг.к}}{n} \qquad (12)$$

2.12. В случае, когда равнодействующая нормальных сил при действии ветровой нагрузки и при одновременном воздействии на сечение температуры не выходит из ядра сечения, прогиб трубы рекомендуется определять как для консольной балки с переменной жесткостью по формуле:

$$B = \beta_б E_б J; \qquad (13)$$

В формуле (13):

$\beta_б$ – определяют в зависимости от средней температуры стенки трубы в рассматриваемом сечении:

$$J = 0{,}785\left[(r_б + \xi_c h_o)^4 - r_б^4\right] \qquad (14)$$

где $\xi$ – средняя относительная высота сжатой зоны сечения стенки, определяется по формуле (31)

2.13. Напряжение в растянутой арматуре трубы определяют по формуле:

$$\sigma_{ан} = \frac{n_б\left(C_o \frac{\beta}{\xi_1 n \beta} - 1\right)}{\pi \mu_1}; \qquad (15)$$

где $$n_б = \frac{N}{2\pi h}; \qquad (16)$$

$$r = \frac{r_н + r_б}{2}$$

Напряжение в арматуре $\sigma_{ан}$ должно удовлетворять условию:

$$\sigma_{ан} \le \gamma^{n}_{a} R_a \qquad (17)$$

В формуле (I7)

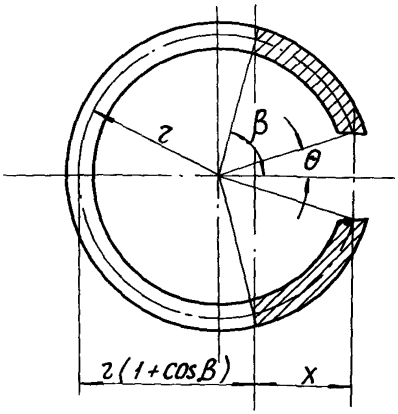
$\gamma_a$ – принимается по табл. 8 главы СНиП II-В.7-67 в зависимости от температуры арматуры;

$R_a$ – по табл.5 приложения I данных "Указаний".

2.I4. Напряжение в бетоне сжатой зоны от действия собственного веса и ветровой нагрузки определяют по формуле:

$$\sigma_{бн} = \frac{n_c \left( C_o \frac{\pi - \beta}{3 \sin \beta} + 1 \right)}{\pi \left( 1 + \alpha_1 \right)} \qquad (I8)$$

При наличии в расчетном сечении трубы ослабления проемом (см.рис.4) напряжения в трубе следует определять по графику рис.I2 приложения 4.




$$X = r(\cos\theta - \cos\beta)$$

Рис.4. Расчетная схема сечения ствола с проемом в сжатой зоне: $\theta$ – половина угла проема в трубе; X – высота сжатой зоны

2.I5. При совместном действии внешних нагрузок и температуры суммарное напряжение в бетоне с подветренной стороны сечения определяют по формуле:

$$\sigma_б = \sigma_{бн} + \sigma_{бt} \qquad (I9)$$

где $\sigma_{бн}$ – напряжение в бетоне от расчетных нагрузок;

$\sigma_{бt}$ – напряжение в бетоне, вызванное воздействием температурного перепада, определяемое по формуле:

$$\sigma_{бt} = 0{,}25\,\frac{1}{\rho_t}\,h\,\bar{y}\,\beta_б\,F_б\ ; \qquad (20)$$

В формуле (20):

$\beta_б$, $\bar{y}$ – принимаются по температуре наиболее нагретой поверхности сечения по таблицам соответственно 3 и 5 главы СНиП II-В.7-67.

$\frac{1}{\rho_t}$ – температурная кривизна, определяемая по формуле:

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бр}\,t_б - \alpha_{бр_1}\,t_{б_1}}{h}\,n_t \qquad (2I)$$

где $\alpha_{бр}$ и $\alpha_{бр_1}$ – коэффициенты суммарной температурной деформации бетона, принимаемые по табл. 6 главы СНиП II-В.7-67 в зависимости от температуры соответственно наиболее и наименее нагретых граней сечения $(t_б$ и $t_{б_1})$ ;

$n_t$ – коэффициент перегрева, принимаемый при расчете на прочность равным I,I.

П р и м е ч а н и е. Перепады температуры в железобетонной стенке трубы определяются расчетами температурного режима ограждающих конструкций.

Суммарное напряжение в бетоне должно удовлетворять условию:

$$\sigma_б \leq 0{,}9\gamma_б^{n} R_{пр}\ , \qquad (22)$$

В формуле (22):

$\gamma_б^{n}$ – определяют по табл.3 главы СНиП II-В.7-67 или по опытным данным в зависимости от температуры наиболее нагретой поверхности сечения.

2.I6. Ширину раскрытия горизонтальных трещин определяют в зависимости от изгибающего момента,вызванного комбинацией нагрузок

и воздействий, отвечающих второй группе предельных состояний (см.п.2.I). По величине суммарного изгибающего момента по формуле (9) определяют величину Со.

Если Со оказывается менее $\frac{\gamma_я}{\gamma}$, то горизонтальные трещины в трубе определяют только от температурного перепада в трубе.

Если Со равно или более $\frac{\gamma_я}{\gamma}$, то по найденному суммарному изгибающему моменту вычисляют $\sigma^н_{ан}$ и находят значения коэффициента Р по формуле:

$$P = \frac{1{,}5\,\sigma^н_{ан}\,\psi_а}{E_а \frac{1}{\rho_t} h_о} \qquad (23)$$

где

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бр} t_б - \alpha_{atc} t_а}{h_о} \qquad (24)$$

В формуле (24):

$\alpha_{бр}$ – коэффициент суммарной температурной деформации бетона, определяемый по табл.6 главы СНиП П-В.7-67 в зависимости от температуры нагретой поверхности бетона;

$$\alpha_{atc} = \alpha_{бр} + (\alpha_{at} - \alpha_{бр})\,\kappa\,, \qquad (25)$$

В формуле (25):

$\alpha_{at}$ – коэффициент температурного расширения арматуры, определяемый по табл.8 главы СНиП П-В.7-67 в зависимости от температуры арматуры;

$\alpha_{бр}$ – определяют по температуре бетона на уровне арматуры;

$\kappa$ – коэффициент, зависящий от процента армирования сечения продольной арматурой, определяемый по табл.9 главы СНиП П-В.7-67 ;

$\sigma^н_{ан}$ – напряжение в арматуре от нормативных нагрузок, определяемое по формуле (I5).

Значение коэффициента $\psi_а$ в формуле (23) определяют по формуле:

$$\psi_а = 1 - \frac{0{,}234\left(\frac{h}{h_о}\right)^2 \gamma_{бр} R^н_р}{1{,}3\,\sigma^н_{ан}\cdot\mu} \qquad (26)$$

Значение $\gamma_{b_2}$ находят по табл.3 главы СНиП II-В.7-67 или по опытным данным в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры.

Коэффициент $\psi_a$ должен приниматься не более I и не менее значения, определяемого по формуле:

$$\psi_a = \frac{1}{1 + 0{,}17\frac{K}{C}}, \qquad (27)$$

где $K$ и $C$ вычисляют по формулам соответственно:

$$K = \frac{\left(\frac{h}{h_o}\right)^3\left(\frac{h}{h_o} + 0{,}68\alpha\right)}{\alpha\left(\frac{h}{h_o} + 0{,}86\alpha\right)} \qquad (28$$

$$C = \left(1 - \xi_c\right)\left(1 - 0{,}5\,\xi_c\right) \qquad (29)$$

или определяются по графикам на рис.5 и 6. Значение $\xi$ определяется по формуле (3I);

$\alpha$ - коэффициент, принимаемый при определении $\xi$

2.I7. Если $P \geq$ I, тогда напряжение в арматуре, принимаемое в дальнейшем для расчета раскрытия трещин, равно $1{,}5\,\sigma^{н}_{ан}$ .

Если $P <$ I, напряжение в арматуре $\sigma_{act}$ ,принимаемое в дальнейшем расчете, определяется по формуле:

$$\sigma_{act} = E_a \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h_o\left(1 - \xi_c\right), \qquad (30)$$

где $\frac{1}{\rho_t}$ определяется по формуле (24).

Относительную высоту сжатой зоны ( $\xi_c$ ) определяют по формуле:

$$\xi_c = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + q}, \qquad (3I)$$

где $q = \alpha\left(1 - P\right)$; $\alpha = 3\mu\frac{E_a}{\beta_5 E_5}$

Значение коэффициента $\beta_5$ определяется в зависимости от температуры наиболее нагретой поверхности бетона.

Величина $\sigma_{at} \geq \frac{\sigma_{act}}{\psi_a}$ должна удовлетворять условию

$$\sigma_{at} \geq \gamma_a R_a$$

где $R_a$ - принимается по табл.5 приложения I.

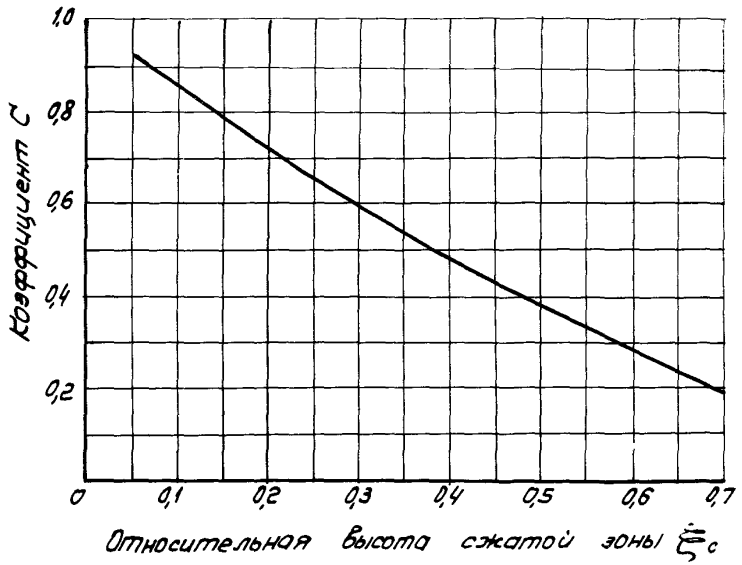



Рис.5. Значения коэффициента $c=(1-\xi_c)(1-0{,}5\xi_c)$ в зависимости от относительной высоты сжатой зоны $\xi_c$

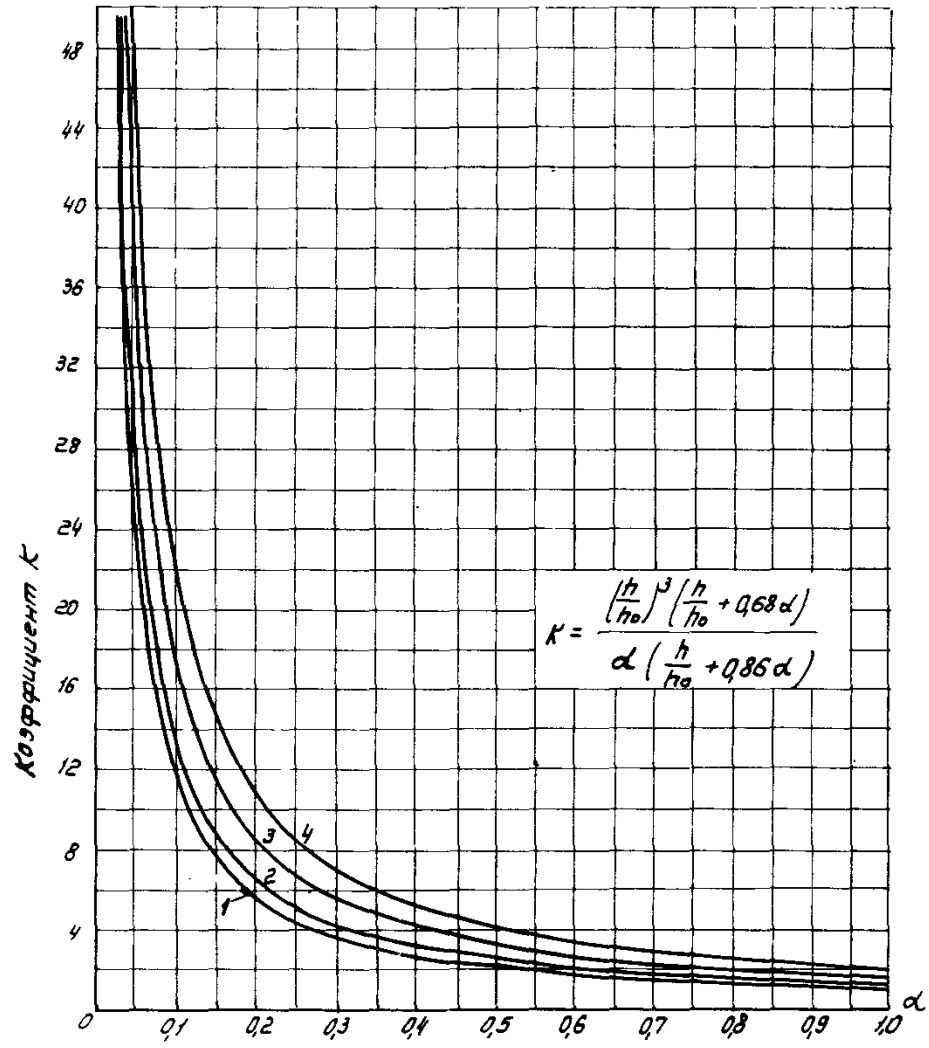



Рис.6. Значения коэффициента $K$ в зависимости от $\alpha$ для разных значений $\frac{h}{h_0}$ :1-1,05; 2-1,10; 3-1,20; 4-1,30

Значение коэффициента $\psi_a$ определяют по формуле:

$$\psi_a = \frac{1}{1 + \frac{0{,}234\left(\frac{h}{h_o}\right)^2 \gamma_{бр} R_p^н}{\sigma_{act}\cdot\left(1 - 0{,}5\,\frac{h_f}{h_o}\right)\mu}} \qquad (32)$$

Предельные минимальные значения коэффициента $\psi_a$ вычисляются по формуле (27).

2.18. Ширину раскрытия горизонтальных трещин определяют по формуле:

$$a_T = \frac{\sigma_{ac}}{E_a}\,\ell_T\,, \qquad (33)$$

где $\sigma_{ac}$ – среднее напряжение в растянутой арматуре, принимаемое при расчете ширины раскрытия трещин большим из двух значений:

$$\sigma_{ac} = \sigma_{act} \qquad (34)$$

или

$$\sigma_{ac} = 1{,}5\,\sigma_{ah}^н \cdot \psi_a\,, \qquad (35)$$

где $\psi_a$ – определяется по формуле

$$\psi_a = 1 - 0{,}7\,\frac{0{,}53\,\gamma_{бр} R_p^н}{\sigma_{ah}^н \mu}\,, \qquad (36)$$

где $\gamma_{бр}$ – определяется по табл.3 главы СНиП II-В.7-67 или по опытным данным в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры.

Расстояние между трещинами $\ell_T$, подставляемое в формулу (33), определяют:

при $\sigma_{ac}$ принимаемому по формуле (35)

$$\ell_T = \frac{U}{\mu_1}\,\eta\,; \qquad (37)$$

при $\sigma_{ac}$ принимаемому по формуле (34)

$$\ell_T = K_1 n_t U \cdot \eta\,, \qquad (38)$$

где

$$K_1 = \frac{0{,}292 + 1{,}4\,\mu n_t}{\mu \cdot n_t\,(1 - 0{,}5\,\frac{h_f}{h_o})} - 2\,; \qquad (39)$$

$$n_t = \frac{E_a}{E_б \beta_б}\,, \qquad (40)$$

В формуле (40): $\beta_б$ – определяют по температуре бетона на уровне арматуры;

$$U = \frac{F_a}{S}, \qquad (41)$$

где $S$ – периметр сечения арматуры по номинальному диаметру без учета выступов ребер;

для арматуры одного диаметра:

$$U = \frac{d}{4} \qquad (42)$$

$\eta$ – коэффициент, зависящий от вида растянутой арматуры, принимаемый согласно главы СНиП II-В.I-62*.

2.I9. В формулах (26, 32, 36, 37 и 39 значение $\mu$ определяется в зависимости от количества лишь той арматуры, которая устанавливается у наружной поверхности трубы, т.е.

$$\mu = \frac{F_a - F_{ав}}{100\, h_o}, \qquad (43)$$

В формуле (43):

$F_{ав}$ – площадь арматуры, устанавливаемой у внутренней поверхности трубы.

2.20. При расчете трубы ее гибкость рекомендуется предварительно принимать с отношением $\frac{H}{Д_н} \leq 20$ с последующей проверкой устойчивости трубы согласно приложению 3, где Н– полная высота ствола трубы ( или отдельных его участков).

Дн – наружный диаметр основания ствола (или его отдельных участков).

2.2I. В многоствольных трубах (см.рис.2) стальные стволы и металлоконструкции, расположенные внутри ж.б. ствола, учитываются только при определении масс отдельных их участков. Устойчивость самих стальных стволов проверяется по главе СНиП II-В.3-62. "Стальные конструкции. Нормы проектирования".

При прогибах трубы от горизонтальных воздействий необходимо определить в стальных стволах изгибающие моменты от заданных перемещений. По найденным моментам определяются продольные нормальные напряжения в сечениях стволов ( $\sigma = \frac{M}{W}$ ) и напряжения сжатия от веса стальных стволов и их футеровок. Согласно главе СНиП II-В.3-62 п.п.6,I7-6.20 суммарные сжимающие напряжения от продольных сил и моментов не должны превышать расчетных осевых напряжений $\sigma_{oi}$ .

## Расчет вертикальных сечений

2.22. Расчет вертикальных сечений производят по формуле:

$$\sigma_{\alpha t} = \frac{\sigma_{\alpha ct}}{\psi_\alpha} \leq \gamma_\alpha R_\alpha \qquad (44)$$

где $R_\alpha$ – принимается по табл.5 приложения I.

$\sigma_{\alpha ct}$ – определяется по формуле (30), в которой величина $\xi_c$ определяется по формуле (3I) при $q = \alpha$ .

Значение $\psi_\alpha$ вычисляется по формуле (32).

Ширина раскрытия вертикальных трещин определяется по формулам (33,34 и 38).

2.23. Расчет внутренней кольцевой арматуры производится на перепад температуры не менее 25°, аналогично расчету наружной кольцевой арматуры.

## Поверочный расчет на резонанс

2.24. Для дымовых труб со слабой коничностью (не более I,2%) кроме расчета на скоростной напор ветра с учетом его порывов необходим также поверочный расчет на резонанс.

Критическая скорость ветра, вызывающая резонансные колебания трубы в направлении, перпендикулярном ветровому потоку, определяется по формуле:

$$v_{кр} = \frac{5 d_в}{T} \qquad (45)$$

В формуле (45):

$T$ – период основного тона свободных колебаний трубы (сек);

$d_в$ – наружный диаметр верхнего сечения трубы (м).

Интенсивность аэродинамической силы $F(x,t)$ , действующей на трубу, определяется по формуле:

$$F(x,t) = F_{(x)} \sin \omega t \; ; \qquad (46)$$

где $F_{(x)} = F_0 \alpha(x)$ – амплитуда аэродинамической силы, действующей на уровне с абсциссой " $x$ ";

$\alpha(x)$ – относительная ордината первой формы свободных колебаний;

$F_0 = 0{,}02\, v^2 d_в$ – амплитуда аэродинамической силы, соответствующая свободному концу сооружения (кг/м);

$\omega = \frac{2\pi}{T}$ – круговая частота.

2.25. Резонансная амплитуда колебаний $y^{p}(x)$ и изгибающий момент $M^{p}_{изг}(x)$ в сечении трубы с абсциссой "x" определяется по формулам:

$$y^{p}(x) = 0{,}8\,\frac{\pi}{\delta}\,y^{c}(x) \quad ; \tag{47}$$

$$M^{p}_{изг}(x) = 0{,}8\,\frac{\pi}{\delta}\,M^{c}_{изг}(x) \tag{48}$$

где $y^{c}(x)$, $M^{c}_{изг}(x)$ – прогиб и изгибающий момент от статически приложенной нагрузки ;

$\delta = 0{,}3$ – логарифмический декремент колебаний;

$0{,}8$ – коэффициент, учитывающий малую вероятность возникновения плоскопараллельного потока по высоте трубы.

Расчетный изгибающий момент $M'_{изг}(x)$ в рассматриваемом сечении трубы определяется по формуле:

$$M'_{изг}(x) = \sqrt{\left(M^{p}_{изг}(x)\right)^{2} + \left(M^{д}_{изг}(x)\right)^{2}} \tag{49}$$

где $M^{д}_{изг}(x)$ – определяется по пункту 2.7 настоящих "Указаний", при этом величины $P^{c}_{i}$ и $P^{д}_{i}$ определяются по формулам пункта 2.6 в зависимости от

$$q = \frac{v^{2}_{кр}}{16}\cdot c \tag{50}$$

## 3. Расчет оснований под фундаменты труб

### Определение нормативного давления на основание

3.1. Исходными данными для расчета оснований под фундаменты труб должны служить материалы инженерно-геологических изысканий.

В соответствии с требованиями главы СНиП II-Б.1-62*"Основания здания и сооружений. Нормы проектирования" расчет оснований, сложенных нескальными грунтами, производится по второй группе предельных состояний (по деформациям). В тех случаях, когда основание сложено скальными грунтами, расчет может быть произведен по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

3.2. Нормативные давления на основания следует определять по формуле:

$$R^{н} = m\left[(Ab + Bh)\,\gamma_{o} + Д\,c^{н}\right], \tag{51}$$

где $h$ – глубина заложения фундамента от планировочной отметки до подошвы фундамента (м); в случае кольцевого фундамента величина $h$ принимается равной высоте подсыпки внутри стакана фундамента и должна быть не менее высоты кольцевой плиты;

$b$ – диаметр круглого фундамента или ширина кольца при кольцевом фундаменте (м);

$\gamma_o$ – средний объемный вес грунта (т/м$^3$), залегающего в пределах глубины $h$ и ниже – на одну четверть диаметра или ширины кольца фундамента $h+\frac{1}{4}b$;

$C^н$ – нормативное удельное сцепление грунтов (т/м$^2$), залегающих в пределах глубины $h+1/4b$;

$m$ – коэффициент условия работы, обычно принимаемый равным единице, за исключением случаев заложения фундаментов в водонасыщенных грунтах типа мелкозернистых и пылеватых песков, для которых берется соответственно $m=0,8$ и $m=0,6$;

А, В, Д – коэффициенты, зависящие от среднего значения нормативного угла внутреннего трения ($\varphi^н$ в градусах) грунтов, залегающих в пределах $h+1/4b$, принимаемые по табл.I.

В случае применения железобетонной плиты в виде кольца с соотношением радиусов $r_1/r_2 \geq 0,5$ (внутреннего к внешнему) давления на грунт определяются с коэффициентами А, В, Д, вычисленными для ленточных фундаментов при ширине кольца $b = r_2 - r_1$ ; при $r_1/r_2 < 0,5$ давления на основании определяются как для круглого фундамента, считая условно $b = 2r_2$

Расчетные характеристики сжимаемого основания

3.3. Основными расчетными характеристиками сжимаемого основания конечной толщины является величина сжимаемой толщи H и модуль деформации "E".

3.4. Толщину сжимаемого слоя основания круглого фундамента допускается принимать равной половине диаметра ($H=\frac{b}{2}$) для глинистых грунтов и одной трети диаметра ($H=\frac{b}{3}$) для песчаных грунтов. В случаях, когда ниже сжимаемого слоя имеются прослойки слабых грунтов, величину сжимаемой толщи основания следует определять в соответствии с главой СНиП II-Б.I-62.

Таблица I

| Нормативные значения угла внутреннего трения (град.) | Коэффициенты в формуле ( 5I ) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | для круглых фундаментов | | | для ленточных фундаментов | | |
| | Ак | Вк | Дк | Ал | Вл | Дл |
| 0 | 0 | I | 3,37 | 0 | I | 3,I4 |
| 2 | 0,03 | I,I2 | 3,56 | 0,03 | I,I2 | 3,32 |
| 4 | 0,06 | I,26 | 3,77 | 0,06 | I,25 | 3,5I |
| 6 | 0,I0 | I,42 | 4,00 | 0,I0 | I,39 | 3,7I |
| 8 | 0,I5 | I,60 | 4,25 | 0,I4 | I,55 | 3,93 |
| I0 | 0,20 | I,80 | 4,5I | 0,I8 | I,73 | 4,I7 |
| I2 | 0,26 | 2,02 | 4,8I | 0,23 | I,94 | 4,42 |
| I4 | 0,32 | 2,28 | 5,I2 | 0,29 | 2,I7 | 4,69 |
| I6 | 0,39 | 2,56 | 5,46 | 0,36 | 2,43 | 5,00 |
| I8 | 0,47 | 2,90 | 5,84 | 0,43 | 2,72 | 5,3I |
| 20 | 0,57 | 3,38 | 6,25 | 0,5I | 3,06 | 5,66 |
| 22 | 0,68 | 3,7I | 6,7I | 0,6I | 3,44 | 6,04 |
| 24 | 0,80 | 4,2I | 7,20 | 0,72 | 3,87 | 6,45 |
| 26 | 0,94 | 4,78 | 7,75 | 0,84 | 4,37 | 6,90 |
| 28 | I,II | 5,45 | 8,36 | 0,98 | 4,93 | 7,40 |
| 30 | I,30 | 6,20 | 9,00 | I,I5 | 5,59 | 7,95 |
| 32 | I,55 | 7,I9 | 9,80 | I,34 | 6,35 | 8,55 |
| 34 | I,79 | 8,I8 | I0,64 | I,55 | 7,2I | 9,2I |
| 36 | 2,II | 9,43 | II,6I | I,8I | 8,25 | 9,98 |
| 38 | 2,50 | I0,98 | I2,78 | 2,II | 9,44 | I0,80 |
| 40 | 2,93 | I2,70 | I3,95 | 2,46 | I0,84 | II,73 |
| 42 | 3,46 | I4,86 | I5,39 | 2,87 | I2,50 | I2,77 |
| 44 | 4,II | I7,70 | I7,04 | 3,37 | I4,48 | I3,96 |
| 45 | 4,49 | I8,96 | I7,96 | 3,66 | I5,64 | I4,64 |

3.5. Модуль деформации грунтов "Е" следует определять путем испытания грунтов штампами согласно ГОСТ 12374-66 "Грунты. Метод полевого испытания статическими нагрузками".

Расчет средней осадки и крена фундамента

3.6. Средняя осадка фундамента трубы, лежащего на многослойном основании конечной толщины Н, определяется по формуле:

$$S = \left( P\beta \sum_{1}^{n} \frac{K_i - K_{i-1}}{m E_i} \right) M \qquad (52)$$

где $\beta$ – диаметр круглого или ширина кольцевого (ленточного) фундамента (см);

$P$ – среднее давление на основание без вычета бытового давления на отметке подошвы фундамента; это давление должно быть меньше или равно $R^н$ ;

$E_i$ – модуль деформации $i$-го слоя грунта (кг/см$^2$) (имеется в виду горизонтальное напластование грунтов);

$K_i$ – безразмерный коэффициент для $i$-го слоя грунта, который в зависимости от расстояния $Z$ между подошвами фундамента и слоя, взятого в долях от диаметра фундамента (т.е.отношения $\frac{2Z}{\beta}$ ), вычислен с использованием модели однородного линейно деформируемого полупространства и приведен в табл.2, причем в случае кольцевого фундамента (при $z_1/z_2 \geq 0{,}5$) коэффициент $K_i$ принимается как для ленточного фундамента с отношением $\frac{2Z}{\beta}$, где $\beta = z_2 - z_1$ ;

Примечание: При $z_1/z_2 < 0{,}5$ условно принимается $\beta = 2z_2$ , как для круглого фундамента.

М – поправочный коэффициент, позволяющий учитывать концентрацию напряжений в сжимаемом слое грунта конечной толщиной Н по сравнению с упругим полупространством (влияние условий на границе сжимаемого слоя), значение которого приведено ниже:

$M = 1{,}5$; при $0 < \frac{2H}{\beta} \leq 0{,}5$

$M = 1{,}4$; " $0{,}5 < \frac{2H}{\beta} \leq 1{,}0$

$M = 1{,}3$; " $1{,}0 < \frac{2H}{\beta} \leq 2$

$M = 1{,}2$; " $2 < \frac{2H}{\beta} \leq 3$

$M = 1{,}1$; " $3 < \frac{2H}{\beta} \leq 5$

$M = 1{,}0$; " $5 < \frac{2H}{\beta}$

$m$ – коэффициент условий деформаций основания в зависимости от ширины или диаметра фундамента.

$m = 1{,}2$ при $5 < b \leq 10$ м

$m = 1{,}35$ " $10 < b \leq 15$

$m = 1{,}5$ " $b > 15$

Средняя осадка фундамента трубы, лежащего на сжимаемом основании толщиной H, может быть, также определена по упрощенной формуле:

$$S = \frac{P_b (1 - \nu^2)}{m E_{cp}} K, \qquad (53)$$

где $E_{cp}$ – средний модуль деформации грунтов (кг/см$^2$), находящихся в пределах сжимаемой толщи основания H, вычисляемый по формуле:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^{n} E_i h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i}, \qquad (54)$$

$K$ – коэффициент, определяемый по табл.3 в зависимости от отношения $\frac{2H}{b}$;

$\nu$ – коэффициент Пуассона для грунта, принимаемый приближенно равным 0,3.

$\sum_{i=1}^{n} h_i = H$ (сжимаемая толща основания).

где $h_i$ – толщина $i$-го слоя грунта с модулем $E_i$

3.7. Крен круглого и кольцевого фундамента, нагруженного эксцентричной нагрузкой, определяется по формуле:

$$\operatorname{tg}\theta = \frac{2(1 - \nu^2) Pe}{A m E_{cp} b^3} \qquad (55)$$

где $P$ – полная вертикальная нагрузка на основание;

$b$ – диаметр круглого или кольцевого фундамента;

Таблица 2

Коэффициент К

| $\frac{2z}{b}$ | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | I,0 | I,2 | I,4 | I,6 | I,8 | 2,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| К (круг) | 0 | 0,045 | 0,09 | 0,I35 | 0,I79 | 0,233 | 0,266 | 0,308 | 0,348 | 0,382 | 0,4II |
| К (лента) | 0 | 0,052 | 0,I04 | 0,I56 | 0,208 | 0,260 | 0,3II | 0,362 | 0,4I2 | 0,462 | 0,50 |
| $\frac{2z}{b}$ | 2,2 | 2,4 | 2,6 | 2,8 | 3,0 | 3,2 | 3,4 | 3,6 | 3,8 | 4,0 | - |
| К (круг) | 0,437 | 0,46I | 0,482 | 0,50I | 0,5I7 | 0,532 | 0,546 | 0,558 | 0,569 | 0,579 | |
| К (лента) | 0,560 | 0,605 | 0,648 | 0,687 | 0,726 | 0,763 | 0,798 | 0,83I | 0,862 | 0,899 | |

Таблица 3

| $\frac{2H}{B}$ | К (круг) | К (лента) |
|---|---|---|
| 0,25 | 0,II | 0,I2 |
| 0,5 | 0,2I | 0,23 |
| I,0 | 0,36 | 0,43 |
| I,5 | 0,46 | 0,59 |
| 2,0 | 0,52 | 0,73 |
| 3 | 0,60 | 0,95 |
| 5 | 0,67 | I,26 |
| 7 | 0,70 | I,46 |
| I0 | 0,73 | I,69 |

Таблица 4

| $\frac{2H}{B}$ | 0,25 | 0,5 | I,0 | 2,0 | 2 |
|---|---|---|---|---|---|
| A | 0,95 | 0,57 | 0,40 | 0,34 | 0,33 |

$E_{ср}$ – средний модуль деформации грунтов (т/м$^2$), определяемый по формуле (54);

$A$ – параметр, определяемый по табл.4 в зависимости от отношения $\frac{2H}{b}$;

$e$ – расстояние от точки приложения нагрузки P до центра фундамента (м);

$\nu$ – коэффициент Пуассона.

3.8. Предельные значения осадок и кренов для фундаментов труб должны быть не более:

для труб высотой 101–200 м $\begin{cases} t_g\theta = 0{,}003 \\ S = 20 \text{ см} \end{cases}$

201–300 м $\begin{cases} t_g\theta = 0{,}002 \\ S = 15 \text{ см} \end{cases}$

больше 300 м $\begin{cases} t_g\theta = 0{,}0015 \\ S = 10 \text{ см} \end{cases}$

Приложение I

## Расчетные сопротивления арматуры для труб

Таблица 5

| Вид арматуры | Расчетное сопротивление арматуры в кг/см² | | |
|---|---|---|---|
| | растянутой $R_a$ при расчете | | сжатой $R_{ac}$ |
| | ствола трубы | фундамента | |
| Горячекатаная гладкого профиля из стали класса А-I | I800 | 2I00 | 2I00 |
| Горячекатаная периодического профиля из стали класса А-II | 2300 | 2700 | 2700 |
| Горячекатаная периодического профиля из стали класса А-III | 2900 | 3400 | 3400 |

Примечания: I. Значения $R_a$ для расчета трубы даны с коэффициентом условий работы, равным 0,85.

2. В условиях воздействия температуры расчетные сопротивления арматуры умножаются на коэффициенты табл.8 главы СНиП II-В.7-67.

3. При нагреве арматуры до температуры, превышающей I00°С, расчетные сопротивления арматуры, указанной в табл.5, умножаются на дополнительный коэффициент условия работы $m_a = 0,85$.

4. Нагрев арматуры до температуры свыше I50°С не допускается.

Приложение 2

## Пример расчета ствола трубы

### I. Дано к расчету

I. Труба железобетонная высотой H=320 м.
2. Внутренний диаметр устья трубы $d_0$ =9,6 м.
3. Температура отводимых газов $t$ = 200°С.
4. Подводящий газоход - подземный.
5. К стволу непосредственно примыкает теплоизоляция толщиной 0,05 м с облицовкой кирпичной кладкой в 0,5 кирпича.
6. Футеровка трубы из кислотоупорного кирпича толщиной в I кирпич.
7. Между футеровкой и облицовкой имеется вентилируемый зазор переменной величины от 50 мм - вверху и до 400 мм внизу трубы.
8. Географический район строительства трубы - Ш.

### 2. Принято к расчету

I. Бетон для ствола марки - 300.
2. Уклон наружной грани оси трубы - $i$ = 2,36%
3. Труба разбивается на 8 расчетных звеньев с равным интервалом между сечениями - 40 м.
4. Арматура периодического профиля класса А-Ш устанавливается с наружной и внутренней сторон стенки $F_a$ и $F_{a\delta}$ (вертикальная), $F'_a$ и $F'_{a\delta}$ (горизонтальная).

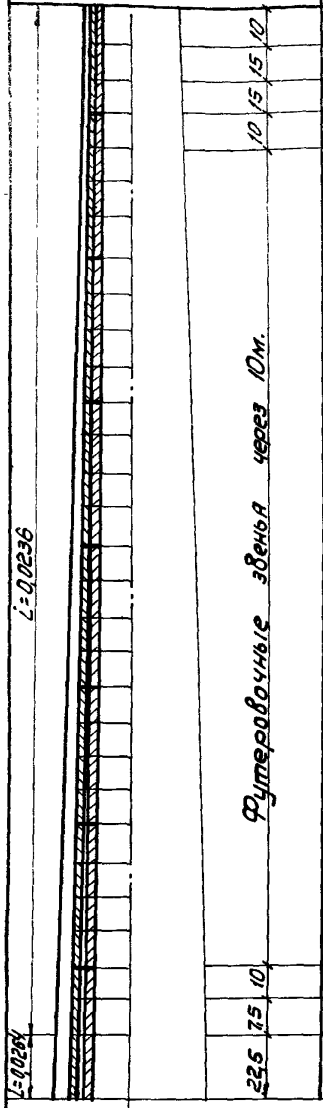
### 3. Вертикальная нагрузка по сечениям

Таблица 6

| Отметка основания звена (м) | $N_K$ (т) | $n_\delta$ (кг/см$^2$) |
|---|---|---|
| 280 | I8I7 | 66 |
| 240 | 4279 | I35 |
| 200 | 7036 | I96 |
| I60 | I0299 | I90 |
| I20 | I4678 | I68 |
| 80 | 20521 | I73 |
| 40 | 27692 | I70 |
| ±0,00 | 37092 | I73 |

Таблица 7

Геометрические параметры ствола трубы




| Эскиз ствола дым. трубы | №№ расч. звеньев | Отм. основ. (м) | $r_н$ (м) | $h$ (м) | $r_{св}$ (м) | $h_{теп.из}$ (м) | $h_{зазор}$ (м) | $h_{фут.}$ (м) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 320 | 5,42 | 0,22 | 5,20 | 0,140 | 0,030 | 0,23 |
| | | 310 | 5,656 | 0,22 | 5,436 | 0,140 | 0,030 | 0,23 |
| | | | | | | 0,170 | 0,050 | |
| | 1 | 280 | 6,364 | | 6,144 | | 0,065 | 0,23 |
| | 2 | 240 | 7,308 | | 7,088 | | 0,110 | 0,23 |
| | 3 | 200 | 8,252 | 0,22 | 8,032 | | 0,160 | |
| | | | | 0,23 | | | | |
| | | | | 0,25 | | | | |
| | | | | 0,27 | | | | |
| | 4 | 160 | 9,196 | 0,30 | 8,896 | | 0,215 | 0,23 |
| | | | | 0,33 | | | | |
| | | | | 0,37 | | | | |
| | | | | 0,40 | | | | |
| | 5 | 120 | 10,14 | 0,44 | 9,70 | | 0,265 | |
| | | | | 0,47 | | | | |
| | | | | 0,50 | | | | |
| | | | | 0,52 | | | | |
| | 6 | 80 | 11,084 | 0,55 | 10,534 | | 0,315 | |
| | | | | 0,58 | | | | |
| | | | | 0,62 | | | | |
| | | | | 0,65 | | | | |
| | 7 | 40 | 12,028 | 0,70 | | | 0,355 | |
| | | | | 0,75 | | | | |
| | | | | 0,80 | | | | |
| | 8 | ±0,00 | 13,00 | 0,85 | 12,15 | 0,170 | 0,40 | 0,23 |

Ствол железобетонной дымовой трубы H=320 м

4. Определение расчетных ветровых нагрузок по формуле (I):

$$P_{iк} = P^{c}_{к} + P^{д}_{iк}$$

Значения статической нагрузки

Таблица 8

| № звена | Отметка точки приложения равнодействующей (м) | $P^{c}_{iк}$ (т) |
|---|---|---|
| I | 300 | 62,5 |
| 2 | 260 | 72,7 |
| 3 | 220 | 82,8 |
| 4 | I80 | 86,2 |
| 5 | I40 | 88 |
| 6 | I00 | 88,5 |
| 7 | 60 | 87,5 |
| 8 | 20 | 85 |

$$\eta_{iк} = \frac{\alpha_i(x_к)\sum_{j=1}^{n}\alpha_i(x_j)P^{c}_{j}m_j}{\sum_{j=1}^{n}\alpha_i^2(x_j)M_j}$$

Где $\alpha_i(x_к)$ и $\alpha_i(x_j)$ – относительные ординаты;
$m_j$ – коэффициент пульсации скоростного напора.

Величины относительных ординат

Таблица 9

| № звена | Отметка точки приложения равнодействующей (м) | $\alpha_1(x_j)$ | $\alpha_2(x_j)$ | $\alpha_3(x_j)$ |
|---|---|---|---|---|
| I | 300 | 3,I | I4,5 | 38,2 |
| 2 | 260 | 2,37 | -6,I0 | -5,I6 |
| 3 | 220 | I,65 | 2,5 | -35,4 |
| 4 | I80 | I,03 | 7,45 | -29,8 |
| 5 | I40 | 0,63 | 8,3 | 3,0 |
| 6 | I00 | 0,34 | 6,40 | 33,6 |
| 7 | 60 | 0,I67 | 3,52 | 38,2 |
| 8 | 20 | 0,046 | I,07 | I5,8 |

Таблица 10

Приведенное ускорение ( $\eta_{ik}$ ) серидины К-го участка при колебаниях сооружения по $i$ -ой форме

| № звена | Отметка точки приложения равнодействующей, (М) | $\alpha_i (X_j) P_j^c \cdot m_j$ | | | $\alpha_i^2 (X_j) M_j$ | | | $\eta_{ik}$ | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Формы колебаний | | | Формы колебаний | | | Формы колебаний | | |
| | | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| I | 300 | 27,I | -I27 | 334 | I780 | 39000 | 27I000 | 0,007I | 0,038 | 0,0I63 |
| 2 | 260 | 3I | 80 | -67,5 | I4I0 | 9350 | 6680 | 0,004I | -0,0I7 | -0,0022 |
| 3 | 220 | 24,7 | 37,4 | -527 | 766 | I755 | 352I38 | 0,002 | 0,006 | -0,0I5I |
| 4 | I80 | I8,3 | I35 | -538 | 356 | I8500 | 296500 | 0,0008 | 0,020 | -0,0I27 |
| 5 | I40 | II,65 | I53,5 | 55,5 | I78 | 30800 | 4020 | 0,0003 | 0,022 | 0,00I3 |
| 6 | I00 | 6,32 | II9 | 625 | 69 | 24400 | 67I732 | 0,00008 | 0,0I7 | 0,0I43 |
| 7 | 60 | 4,08 | 86,2 | 932 | 22 | 9060 | I070000 | 0,00002 | 0,009 | 0,0I63 |
| 8 | 20 | I,25 | 29 | 428 | 2 | II00 | 240000 | 0,00000I | 0,003 | 0,0067 |
| - | - | I25,4 | 353 | I242 | 4583 | I33905 | 2908300 | - | - | - |

Таблица II

Величины инерционных сил $P^{д}_{ik} = M_k \eta_{ik} \xi_i$

| № звена | Отметка точки приложения равнодействующей (м) | Мк т | $\xi_i$ Формы колебаний | | | $P^{д}_{ik}$ (т) Формы колебаний | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | I | II | III | I | II | III |
| I | 300 | I85,5 | – | – | – | 37,4 | -II,3 | 3,9 |
| 2 | 260 | 25I | – | – | – | 38,4 | - 6,8 | -0,7 |
| 3 | 220 | 28I | – | – | – | 30,2 | 2,7 | -5,5 |
| 4 | I80 | 333 | 2,4 | I,6 | I,3 | 22,3 | I0,7 | -5,5 |
| 5 | I40 | 447 | – | – | – | I8,3 | I5,7 | 0,8 |
| 6 | I00 | 595 | – | – | – | I3,2 | I6,2 | II,I |
| 7 | 60 | 732 | – | – | – | 7,9 | I0,5 | I5,5 |
| 8 | 20 | 958 | – | – | – | 2,8 | 4,6 | 8,3 |

5. К определению расчетных изгибающих моментов от статического воздействия расчетной ветровой нагрузки и от инерционных сил с учетом форм колебаний

Таблица I2

Величины изгибающих моментов

| № звена | $P_к$ | | | | $\frac{P_к}{2} + \sum_1^{r-1} P_к$ | | | | $\left(\frac{P_к}{2} + \sum_1^{r-1} P_к\right) H' + M_{к-1}$ (тм) | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Формы колебаний | | | | Формы колебаний | | | | Формы колебаний | | | |
| | статическая нагрузка | I | II | III | статическая нагрузка | I | II | III | статическая нагрузка | I | II | III |
| I | 62,5 | 37,4 | II,28 | 3,93 | 3I,25 | I8,7 | 5,64 | I,97 | I250 | 750 | -226 | 78,7 |
| 2 | 72,7 | 38,4 | -6,83 | -0,72 | 99 | 56,6 | -I4,7 | 3,57 | 52I0 | 30I0 | -8I4 | 22I,7 |
| 3 | 82,8 | 30,2 | 2,7 | -5,52 | I76,6 | 90,9 | -I6,76 | 0,45 | I2280 | 6650 | -I486 | 239,6 |
| 4 | 86,2 | 22,3 | I0,66 | -5,50 | 26I,I | II7,2 | -I0,08 | -5,06 | 22730 | II330 | -I890 | 36,6 |
| 5 | 88,0 | I8,3 | I5,73 | 0,76 | 348,2 | I37,5 | 3,I2 | -7,43 | 36680 | I6830 | -I765 | -26I,4 |
| 6 | 88,5 | I3,2 | I6,I8 | II,06 | 436,5 | I53,2 | I9,09 | -I,52 | 54I50 | 22960 | -I000 | -322,0 |
| 7 | 87,5 | 7,9 | I0,54 | I5,5I | 524,5 | I63,75 | 32,45 | -II,77 | 75I20 | 295I0 | 300 | I5I,0 |
| 8 | 85,0 | 2,8 | 4,6 | 8,37 | 6I0,7 | I69,I | 40,02 | 23,7I | 99540 | 36280 | I900 | II00,0 |

Расчетный изгибающий момент от статического и динамического воздействий ветровой нагрузки в I-ом приближении:

$$M^{(I)}_{изг.к} = M^{с}_{изг.к} + M^{д}_{изг.к};$$

$$M^{д}_{изг.к} = \sqrt{\sum_{i=1}^{i=3} (M_{iк})^2}$$

Таблица I3

Величины суммарного изгибающего момента

| № звена | Отметка основания звена (м) | $M^{с}_{изг.к}$ (т м) | $M^{д}_{изг.к}$ форма колебаний | | | $\sqrt{\sum_{i=1}^{i=3}(M^{д}_{iк})^2}$ | $M^{(I)}_{изг.к}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | I | II | III | т м | т м |
| I | 280 | I250 | 750 | -226 | 78,7 | 787 | 2040 |
| 2 | 240 | 52I0 | 30I0 | -8I4 | 22I,7 | 3I25 | 8340 |
| 3 | 200 | I2280 | 6650 | -I486 | 239,6 | 6820 | I9I00 |
| 4 | I60 | 22730 | II330 | -I890 | 36,6 | II500 | 34230 |
| 5 | I20 | 36680 | I6830 | -I765 | -26I,4 | I6900 | 53580 |
| 6 | 80 | 54I40 | 22960 | -I000 | -322,0 | 23000 | 77I40 |
| 7 | 40 | 75I20 | 295I0 | 300 | I5I,0 | 295I0 | I04630 |
| 8 | 0 | 99540 | 36280 | I900 | II00,0 | 36350 | I35890 |

6. Задаваясь сечением вертикальной арматуры на I пог.м. длины окружности трубы и толщиной стенки трубы, определяются по формуле (I5) напряжение в арматуре $\sigma_{ан}$ и по формуле (I8) напряжение в бетоне $\sigma_{бн}$ от нормальной силы и суммарного изгибающего момента $M^{(I)}_{изг.к}$ расчетных нагрузок. После этого определяется кривизна оси трубы (рис.7). Расчетные величины даны в табл.I4.

Таблица I4

| Отметка сечения (м) | $F_а + F_{аб}$ ($см^2$) | $M_1$ | $\alpha_1$ |
|---|---|---|---|
| 280 | 4I,8 | 0,0I9 | 0,484 |
| 240 | 4I,8 | 0,0I9 | 0,484 |
| 200 | 4I,8 | 0,0I9 | 0,484 |
| I60 | 65,5 | 0,022 | 0,565 |
| I20 | 82 | 0,0I86 | 0,480 |
| 80 | 82 | 0,0I5 | 0,380 |
| 40 | I07,5 | 0,0I5 | 0,380 |
| ±0,00 | I36 | 0,0I6 | 0,407 |

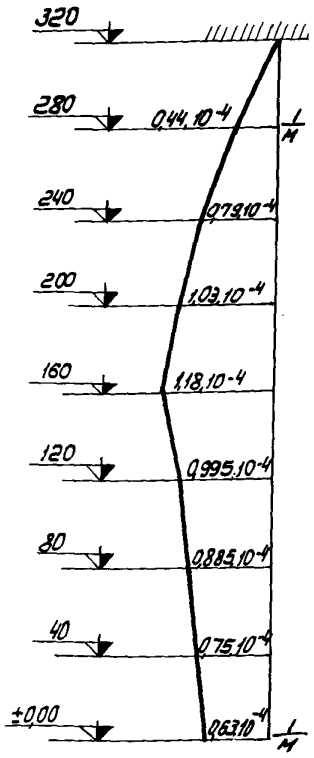



Рис.7. Эпюра кривизны оси ствола трубы (3-е приближение)

К полученным прогибам трубы следует прибавить прогибы от крена фундамента (0,00I5H).

Расчет повторяется с учетом дополнительных моментов от нормальных сил, вызванных прогибом ствола, до совпадения прогибов в пределах до 5%.

Таблица I5

Величины отклонения ствола

| Отметка верха звена, (м) | I-е приближение | | | 2-е приближение | | | 3-е приближение | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $M^{(1)}_{изг.к}$ (тм) | $(1/\rho)\cdot10^{-4}$ (1/м) | $y'$ (м) | $M^{(2)}_{изг.к}$ (тм) | $(1/\rho)\cdot10^{-4}$ (1/м) | $y_2$ (м) | $M^{(3)}_{изг.к}$ (тм) | $(1/\rho)\cdot10^{-4}$ (1/м) | $y_3$ (м) |
| 320 | 2040 | 0,44 | 4,0 | 2970 | 0,44 | 4,88 | 3004 | 0,44 | 4,93 |
| 280 | 8340 | 0,79 | 3,05 | I2055 | 0,79 | 3,82 | I2235 | 0,79 | 3,86 |
| 240 | I9I00 | I,02 | 2,2 | 27230 | 0,98 | 2,86 | 28II0 | I,03 | 2,86 |
| 200 | 34230 | 0,94 | I,48 | 47830 | I,I0 | I,96 | 49355 | I,I8 | I,98 |
| I60 | 53580 | 0,86 | 0,9I | 73200 | 0,97 | I,25 | 75375 | I,0 | I,26 |
| I20 | 77I40 | 0,74 | 0,49 | I02770 | 0,87 | 0,72 | I06085 | 0,89 | 0,72 |
| 80 | I04630 | 0,68 | 0,2I | I35550 | 0,72 | 0,35 | I38760 | 0,75 | 0,35 |
| 40 | I35890 | 0,62 | 0,05 | I70370 | 0,63 | 0,II | I73570 | 0,63 | 0,II3 |

## 7. Проверка сечений трубы на нагрузку от ветра, собственного веса и воздействия температуры

Принимаем сечение с наибольшим перепадом температуры – на отм. ±0,00.

### Расчет горизонтального сечения

Напряжение от ветра и собственного веса (вычисляется при определении эпюры кривизны)

$$\sigma^{н}_{ан} = 620 \text{ кг/см}^2;$$

$$\sigma_{бн} = 59{,}5 \text{ кг/см}^2.$$

Определяем напряжение в бетоне и арматуре от воздействия температуры. По формуле (27) определим температурную кривизну стенки:

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бр} t_б - \alpha_{бр_1} \cdot t_{б_1}}{h} \cdot n_t =$$

$$= \frac{10 \cdot 10^{-6} [60 - (+15)] \cdot 1{,}1}{h} = \frac{500 \cdot 10^{-6}}{h}$$

По формуле (26) определим напряжение в бетоне от перепада температуры:

$$\sigma_{бt} = 0{,}25 \frac{1}{\rho_t} h \bar{\nu} \beta_б E_б =$$

$$= 0{,}25 \cdot 500 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}8 \cdot 3{,}15 \cdot 10^{5} = 31{,}5 \text{ кг/см}^2$$

Суммарное напряжение в бетоне по формуле (25)

$$\sigma_б = \sigma_{бн} + \sigma_{бt} =$$

$$= 59{,}5 + 31{,}5 = 91 \text{ кг/см}^2 \quad < \gamma^{н}_б R_{пр} = 1{,}0 \cdot 110 = 110 \text{ кг/см}^2.$$

По формуле (29) определим значение коэффициента Р.

$$P = \frac{1{,}5 \cdot \sigma^{н}_{ан} \cdot \psi_a}{E_o \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h_o};$$

$$\psi_a = 1 - \frac{0{,}234 \left(\frac{h}{h_o}\right)^2 \gamma_{бр} \cdot R^{н}_{р}}{1{,}3 \sigma^{н}_{ан} \cdot \mu} = 1 - \frac{0{,}234 \left(\frac{85}{81}\right)^2 \cdot 1.21}{1{,}3 \cdot 620 \cdot 0{,}008} = 0{,}15$$

Проверяем минимальное значение $\Psi_\alpha$ по формуле (33):

$$\Psi_\alpha = \frac{1}{1+0{,}17\frac{K}{\xi_c}}; \quad K = \frac{\left(\frac{h}{h_o}\right)^3\left(\frac{h}{h_o}+0{,}68\alpha\right)}{\alpha\left(\frac{h}{h_o}+0{,}86\alpha\right)}; \quad C = (1-\xi_c)(1-0{,}5\,\xi_c);$$

$$K = \frac{\left(\frac{85}{8I}\right)^3\left(\frac{85}{8I}+0{,}68\cdot 0{,}I6\right)}{0{,}I6(I{,}05+0{,}86\cdot 0{,}I6)} = 7{,}I0$$

$$\alpha = 3\mu n = 3\cdot 0{,}008\cdot 6{,}35 = 0{,}I6$$

$$\xi_c = -\frac{\alpha}{2}+\sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2+\alpha} = -\frac{0{,}I6}{2}+\sqrt{\left(\frac{0{,}I6}{2}\right)^2+0{,}I6} = 0{,}33$$

$$C = (I-0{,}33)\ (I-0{,}5\cdot 0{,}33) = 0{,}555$$

$$\Psi_\alpha = \frac{I}{I+0{,}I7\cdot\frac{7{,}I0}{0{,}555}} = 0{,}3I4 > 0{,}I5$$

**Примечание.** Арматура учитывается с одной стороны стенки – наружная ($\mu = 0{,}008$).

Температурная кривизна стенки по формуле (30):

$$\frac{I}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бр}\cdot t_б - \alpha_{atc}\cdot t_{ст}}{h_o} \quad \text{где} \quad \alpha_{atc} = \alpha_{бр} + (\alpha_{at} - \alpha_{бр})\cdot K$$

$K = 0{,}725$; $\alpha_{бр} = I0\cdot I0^{-6}$; $\alpha_{atc} = I0^{-6}\ I0+(I2-I0)\cdot 0{,}725 = II{,}45\cdot I0^{-6}$;

$$= \frac{I0^{-6}\ (I0\cdot 50-II{,}45\cdot I2)}{h_o} = \frac{363\cdot I0^{-6}}{h_o}$$

$$P = \frac{I{,}5\cdot 620\cdot 0{,}3I4}{2{,}363} = 0{,}4 < I;$$

Напряжение в арматуре определяется по формуле (50):

$$\sigma_{at} = \frac{\sigma_{act}}{\Psi_\alpha}; \quad \sigma_{act} = E_\alpha\cdot\frac{I}{\rho_t}\cdot h_o\cdot(I-\xi_c);$$

$$\xi_c = -\frac{\alpha}{2}+\sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2+q};$$

$$\alpha = 3 \cdot \mu \cdot n = 3 \cdot 0{,}008 \cdot 6{,}35 = 0{,}160;$$

$$q = \alpha (1 - P) = 0{,}160(1 - 0{,}4) = 0{,}096;$$

$$\xi_c = -\frac{0{,}160}{2} + \sqrt{\left(\frac{0{,}160}{2}\right)^2 + 0{,}096} = 0{,}24;$$

$$\sigma_{act} = 2 \cdot 363 \cdot (1 - 0{,}24) = 552 \text{ кг/см}^2;$$

$$\psi_a = \frac{1}{\frac{1 + 0{,}234\left(\frac{h}{h_0}\right)^2 \gamma_{bp} R_p^H}{\sigma_{ac} \cdot (1 - 0{,}5\,\xi_c)\mu}} = \frac{1}{1 + \frac{0{,}234 \cdot 1{,}1 \cdot 1{,}21}{552 \cdot (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}24) 0{,}008}} = 0{,}415$$

проверяем минимальное значение по формуле:

$$\psi_a = \frac{1}{1 + 0{,}17 \frac{K}{C}};$$

коэффициенты К и С определяются по графикам на рис.5, 6.

К = 8,3; С = 0,63

$$\psi_a = \frac{1}{1 + 0{,}17 \frac{8{,}3}{0{,}63}} = 0{,}31 < 0{,}415;$$

$$\sigma_{at} = \frac{\sigma_{act}}{\psi_a} = \frac{552}{0{,}415} = 1370 \text{ кг/см}^2$$

Расчет вертикального сечения

Кольцевую наружную арматуру $F_a'$ принимаем из прутков 5Ф25 = 24,5 см$^2$ на пог.м.:

$$\mu = \frac{F_a'}{100 \cdot h_0} = \frac{24{,}5}{7150} = 0{,}0035;$$

$$\alpha = 3 \cdot \mu n = 3 \cdot 0{,}0035 \cdot 6{,}35 = 0{,}067;$$

$$\xi_c = \frac{0{,}067}{2} + \sqrt{\frac{0{,}067}{2} + 0{,}067} = 0{,}23;$$

$$\sigma_{act} = 2 \cdot 363 \cdot (1 - 0{,}23) = 558 \text{ кг/см}^2;$$

$$\Psi_a = \frac{I}{I + \frac{0,234 \cdot I,I \cdot I,2I}{558(I-0,5 \cdot 0,23) \cdot 0,0035}} = 0,232$$

Минимальное значение

$$K = I8;\ C = 0,68;\quad \Psi_a = \frac{I}{I + 0,I7 \frac{I8}{0,68}} = 0,I8 < 0,232;$$

$$\sigma_{at} = \frac{558}{0,232} = 2400 \text{ кг/см}^2 < 2900$$

Ширина раскрытия вертикальных трещин:

$$a_T = \frac{\sigma_{act}}{E_a} \cdot \ell_T;\quad \ell_T = K; \eta_t \cdot U \cdot \eta;$$

$$K_I = \frac{0,229 + I,4 \cdot 0,0035 \cdot 6,35}{0,0035 \cdot 6,35\ (I-0,5 \cdot 0,23)} - 2 = I9$$

$$\ell_T = I9 \cdot 6,35 \cdot 6,25 \cdot 0,7 = 528 \text{ мм};$$

$$a_T = \frac{558 \cdot 528}{2 \cdot I0^6} = 0,I5 \text{ мм} < 0,2 \text{ мм};$$

## Проверка общей устойчивости дымовой трубы

I. Критическая нагрузка для стержня с постоянной сжимающей силой по длине определяется методом последовательных нагружений.

В случае переменного момента инерции дифференциальное уравнение сжатого стержня имеет вид

$$EJ_x y'' + Py = 0 \qquad (56)$$

Если $J_x = J\psi(x)$, где $\psi(x)$ заданная функция $x$, то формула (56) примет вид:

$$\psi(x) y'' + \lambda y = 0 \qquad (57)$$

где $\lambda = \sqrt{p/EJ}$

2. Для решения уравнения (57) рассмотрим ряд функций $Z_0, Z_1, Z_2$, каждая из которых удовлетворяет граничным условиям. Пусть они связаны дифференциальной зависимостью

$$Z_n'' = -\frac{Z_{n-1}}{\psi(x)} \qquad (n = 1,2\ldots) \qquad (58)$$

Задав $Z_0$ численным интегрированием (58) определяют $Z_1$ и т.д. Тогда критическое значение P определяется из выражения:

$$\frac{P_{кр}}{EJ} = \lambda_1^2 = \lim_{n\to\infty} \frac{Z_{n-1}}{Z} \qquad (59)$$

Таким образом, в данном случае определяется первая форма выпучивания и первая критическая сила.

Если количество приближений ограничено, то для большей точности пользуются выражением

$$\lambda_1^2 = \lim_{n\to\infty} \frac{\int_0^L Z_{n-1}\,\alpha x}{\int_0^L Z_n\,\alpha x} \qquad (60)$$

где $L$ – длина стержня.

Если нагрузка P изменяется вдоль длины стержня, то уравнение (56) принимает более общий вид:

$$EJ_x y'' + M(x) = 0 \qquad (6I)$$

Пример расчета

$$t = t(x) = t_0 + \frac{(t_L - t_0)}{L} x \qquad (62)$$

$$r = r(x) = r_0 + \frac{(r_L - r_0)}{L} x \qquad (63)$$

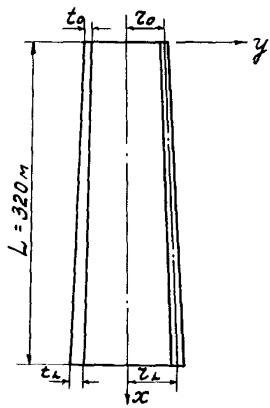



Рис.8. Схема ствола дымовой трубы

Момент инерции поперечного сечения при $t < D = 2r$

$$J = \pi t r^3 \qquad (64)$$

Задача решается численным интегрированием. Для этого труба разбивается по длине на равные достаточно малые участки длиной

В пределах каждого участка трубы толщина стенки принимается постоянной, равной полусумме толщин концов участка.

Определяются нагрузки от собственного веса, пропорциональные P – весу первого участка (полного кольца). ( $P, \kappa_1 P, \kappa_2 P \ldots, \kappa_i P \ldots, \kappa_{z-1} P$ ) Эти силы прикладываются на верхних концах каждого участка.

Функция $\psi(x)$ задается численно, причем $J_x = J_{\psi(x)} = \psi(x)$, то есть функция $\psi(x)$, равна численным значениям моментов инерции в точках разбивки. Это означает, что кривая изменения моментов по высоте заменяется ломаной.

Согласно рис.9 (с) определяют значение функции M(x) в точках разбивки. Для этого предварительно задаются формой изогнутой оси трубы в виде параболической кривой с наибольшей ординатой вверху $y_0 = y_{max} = 1$ ;

$$M_0 = 0;\ M_1 = P(y_0 - y_1);\ M_2 = P\left[(y_0 - y_2) + \kappa_1 (y_1 - y_2)\right]$$

и так далее.

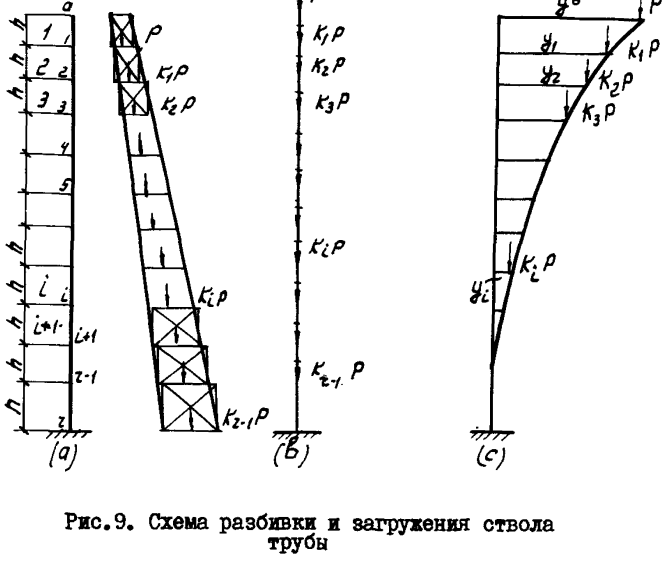



Рис.9. Схема разбивки и загружения ствола трубы

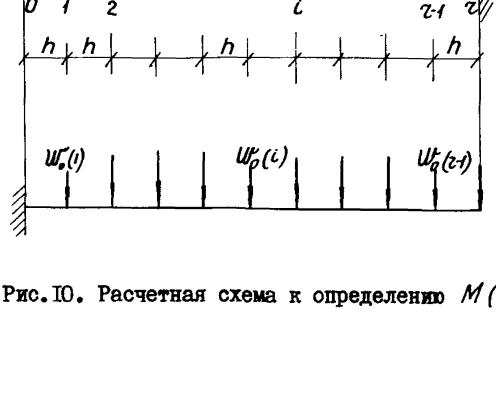



Рис.10. Расчетная схема к определению $M(x)$

Если принять $M(x) = P\mathcal{M}(x)$ то функция $\mathcal{M}(x)$ задана численно в точках разбивки.

Вместо уравнения (58) используют зависимость (рис.10):

$$Z''_n = -\frac{\mathcal{M}_{n-1}(x)}{\Psi(x)} \qquad (n = 1, 2, \ldots) \qquad (65)$$

$\mathcal{M}_0(x)$ определена при первом задании формы изогнутой оси (см.выше). Эквивалентные сосредоточенные силы определяют по формуле:

$$W_0(i) = \frac{h}{6}\left[\bar{Z}_0(i-1) + 4\,\bar{Z}_0(i) + \bar{Z}_0(i+1)\right. \qquad (66)$$

В расчетной схеме заделка в точке $\tau$ заменяется на свободный край, а свободный край в точке 0 – на заделку. Определяем моменты в такой консоли от нагрузок принимая, что плечо каждой из них равно расстоянию до свободного конца расчетной консоли $L - xi$. Находим значение момента $m_1(i)$, вызванного действием сил $W_0(i)$ и по формуле (65) определяем $m_1(i) = Z_1(i)$.

Далее, поскольку $Z_1(i)$ – прогибы первого приближения известны, определяется $\mathcal{M}_1(x)/\Psi(x)$, затем определяются согласно формуле (66) нагрузки и строится от них новая эпюра моментов, то есть $m_2(i)$ и т.д.

Повторяя этот процесс, исходя из кривых $m_1(i)/\Psi$, $m_2(i)/\Psi$ и т.д., получим более точные формы кривых прогибов:

$$Z_n(i) = m_n(i)$$

Используя (60) параметр $\lambda_1$, можно выразить

$$\frac{\sum_{i=0}^{\tau} m_{n-1}(i)}{\sum_{i=0}^{\tau} m_n(i)} \qquad (67)$$

В результате:

$$\frac{\sum_{i=0}^{\tau} m_{n-1}(i)}{\sum_{i=0}^{\tau} m_n(i)}$$

В нашем случае $\mathcal{J} = I$, а $P_{кр}$ – критический параметр нагрузки от собственного веса. Запас устойчивости определяется отношением критического параметра $P_{кр}$ к весу верхнего участка трубы P (см.рис.9).

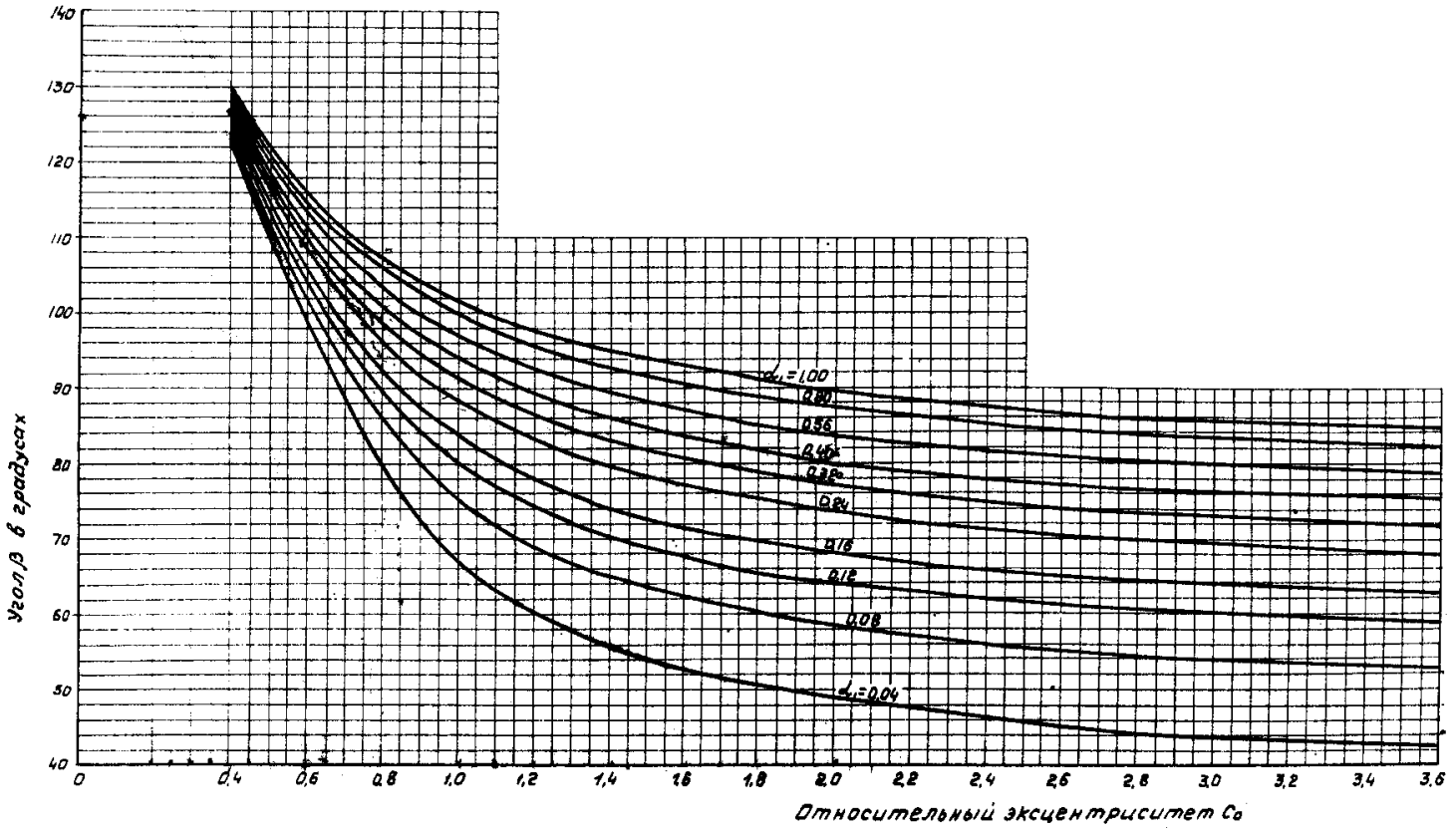



Рис.II. Значения угла $\beta$ для кольцевых внецентренно сжатых сечений труб

$$\frac{1+\alpha_1}{\alpha_1} = \frac{1+\cos\beta}{\beta(1-\cos\beta)}\left[\frac{\pi\sin\beta}{C_0\cdot\beta-\sin\beta}+\pi-\beta\right]$$

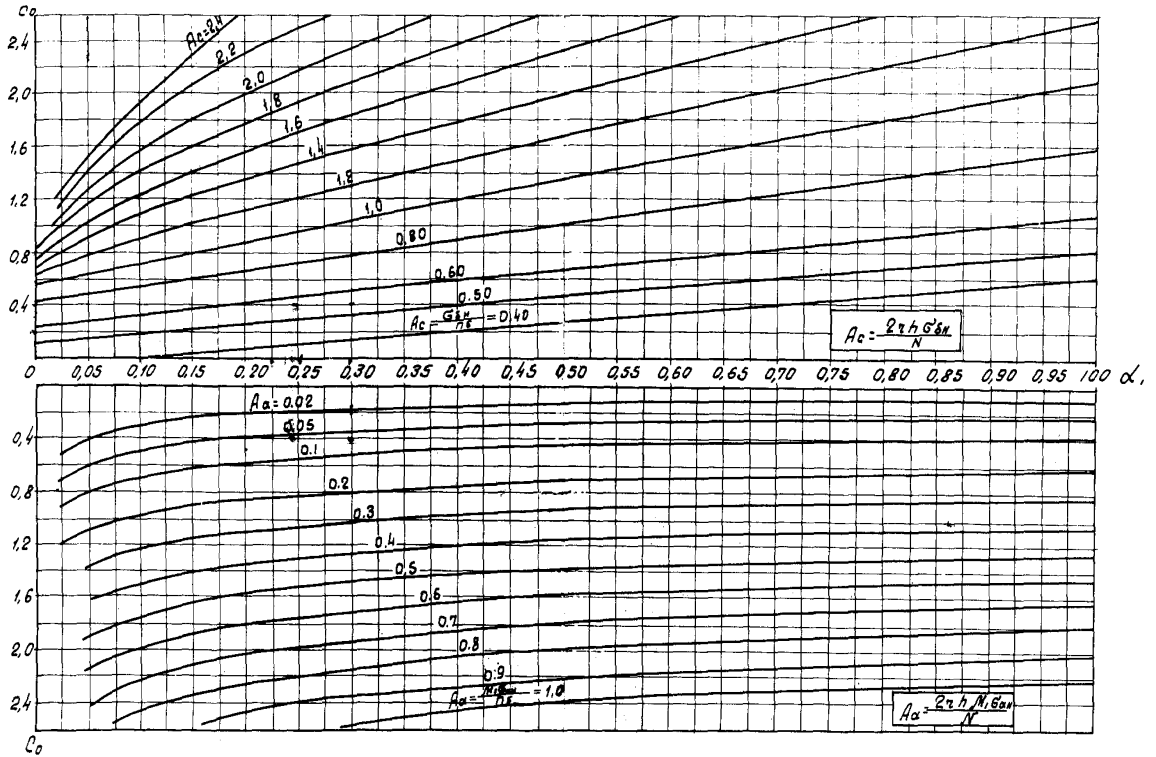



Рис. I2. Напряжения арматуры и бетона в кольцевых внецентренно сжатых сечениях, ослабленных одним проёмом в сжатой зоне $\theta = 25^0$

## С О Д Е Р Ж А Н И Е


Стр.

I. Общие положения . . . . . 3

2. Статический расчет ствола трубы.
Общие указания . . . . . 4
Определение расчетной ветровой нагрузки . . . . . 6
Расчет горизонтальных сечений ствола . . . . . 8
Расчет вертикальных сечений . . . . . 2I
Поверочный расчет на резонанс . . . . . 2I

3. Расчет оснований под фундаменты дымовых труб
Определение нормативного давления на грунт основания . . . . . 22
Расчетные характеристики сжимаемого основания конечной толщины . . . . . 23
Расчет средней осадки и крена фундамента . . . . . 25

Приложения:

I. Таблица расчетных сопротивлений арматуры для труб . . . . . 29

2. Пример расчета ствола трубы . . . . . 30

3. Проверка общей устойчивости дымовой трубы . . . . . 43

4. Графики значения угла $\beta$ для кольцевых внецентренно сжатых сечений труб и напряжений арматуры и бетона в кольцевых внецентренно сжатых сечениях, ослабленных одним проемом в сжатой зоне $\theta = 25^{\circ}$ . . . . . 47

Зак. I650 от I6/П-72 г. Тираж 200 экз.

ГРНТД ВНИПИ Теплопроект. Москва, И-327, ул.Коминтерна,7, корп. 2

gost.e-ecolog.ru