

МИНИСТЕРСТВО
МОНТАЖНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ СССР
(МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОИ СССР)

УКАЗАНИЯ
по расчету железобетонных
дымовых труб

ВСН—286—72.
ММСС СССР

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

МОСКВА - 1972

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.Барштейн, Власов В.Г., инж. П.К. Шкляревский; НИИОСП – докт. техн. наук К.Е. Егоров; от ВНИПИ Теплопроект канд. техн. наук И.А.Шипков, инженеры В.Г.Лебедев, В.В.Сидоров, В.С.Першко.

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

Минмонтаж- спецстрой СССР	Ведомственные строительные нормы	ВСН-286-72
	Указания по расчету железобе- тонных дымовых труб	ММСС СССР

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. Настоящие указания распространяются на расчет монолитных железобетонных дымовых труб высотой более 150 м с ненапрягаемой арматурой.

П р и м е ч а н и я: 1. Железобетонные дымовые трубы высотой до 150 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 150 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 П-2.12-69 "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, 1961).

I.4. При расчетах труб кроме настоящих Указаний надлежит соблюдать требования глав СНиП П-В.1-62^{*} "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования" и П-В.7-67 "Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Нормы проектирования".

Внесены ВНИПИ Теплопроект, НИИЖБ, ЦНИИСК, НИИОСП	Утверждены Минмонтажспецстроем СССР " 27 " января 1972 г. №	Срок введения " 1 " марта 1972 г.
---	--	---

2. СТАТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТРУБЫ

Общие указания

2.1. 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.

П р и м е ч а н и е. 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.1); 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 – 0,1 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 (α_n).

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.

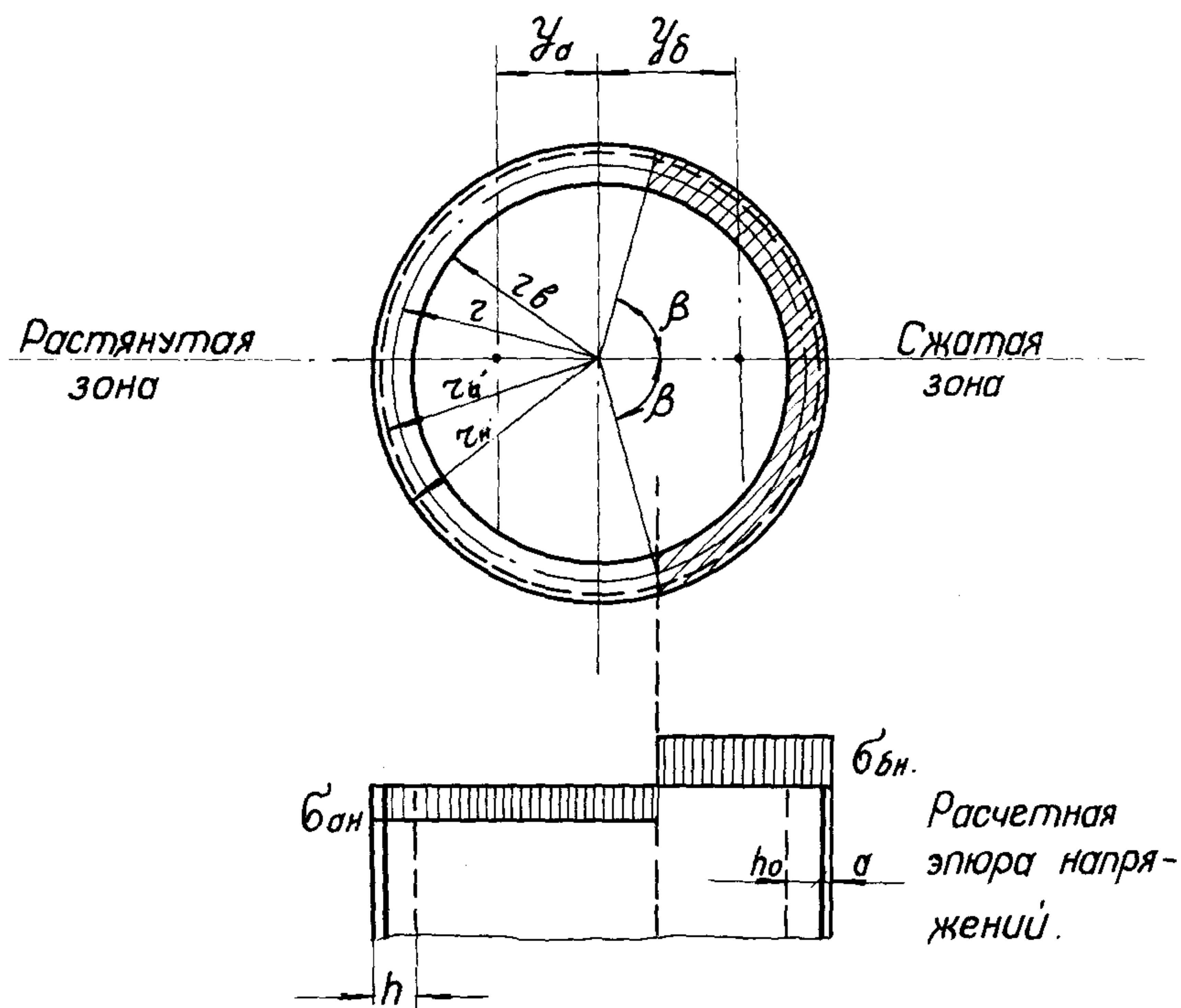


Рис. I. Расчетная схема горизонтального сечения трубы и эпюра напряжений

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- γ_a — расстояние от центра трубы до центра тяжести растянутой зоны.
- γ_b — расстояние от центра трубы до центра тяжести сжатой зоны.
- γ — внутренний радиус сечения.
- γ_a — радиус арматуры.
- γ_b — наружный радиус сечения.
- γ — расчетный радиус, равный
- β — половина угла сжатой зоны.
- $\sigma_{ан}$ — напряжение в растянутой арматуре.
- $\sigma_{бн}$ — сжимающие напряжения в бетоне.
- h — толщина стенки трубы.
- h_0 — 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 ($i = 1, 2, 3$) (труба условно разбивается по высоте на z участков с текущим номером $j = 1, 2, \dots, k \dots z$, при этом масса j -го участка и действующая на него ветровая нагрузка принимаются сосредоточенными в середине участка с абсциссой x_j) определяется по формуле:

$$P_{ik} = P_k^c + P_{ik}^d, \quad (I)$$

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 10 м, принимаемый по табл.9 п.6.1 главы СНиП II-A. II-62 "Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования";

k_k — поправочный коэффициент на возрастание скоростного напора для середины данного участка, принимаемый по табл.10 главы СНиП II-A. II-62;

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

n — коэффициент перегрузки: для труб высотой от 150 до 300 м — 1,4; выше 300 м — 1,5;

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

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

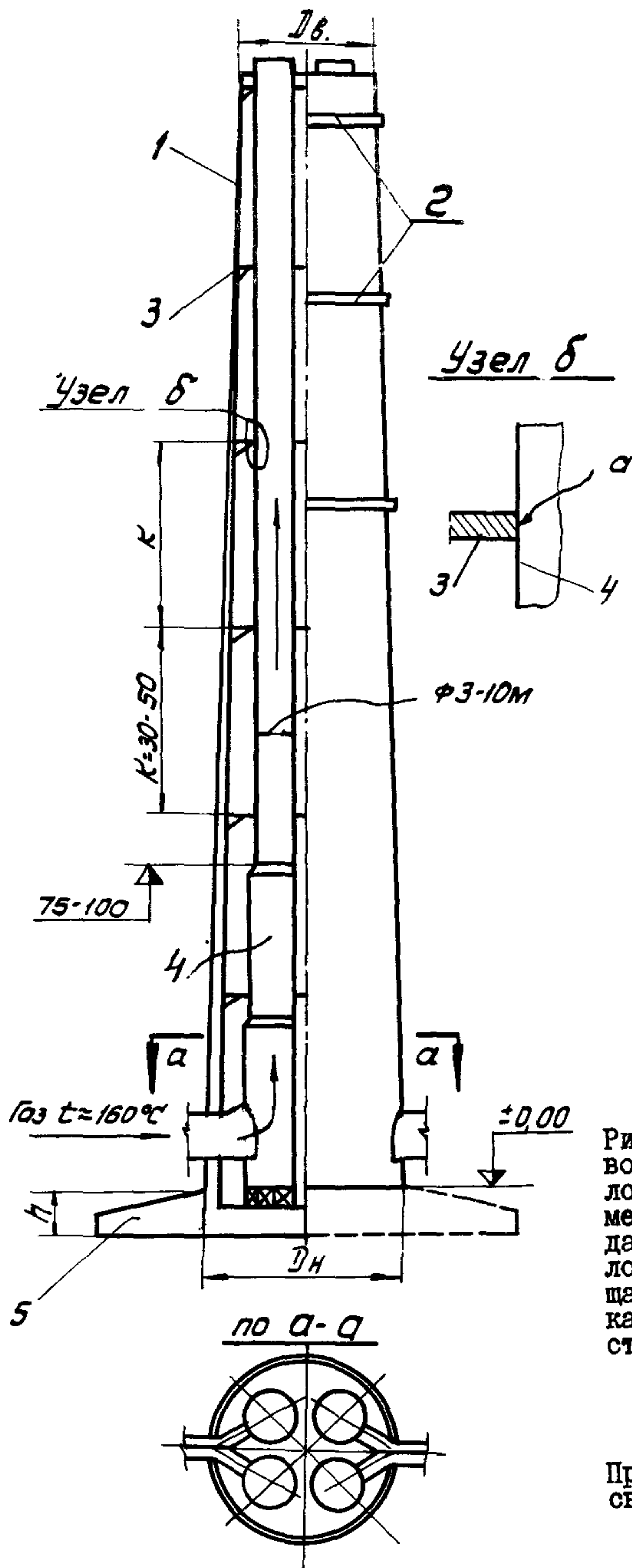


Рис.2. Схема конструкции дымо-
вой трубы с железобетонной обо-
лочкой и четырьмя внутренними
металлическими стволами-газохо-
дами: 1 - железобетонная обо-
лочка трубы; 2 - светофорная пло-
щадка; 3 - сплошная металличе-
ская площадка; 4 - металлический
ствол-газоход (самонесущий);
 $\delta_{\text{ср}} = 12 \text{ мм}$; 5 - фундамент под
трубу

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

M_k — масса k -го звена ($\frac{\text{т} \cdot \text{сек}^2}{\text{м}}$);

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

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

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 ($j = 1, 2, \dots, k, \dots, z$), где сосредоточены массы M_j ;

m_j — коэффициент пульсации скоростного напора для середины j -го участка, определяемый по табл. 12 главы СНиП II-A. II-62;

ξ_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 $n-1$ 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. 2.1. 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:

1. Для всех сечений трубы задаются толщиной стенки и сечением вертикальной арматуры на 1 пог.м длины окружности трубы.

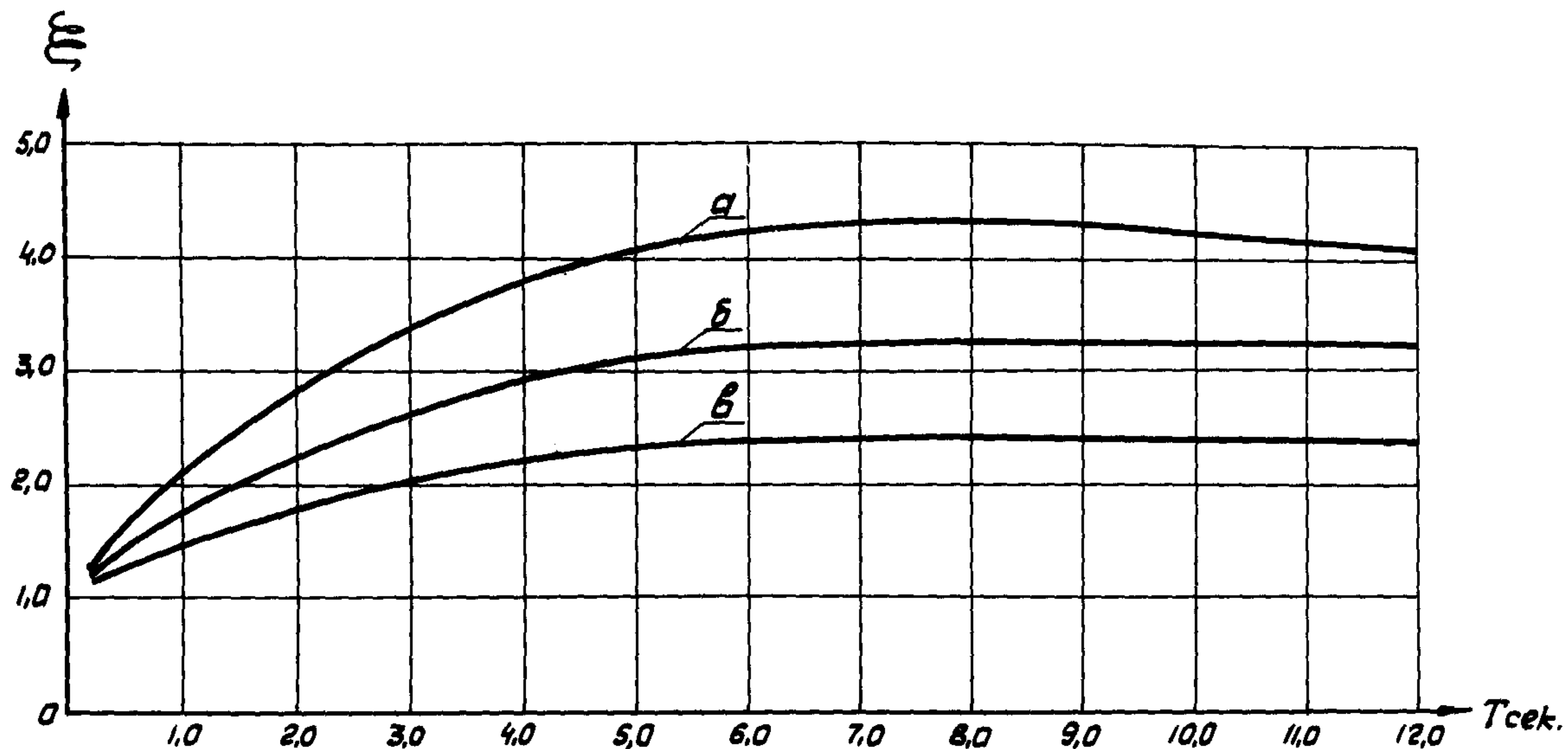


Рис. 3

КОЭФФИЦИЕНТЫ ДИНАМИЧНОСТИ

- α - для гибких стальных конструкций (логарифмический декремент колебаний $\delta \approx 0,10$)
- β - для металлических и деревянных сооружений ($\delta \approx 0,15$)
- γ - 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:

$$M_{изг.к}^{(1)} = M_{изг.к}^c + M_{изг.к}^d \quad (3)$$

где $M_{изг.к}^c$ - изгибающий момент в k -ом сечении трубы от расчетных статических ветровых нагрузок P_j ;
 $M_{изг.к}^d$ - изгибающий момент от динамического воздействия порывов ветра:

$$M_{изг.к}^d = \sqrt{\sum_{i=1}^3 (M_{ik}^d)^2}, \quad (4)$$

В формуле (4) $M_{ik}^d = \sum_{j=k}^z P_{ij}^d (x_j - x_k)$ - динамический изгибающий момент в k -ом сечении трубы при колебаниях его по i -ой форме;

P_{ij}^d - 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:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_{ан} + \frac{\alpha_1}{m_1} \sigma_{бн}}{0,6 E_{\alpha} z \left(1 + \frac{\sin \beta}{\pi - \beta} \right)} \quad (5)$$

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

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_{ан}}{0,5 E_{\alpha} z (1 + \cos \beta)} \quad (6)$$

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

6. Вычисляют дополнительный момент ($M_q^{(1)}$) от нормальных сил, при этом, кроме перемещения $y_k^{(1)}$ 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 изгибающий момент ($M_q^{(2)}$) и суммируют его с моментом

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

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

Величину β определяют в зависимости от α_1 и C_0 по графикам, приведенным в приложении 4 на рис. II.

$$\alpha_1 = 4M_1 \cdot \frac{E_a}{E_b \beta_b} \quad (7)$$

В формуле (7) β_b - определяется по табл.3 главы СНиП II-V. 7-67 или по опытным данным в зависимости от средней температуры сечения стенки

$$M_1 = \frac{F_a}{b h} \quad (8)$$

где b - ширина полосы, равная 100 см

$$C_0 = \frac{M_{изг.к}}{N z} > \frac{z_y}{z} \quad (9)$$

Для неослабленного сечения

$$z_y = \frac{z_n^2 + z_b^2}{4 z_n} \quad (10)$$

где z_n, z_b - соответственно наружный и внутренний радиусы стенки трубы.

2.10. 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 $0,005 H$, где H – высота трубы. Для упругой линии трубы при учете солнечной радиации принимается парабола вида:

$$y = \frac{f}{H^2} x^2; \quad (II)$$

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

$$M_{изг.к}^H = \frac{M_{изг.к}^C + M_{изг.к}^D}{n} \quad (I2)$$

2.I2. 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:

$$B = \beta_\epsilon E_\epsilon J; \quad (I3)$$

В формуле (I3):

β_ϵ – определяют в зависимости от средней температуры стенки трубы в рассматриваемом сечении:

$$J = 0,785 [(z_\epsilon + \xi_c h_0)^4 - z_\epsilon^4] \quad (I4)$$

где ξ – средняя относительная высота сжатой зоны сечения стенки, определяется по формуле (3I)

2.I3. Напряжение в растянутой арматуре трубы определяют по формуле:

$$\sigma_{ан} = \frac{n_\epsilon \left(C_0 \frac{\beta}{\sin \beta} - 1 \right)}{\pi m_1}; \quad (I5)$$

где $n_\epsilon = \frac{N}{2 z h};$ (I6)

$$z = \frac{z_n + z_\epsilon}{2}$$

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

$$\sigma_{ан} \leq \gamma_\alpha^n R_\alpha \quad (I7)$$

В формуле (I7)

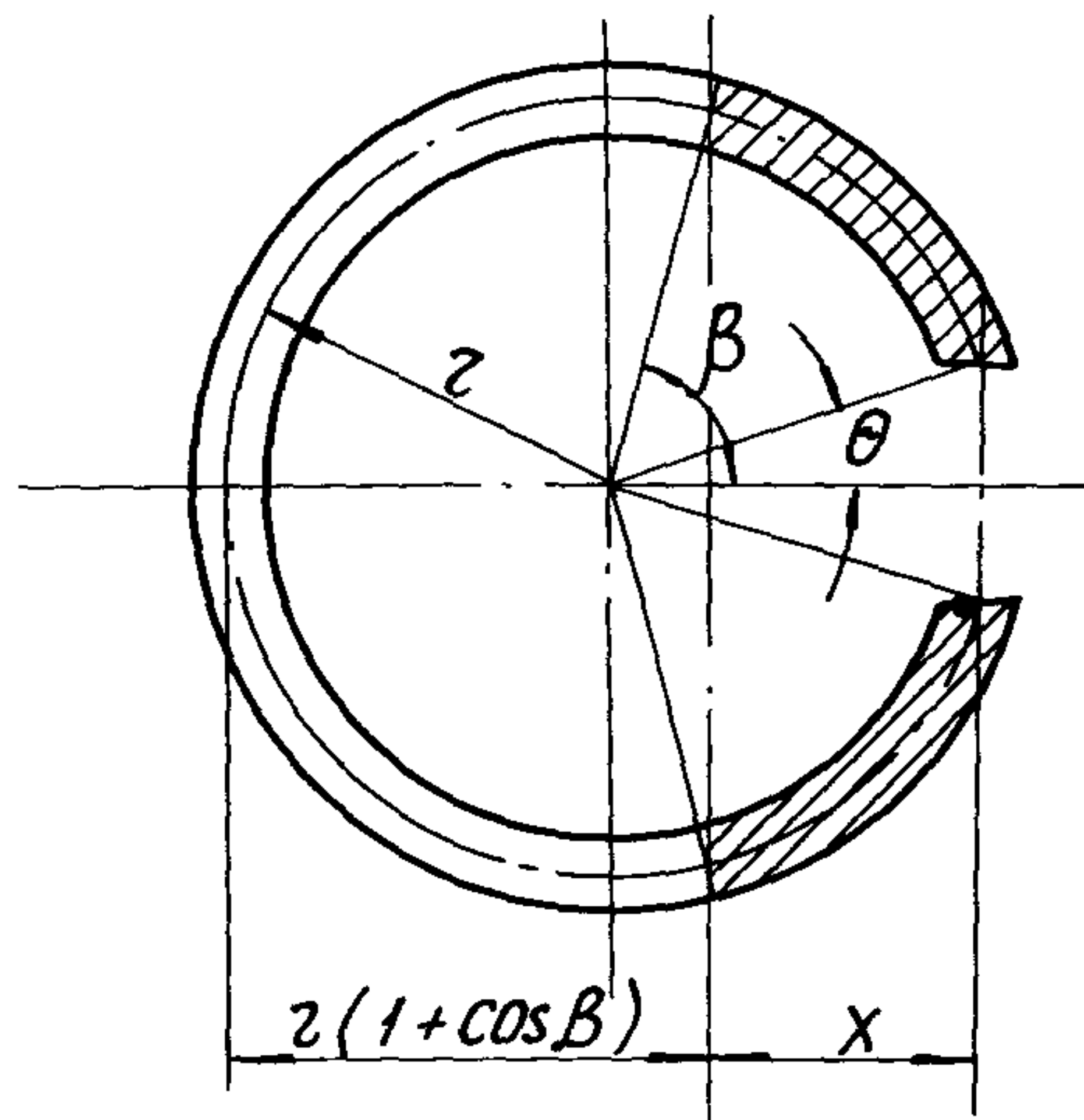
γ_a^h — принимается по табл. 8 главы СНиП II-B.7-67 в зависимости от температуры арматуры;

R_a — по табл. 5 приложения I данных "Указаний".

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

$$\sigma_{\delta H} = \frac{n_s \left(C_0 \frac{\pi - \beta}{2\pi\beta} + 1 \right)}{\pi (1 + \alpha_1)} \quad (I8)$$

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: θ — половина угла проема в трубе; x — высота сжатой зоны

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

$$\sigma_s = \sigma_{сн} + \sigma_{ст} \quad (19)$$

где $\sigma_{сн}$ — напряжение в бетоне от расчетных нагрузок;
 $\sigma_{ст}$ — напряжение в бетоне, вызванное воздействием температурного перепада, определяемое по формуле:

$$\sigma_{ст} = 0,25 \frac{1}{\rho_t} h \bar{\gamma} \beta_s F_s ; \quad (20)$$

В формуле (20):

$\beta_s, \bar{\gamma}$ — принимаются по температуре наиболее нагретой поверхности сечения по таблицам соответственно 3 и 5 главы СНиП II-B.7-67.

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

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{ср} t_s - \alpha_{ср1} t_{с1}}{n} n_t \quad (21)$$

где $\alpha_{ср} \text{ и } \alpha_{ср1}$ — коэффициенты суммарной температурной деформации бетона, принимаемые по табл. 6 главы СНиП II-B.7-67 в зависимости от температуры соответственно наиболее и наименее нагретых граней сечения (t_s и $t_{с1}$) ;

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:

$$\sigma_s \leq 0,9 \gamma_s^n R_{пр} , \quad (22)$$

В формуле (22):

γ_s^n — определяют по табл. 3 главы СНиП II-B.7-67 или по опытным данным в зависимости от температуры наиболее нагретой поверхности сечения.

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

и воздействий, отвечающих второй группе предельных состояний (см. п. 2.1). По величине суммарного изгибающего момента по формуле (9) определяют величину C_0 .

Если C_0 оказывается менее $\frac{z_y}{z}$, то горизонтальные трещины в трубе определяют только от температурного перепада в трубе.

Если C_0 равно или более $\frac{z_y}{z}$, то по найденному суммарному изгибающему моменту вычисляют $\sigma_{ан}^H$ и находят значения коэффициента P по формуле:

$$P = \frac{1,5 \sigma_{ан}^H \psi_a}{E_a \frac{1}{\rho_t} h_0} \quad (23)$$

где
$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{бр} t_b - \alpha_{атс} t_a}{h_0} \quad (24)$$

В формуле (24):

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

$$\alpha_{атс} = \alpha_{бр} + (\alpha_{ат} - \alpha_{бр}) K, \quad (25)$$

В формуле (25):

$\alpha_{ат}$ — коэффициент температурного расширения арматуры, определяемый по табл. 8 главы СНиП II-B.7-67 в зависимости от температуры арматуры;

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

K — коэффициент, зависящий от процента армирования сечения продольной арматурой, определяемый по табл. 9 главы СНиП II-B.7-67;

$\sigma_{ан}^H$ — напряжение в арматуре от нормативных нагрузок, определяемое по формуле (15).

Значение коэффициента ψ_a в формуле (23) определяют по формуле:

$$\psi_a = 1 - \frac{0,234 \left(\frac{h}{h_0} \right)^2 \gamma_{бр} R_p^H}{1,3 \sigma_{ан}^H \cdot f^H} \quad (26)$$

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

Коэффициент Ψ_a должен приниматься не более 1 и не менее значения, определяемого по формуле:

$$\Psi_a = \frac{1}{1 + 0,17 \cdot \frac{K}{\epsilon}}, \quad (27)$$

где K и C вычисляют по формулам соответственно:

$$K = \frac{\left(\frac{h}{h_0}\right)^3 \left(\frac{h}{h_0} + 0,68\alpha\right)}{\alpha \left(\frac{h}{h_0} + 0,86\alpha\right)} \quad (28)$$

$$C = (1 - \xi_c)(1 - 0,5 \xi_c) \quad (29)$$

или определяются по графикам на рис. 5 и 6. Значение ξ определяется по формуле (31);

α — коэффициент, принимаемый при определении ξ

2.17. Если $R \geq 1$, тогда напряжение в арматуре, принимаемое в дальнейшем для расчета раскрытия трещин, равно $1,5 \sigma_{ан}^H$.

Если $R < 1$, напряжение в арматуре σ_{act} , принимаемое в дальнейшем расчете, определяется по формуле:

$$\sigma_{act} = E_a \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h_0 (1 - \xi_c), \quad (30)$$

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

Относительную высоту сжатой зоны (ξ_c) определяют по формуле:

$$\xi_c = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + q}, \quad (31)$$

где $q = \alpha(1-R)$; $\alpha = 3\eta \frac{E_a}{\beta_s E_b}$

Значение коэффициента β_s определяется в зависимости от температуры наиболее нагретой поверхности бетона.

Величина $\sigma_{at} \leq \frac{\sigma_{act}}{\Psi_a}$ должна удовлетворять условию

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

где R_a — принимается по табл. 5 приложения I.

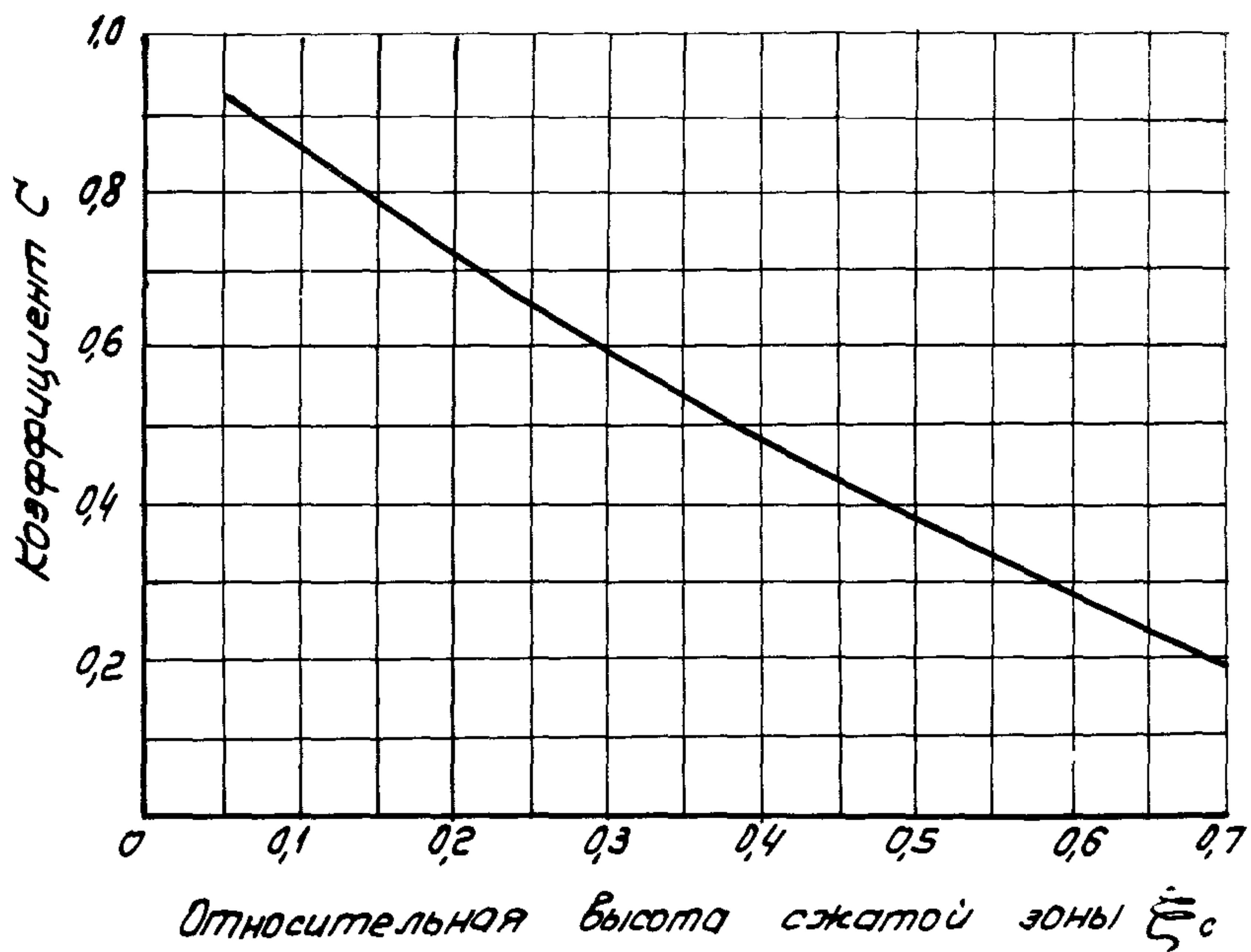


Рис.5. Значения коэффициента $c = (1 - \xi_c) (1 - 0.5 \xi_c)$ в зависимости от относительной высоты сжатой зоны ξ_c

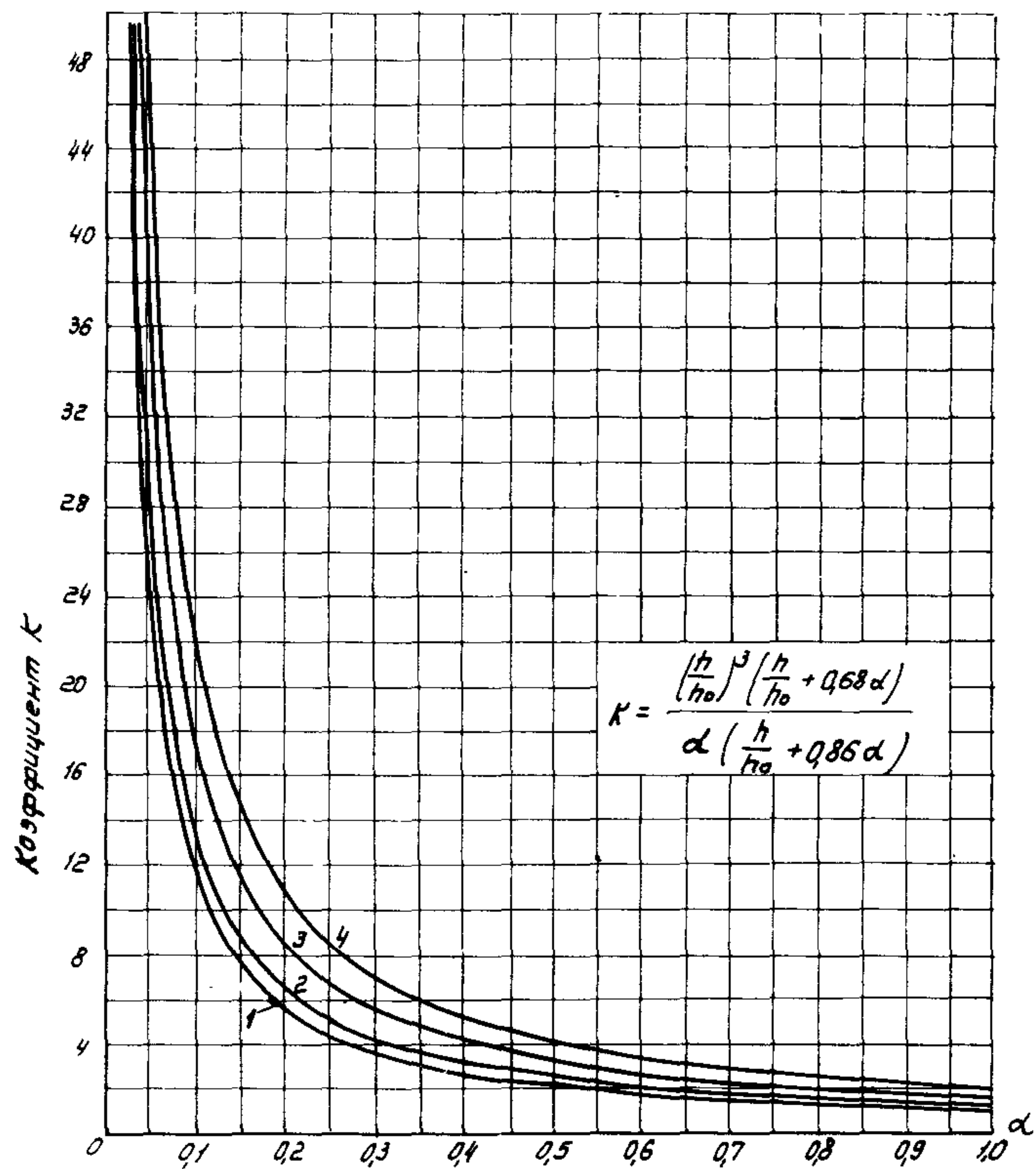


Рис.6. Значения коэффициента K в зависимости от α для разных значений $\frac{h}{h_0}$: 1-1,05; 2-1,10; 3-1,20; 4-1,30

Значение коэффициента Ψ_α определяют по формуле:

$$\Psi_\alpha = \frac{1}{1 + \frac{0,234 \left(\frac{h}{h_0} \right)^2 \gamma_{\text{бр}} R_p^H}{\sigma_{\text{act}} \cdot (1 - 0,5 \xi_c)^M}} \quad (32)$$

Предельные минимальные значения коэффициента Ψ_α вычисляются по формуле (27).

2.18. Ширину раскрытия горизонтальных трещин определяют по формуле:

$$a_T = \frac{\sigma_{\alpha c}}{E_\alpha} l_T, \quad (33)$$

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

$$\sigma_{\alpha c} = \sigma_{\text{act}} \quad (34)$$

или

$$\sigma_{\alpha c} = 1,5 \sigma_{\alpha H}^H \cdot \Psi_\alpha, \quad (35)$$

где Ψ_α — определяется по формуле

$$\Psi_\alpha = 1 - 0,7 \frac{0,53 \gamma_{\text{бр}} R_p^H}{\sigma_{\alpha H}^H M}, \quad (36)$$

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

Расстояние между трещинами l_T , подставляемое в формулу (33), определяют:

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

$$l_T = \frac{U}{M_1} \eta; \quad (37)$$

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

$$l_T = K_i n_t U \cdot \eta, \quad (38)$$

где

$$K_i = \frac{0,292 + 1,4 M n_t}{M \cdot n_t (1 - 0,5 \xi_c)} - 2; \quad (39)$$

$$n_t = \frac{E_\alpha}{E_b \beta_\sigma}, \quad (40)$$

В формуле (40): β_s — определяют по температуре бетона на уровне арматуры;

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

где S — периметр сечения арматуры по номинальному диаметру без учета выступов ребер;
для арматуры одного диаметра:

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

η — коэффициент, зависящий от вида растянутой арматуры, принимаемый согласно главы СНиП II-V.1-62*.

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

$$M = \frac{F_a - F_{av}}{100 h_s}, \quad (43)$$

В формуле (43):

F_{av} — площадь арматуры, устанавливаемой у внутренней поверхности трубы.

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

D_n — наружный диаметр основания ствола (или его отдельных участков).

2.21. 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-V.3-62. "Стальные конструкции. Нормы проектирования".

При прогибах труб 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-V.3-62 п.п. 6, 17-6.20 суммарные сжимающие напряжения от продольных сил и моментов не должны превышать расчетных осевых напряжений σ_{os} .

Расчет вертикальных сечений

2.22. Расчет вертикальных сечений производят по формуле:

$$G_{at} = \frac{G_{act}}{\psi_a} \approx \gamma_a R_a \quad (44)$$

где R_a — принимается по табл.5 приложения I.

G_{act} — определяется по формуле (30), в которой величина ζ_c определяется по формуле (31) при $q = \alpha$.

Значение ψ_a 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 1,2%) 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:

$$U_{кр} = \frac{5 d_s}{T} \quad (45)$$

В формуле (45):

T — период основного тона свободных колебаний трубы (сек);

d_s — наружный диаметр верхнего сечения трубы (м).

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

$$F(x, t) = F(x) \sin \omega t; \quad (46)$$

где $F(x) = F_0 \alpha(x)$ — амплитуда аэродинамической силы, действующей на уровне с абсциссой " x ";

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

$F_0 = 0,02 U^2 d_s$ — 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 $M_{изг}^p(x)$ в сечении трубы с абсциссой "x" определяется по формулам:

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

$$M_{изг}^p(x) = 0,8 \frac{\pi}{\delta} M_{изг}^c(x) \quad (48)$$

где $y^c(x)$, $M_{изг}^c(x)$ — 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:

$$M'_{изг}(x) = \sqrt{(M_{изг}^p(x))^2 + (M_{изг}^d(x))^2} \quad (49)$$

где $M_{изг}^d(x)$ — определяется по пункту 2.7 настоящих "Указаний", при этом величины R_f^p и R_f^d определяются по формулам пункта 2.6 в зависимости от

$$q = \frac{V_{кр}^2}{16} \cdot C \quad (50)$$

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 скальными 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:

$$R^H = m [(A\delta + Bk) \gamma_0 + D c^H] , \quad (51)$$

- 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);
- γ_0 – средний объемный вес грунта (т/м^3), залегающего в пределах глубины h и ниже – на одну четверть диаметра или ширины кольца фундамента $h + 1/4b$;
- C^H – 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 $m = 0,6$;
- A, B, D – коэффициенты, зависящие от среднего значения нормативного угла внутреннего трения (φ^H 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 A, B, D , 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.1-62.

Т а б л и ц а I

Норматив- ные зна- чения уг- ла внут- реннего трения (град.)	Коэффициенты в формуле (5I)					
	для круглых фундаментов			для ленточных фундаментов		
	Ак	Бк	Дк	Ал	Вл	Дл
0	0	I	3,37	0	I	3,14
2	0,03	I,12	3,56	0,03	I,12	3,32
4	0,06	I,26	3,77	0,06	I,25	3,5I
6	0,10	I,42	4,00	0,10	I,39	3,7I
8	0,15	I,60	4,25	0,14	I,55	3,93
10	0,20	I,80	4,5I	0,18	I,73	4,17
12	0,26	2,02	4,8I	0,23	I,94	4,42
14	0,32	2,28	5,12	0,29	2,17	4,69
16	0,39	2,56	5,46	0,36	2,43	5,00
18	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,15	5,59	7,95
32	I,55	7,19	9,80	I,34	6,35	8,55
34	I,79	8,18	10,64	I,55	7,2I	9,2I
36	2,II	9,43	11,6I	I,8I	8,25	9,98
38	2,50	10,98	12,78	2,II	9,44	10,80
40	2,93	12,70	13,95	2,46	10,84	11,73
42	3,46	14,86	15,39	2,87	12,50	12,77
44	4,II	17,70	17,04	3,37	14,48	13,96
45	4,49	18,96	17,96	3,66	15,64	14,64

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:

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

где b - 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^H ;

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 $\frac{2z}{b}$), вычислен с использованием модели однородного линейно деформируемого полупространства и приведен в табл.2, причем в случае кольцевого фундамента (при $z_1/z_2 \approx 0,5$) коэффициент K_i принимается как для ленточного фундамента с отношением $\frac{2z}{b}$, где $b = z_2 - z_1$;

П р и м е ч а н и е: При $z_1/z_2 < 0,5$ условно принимается $b = 2z_2$, как для круглого фундамента.

M - 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	$0 < \frac{2H}{b} \approx 0,5$
$M = 1,4$;	"	$0,5 < \frac{2H}{b} \approx 1,0$
$M = 1,3$;	"	$1,0 < \frac{2H}{b} \approx 2$
$M = 1,2$;	"	$2 < \frac{2H}{b} \approx 3$
$M = 1,1$;	"	$3 < \frac{2H}{b} \approx 5$
$M = 1,0$;	"	$5 < \frac{2H}{b}$

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

$$\begin{aligned} m &= 1,2 && \text{при} && 5 < b \leq 10 \text{ м} \\ m &= 1,35 && " && 10 < b \leq 15 \\ m &= 1,5 && " && b > 15 \end{aligned}$$

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

$$s = \frac{P_b (1 - \gamma^2)}{m E_{cp}} K, \quad (53)$$

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

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

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

γ – коэффициент Пуассона для грунта, принимаемый приближенно равным 0,3.

$\sum_{i=1}^n h_i = H$ (сжимаемая толщина 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:

$$tg \theta = \frac{2(1 - \gamma^2) P e}{A m E_{cp} b^3} \quad (55)$$

где P – полная вертикальная нагрузка на основание;

b – диаметр круглого или кольцевого фундамента;

Т а б л и ц а 2

Коэффициент К

$\frac{2z}{b}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
К (круг)	0	0,045	0,09	0,135	0,179	0,233	0,266	0,308	0,348	0,382	0,411
К (лента)	0	0,052	0,104	0,156	0,208	0,260	0,311	0,362	0,412	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	0,461	0,482	0,501	0,517	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	0,831	0,862	0,899	

Т а б л и ц а 3

$\frac{2H}{B}$	К (круг)	К (лента)
0,25	0,11	0,12
0,5	0,21	0,23
1,0	0,36	0,43
1,5	0,46	0,59
2,0	0,52	0,73
3	0,60	0,95
5	0,67	1,26
7	0,70	1,46
10	0,73	1,69

Т а б л и ц а 4

$\frac{2H}{B}$	0,25	0,5	1,0	2,0	2
A	0,95	0,57	0,40	0,34	0,33

E_{cp} – 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);

ν – коэффициент Пуассона.

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

для труб высотой 101–200 м	$\left\{ \begin{array}{l} t_g \theta = 0,003 \\ S = 20 \text{ см} \end{array} \right.$
201–300 м	$\left\{ \begin{array}{l} t_g \theta = 0,002 \\ S = 15 \text{ см} \end{array} \right.$
больше 300 м	$\left\{ \begin{array}{l} t_g \theta = 0,0015 \\ S = 10 \text{ см} \end{array} \right.$

Приложение I

Расчетные сопротивления арматуры для труб

Т а б л и ц а 5

Вид арматуры	Расчетное сопротивление арматуры в кг/см ²		
	растянутой R_a при расчете		сжатой R_{ac}
	ствола трубы	фунда- мента	
Горячекатаная гладкого профиля из стали клас- са А-I	1800	2100	2100
Горячекатаная периоди- ческого профиля из ста- ли класса А-II	2300	2700	2700
Горячекатаная периоди- ческого профиля из ста- ли класса А-III	2900	3400	3400

П р и м е ч а н и я: 1. Значения R_a для расчета трубы даны с коэффициентом условий работы, равным 0,85.

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

3. При нагреве арматуры до температуры, превышающей
100°C, расчетные сопротивления арматуры, указанной в табл.5,
умножаются на дополнительный коэффициент условия работы
 $m_a = 0,85$.

4. Нагрев арматуры до температуры свыше 150°C не допус-
кается.

Приложение 2

Пример расчета ствола трубы

I. Дано к расчету

1. Труба железобетонная высотой $H=320$ м.
2. Внутренний диаметр устья трубы $d_0=9,6$ м.
3. Температура отводимых газов $t = 200^\circ\text{C}$.
4. Подводящий газопровод – 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 1 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 – III.

2. Принято к расчету

1. 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-III устанавливается с наружной и внутренней сторон стенки F_a и F_{a6} (вертикальная), F'_a и F'_{a6} (горизонтальная).

3. Вертикальная нагрузка по сечениям

Т а б л и ц а 6

Отметка основания звена (м)	N_K (т)	P_B (кг/см ²)
280	1817	66
240	4279	135
200	7036	196
160	10299	190
120	14678	168
80	20521	173
40	27692	170
$\pm 0,00$	37092	173

Т а б л и ц а 7

Геометрические параметры ствола трубы

Эскиз ствола дым. трубы	Нрасч. звеньев	Отм. основ. (м)	Гн (м)	h (м)	Зв (м)	Нгр.уз (м)	Нзор (м)	Нфут. (м)
	10, 15, 10	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
	10, 15, 10					0,170	0,050	
		1	280	6,364	6,144		0,065	0,23
	Футеровочные звенья через 10 м.							
		2	240	7,308	7,088		0,110	0,23
		3	200	8,252	8,032		0,160	
				0,22				
				0,23				
				0,25				
				0,27				
		4	160	9,196	8,896		0,215	0,23
				0,30				
				0,33				
				0,37				
				0,40				
		5	120	10,14	9,70		0,265	
				0,44				
				0,47				
				0,50				
				0,52				
		6	80	11,084	10,534		0,315	
				0,55				
				0,58				
				0,62				
				0,65				
	22,5, 7,5, 10	7	40	12,028			0,355	
				0,70				
				0,75				
				0,80				
	22,5	8	±0,00	13,00	12,15	0,170	0,40	0,23
				0,85				

Ствол железобетонной дымовой трубы Н=320 м

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

$$P_{ik} = P_k^c + P_{ik}^d$$

Значения статической нагрузки

Т а б л и ц а 8

№ звена	Отметка точки приложения равнодействующей (м)	P_{ik}^c (т)
I	300	62,5
2	260	72,7
3	220	82,8
4	180	86,2
5	140	88
6	100	88,5
7	60	87,5
8	20	85

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

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

Величины относительных ординат

Т а б л и ц а 9

№ звена	Отметка точки приложения равнодействующей (м)	$\alpha_1(x_j)$	$\alpha_2(x_j)$	$\alpha_3(x_j)$
I	300	3,1	14,5	38,2
2	260	2,37	-6,10	-5,16
3	220	1,65	2,5	-35,4
4	180	1,03	7,45	-29,8
5	140	0,63	8,3	3,0
6	100	0,34	6,40	33,6
7	60	0,167	3,52	38,2
8	20	0,046	1,07	15,8

Т а б л и ц а 10

Приведенное ускорение (η_{ik}) середины К-го участка
при колебаниях сооружения по i -ой форме

№ зве- на	Отметка точки приложе- ния рав- нодейст- вующей, (м)	$\alpha_i (X_j) P_j^c \cdot m_j$			$\alpha_i^2 (X_j) M_j$			η_{ik}		
		Формы колебаний			Формы колебаний			Формы колебаний		
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
1	300	27,1	-127	334	1780	39000	271000	0,0071	0,038	0,0163
2	260	31	80	-67,5	1410	9350	6680	0,0041	-0,017	-0,0022
3	220	24,7	37,4	-527	766	1755	352138	0,002	0,006	-0,0151
4	180	18,3	135	-538	356	18500	296500	0,0008	0,020	-0,0127
5	140	11,65	153,5	55,5	178	30800	4020	0,0003	0,022	0,0013
6	100	6,32	119	625	69	24400	671732	0,00008	0,017	0,0143
7	60	4,08	86,2	932	22	9060	1070000	0,00002	0,009	0,0163
8	20	1,25	29	428	2	1100	240000	0,000001	0,003	0,0067
-	-	125,4	353	1242	4583	133905	2908300	-	-	-

Т а б л и ц а II

Величины инерционных сил $P_{ik}^d = M_k \eta_{ik} \xi_i$

№ звена	Отметка точки приложения равнодействующей (м)	M _k т	ξ_i			P_{ik}^d (т)		
			Формы колебаний			Формы колебаний		
			I	II	III	I	II	III
I	300	185,5	—	—	—	37,4	—11,3	3,9
2	260	251	—	—	—	38,4	— 6,8	—0,7
3	220	281	—	—	—	30,2	2,7	—5,5
4	180	333	2,4	1,6	1,3	22,3	10,7	—5,5
5	140	447	—	—	—	18,3	15,7	0,8
6	100	595	—	—	—	13,2	16,2	11,1
7	60	732	—	—	—	7,9	10,5	15,5
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

Т а б л и ц а 12

Величины изгибающих моментов

№ звене- на	P_k	$\frac{P_k}{2} + \sum_1^{z-1} P_k$							$(\frac{P_k}{2} + \sum_1^{z-1} P_k)H + M_{k-1} \quad (\text{тм})$			
	Формы колебаний				Формы колебаний				Формы колебаний			
	статичес- кая на- грузка	I	II	III	статичес- кая на- грузка	I	II	III	статичес- кая на- грузка	I	II	III
1	62,5	37,4	11,28	3,93	31,25	18,7	5,64	1,97	1250	750	-226	78,7
2	72,7	38,4	-6,83	-0,72	99	56,6	-14,7	3,57	5210	3010	-814	221,7
3	82,8	30,2	2,7	-5,52	176,6	90,9	-16,76	0,45	12280	6650	-1486	239,6
4	86,2	22,3	10,66	-5,50	261,1	117,2	-10,08	-5,06	22730	11330	-1890	36,6
5	88,0	18,3	15,73	0,76	348,2	137,5	3,12	-7,43	36680	16830	-1765	-261,4
6	88,5	13,2	16,18	11,06	436,5	153,2	19,09	-1,52	54150	22960	-1000	-322,0
7	87,5	7,9	10,54	15,51	524,5	163,75	32,45	-11,77	75120	29510	300	151,0
8	85,0	2,8	4,6	8,37	610,7	169,1	40,02	23,71	99540	36280	1900	1100,0

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

$$M_{узг.к}^{(1)} = M_{узг.к}^c + M_{узг.к}^d ;$$

$$M_{узг.к}^d = \sqrt{\sum_{l=1}^{l=3} (M_{lk}^d)^2}$$

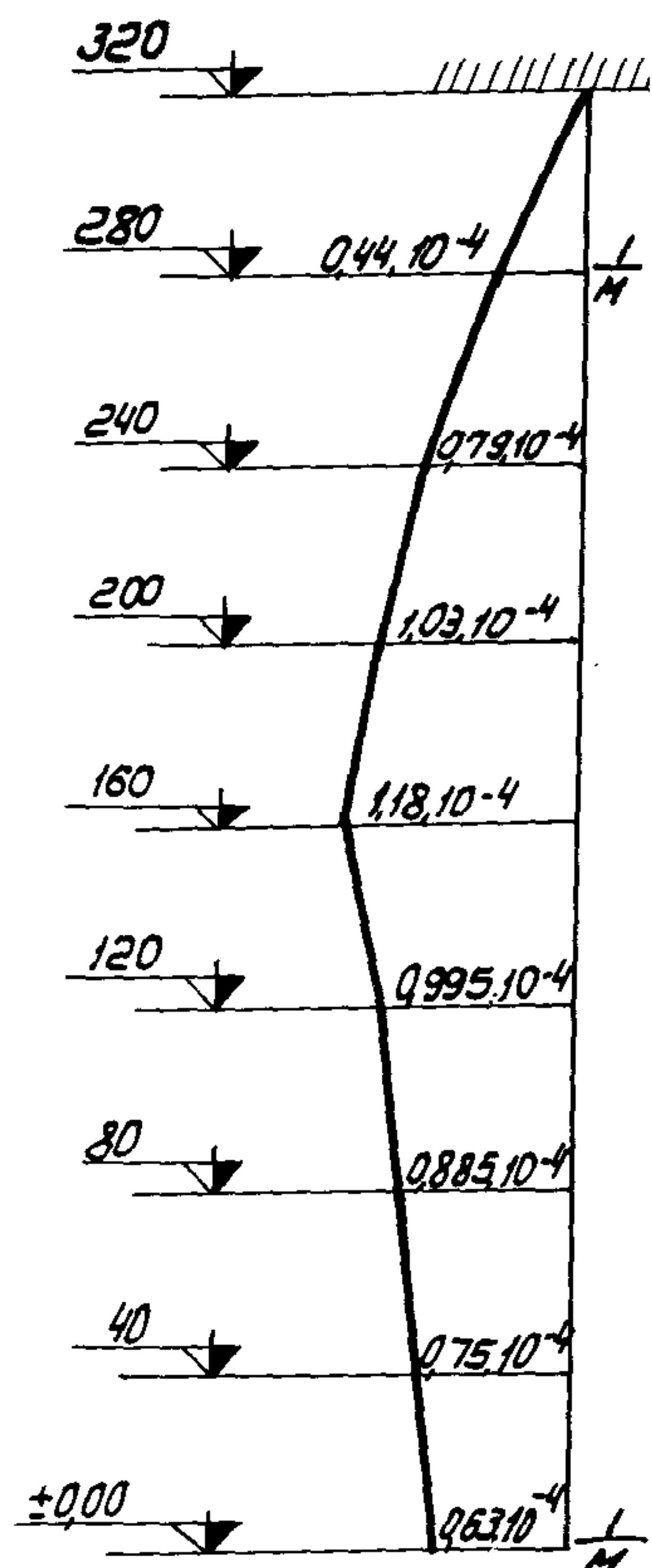
Т а б л и ц а 13

Величины суммарного изгибающего момента

№ зве- на	Отметка основа- ния зве- на (м)	$M_{узг.к}^с$ (т м)	$M_{узг.к}^д$			$\sqrt{\sum_{l=1}^{l=3} (M_{lk}^д)^2}$	$M_{узг.к}^{(1)}$
			форма колебаний				
			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 (15) напряжение в арматуре $\sigma_{ан}$ и по формуле (18) напряжение в бетоне $\sigma_{бн}$ от нормальной силы и суммарного изгибающего момента $M_{изг.к}^{(1)}$ расчетных нагрузок. После этого определяется кривизна оси трубы (рис.7). Расчетные величины даны в табл.14.

Т а б л и ц а 14



Отметка сечения (м)	$F_a + F_{ab}$ (см ²)	M_i	α_i
280	41,8	0,019	0,484
240	41,8	0,019	0,484
200	41,8	0,019	0,484
160	65,5	0,022	0,565
120	82	0,0186	0,480
80	82	0,015	0,380
40	107,5	0,015	0,380
±0,00	136	0,016	0,407

К полученным прогибам трубы следует прибавить прогибы от крена фундамента (0,0015H).

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

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

Т а б л и ц а 15

Величины отклонения ствола

Отметка верха звена, (м)	I-е приближение			2-е приближение			3-е приближение		
	$M_{\text{узг.к}}^{(1)}$ (тм)	$(1/p) \cdot 10^{-4}$ (1/м)	y' (м)	$M_{\text{узг.к}}^{(2)}$ (тм)	$(1/p) \cdot 10^{-4}$ (1/м)	y_2 (м)	$M_{\text{узг.к}}^{(3)}$ (тм)	$(1/p) \cdot 10^{-4}$ (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	12055	0,79	3,82	12235	0,79	3,86
240	19100	1,02	2,2	27230	0,98	2,86	28110	1,03	2,86
200	34230	0,94	1,48	47830	1,10	1,96	49355	1,18	1,98
160	53580	0,86	0,91	73200	0,97	1,25	75375	1,0	1,26
120	77140	0,74	0,49	102770	0,87	0,72	106085	0,89	0,72
80	104630	0,68	0,21	135550	0,72	0,35	138760	0,75	0,35
40	135890	0,62	0,05	170370	0,63	0,11	173570	0,63	0,113

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

Принимаем сечение с наибольшим перепадом температуры — на отм. $\pm 0,00$.

Расчет горизонтального сечения

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

$$\begin{aligned}\sigma_{\alpha\kappa}^H &= 620 \text{ кг/см}^2; \\ \sigma_{\delta\kappa} &= 59,5 \text{ кг/см}^2.\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\frac{1}{\rho_t} &= \frac{\alpha_{\delta p} t_{\delta} - \alpha_{\delta p_1} \cdot t_{\delta_1}}{h} \cdot n_t = \\ &= \frac{10 \cdot 10^{-6} [60 - (+15)] \cdot 1,1}{h} = \frac{500 \cdot 10^{-6}}{h}\end{aligned}$$

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

$$\sigma_{\delta t} = 0,25 \frac{1}{\rho_t} h \sqrt{\nu} \beta_{\delta} E_{\delta} =$$

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

Суммарное напряжение в бетоне по формуле (25)

$$\begin{aligned}\sigma_{\delta} &= \sigma_{\delta\kappa} + \sigma_{\delta t} = \\ &= 59,5 + 31,5 = 91 \text{ кг/см}^2 < \gamma_{\delta}^H R_{np} = 1,0 \cdot 110 = 110 \text{ кг/см}^2.\end{aligned}$$

По формуле (29) определим значение коэффициента Р.

$$P = \frac{1,5 \cdot \sigma_{\alpha\kappa}^H \cdot \Psi_{\alpha}}{E_{\sigma} \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h_{\sigma}} ;$$

$$\Psi_{\alpha} = 1 - \frac{0,234 \left(\frac{h}{h_{\sigma}}\right)^2 \gamma_{\delta p}^H \cdot R_p^H}{1,3 \sigma_{\alpha\kappa}^H \cdot \mu} = 1 - \frac{0,234 \left(\frac{85}{81}\right)^2 \cdot 1,21}{1,3 \cdot 620 \cdot 0,008} = 0,15$$

Проверяем минимальное значение Ψ_α по формуле (33):

$$\Psi_\alpha = \frac{1}{1 + 0,17 \frac{K}{\xi}}; \quad K = \frac{\left(\frac{h}{h_0}\right)^3 \left(\frac{h}{h_0} + 0,68\alpha\right)}{\alpha \left(\frac{h}{h_0} + 0,86\alpha\right)}; \quad C = (1 - \xi_c)(1 - 0,5 \xi_c);$$

$$K = \frac{\left(\frac{85}{81}\right) \frac{85}{81} + 0,68 \cdot 0,16}{0,16(1,05 + 0,86 \cdot 0,16)} = 7,10$$

$$\alpha = 3\mu\pi = 3 \cdot 0,008 \cdot 6,35 = 0,16$$

$$\xi_c = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \alpha} = -\frac{0,16}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,16}{2}\right)^2 + 0,16} = 0,33$$

$$C = (1 - 0,33)(1 - 0,5 \cdot 0,33) = 0,555$$

$$\Psi_\alpha = \frac{1}{1 + 0,17 \cdot \frac{7,10}{0,555}} = 0,314 > 0,15$$

П р и м е ч а н и е. Арматура учитывается с одной стороны стенки — наружная ($\mu = 0,008$).

Температурная кривизна стенки по формуле (30):

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{\text{ср}} \cdot t_{\text{с}} - \alpha_{\text{атс}} \cdot t_{\text{а}}}{h_0} \quad \text{где} \quad \alpha_{\text{атс}} = \alpha_{\text{ср}} + (\alpha_{\text{ат}} - \alpha_{\text{ср}}) \cdot K$$

$$K = 0,725; \quad \alpha_{\text{ср}} = 10 \cdot 10^{-6}; \quad \alpha_{\text{атс}} = 10^{-6} \cdot 10 + (12 - 10) \cdot 0,725 = 11,45 \cdot 10^{-6};$$

$$= \frac{10^{-6} (10 \cdot 50 - 11,45 \cdot 12)}{h_0} = \frac{363 \cdot 10^{-6}}{h_0}$$

$$P = \frac{1,5 \cdot 620 \cdot 0,314}{2,363} = 0,4 < 1;$$

Напряжение в арматуре определяется по формуле (50):

$$\sigma_{\text{ат}} = \frac{\sigma_{\text{акт}}}{\Psi_\alpha}; \quad \sigma_{\text{акт}} = E_\alpha \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h_0 \cdot (1 - \xi_c);$$

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

$$\alpha = 3 \cdot \mu \cdot h = 3 \cdot 0,008 \cdot 6,35 = 0,160;$$

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

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

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

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

проверяем минимальное значение по формуле:

$$\Psi_a = \frac{I}{I + 0,17 \frac{K}{C}}; \quad \begin{array}{l} \text{коэффициенты } K \text{ и } C \text{ определяются по графикам} \\ \text{на рис. 5, 6.} \\ K = 8,3; C = 0,63 \end{array}$$

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

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

Расчет вертикального сечения

Кольцевую наружную арматуру F'_a принимаем из прутков 5Ф25 = 24,5 см² на пог.м.:

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

$$\alpha = 3 \cdot \mu \cdot h = 3 \cdot 0,0035 \cdot 6,35 = 0,067;$$

$$\xi_c = \frac{0,067}{2} + \sqrt{\left(\frac{0,067}{2}\right)^2 + 0,067} = 0,23;$$

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

$$\Psi_a = \frac{I}{I + \frac{0,234 \cdot I \cdot I \cdot I \cdot 2I}{558(1-0,5 \cdot 0,23) \cdot 0,0035}} = 0,232$$

Минимальное значение

$$K = 18; C = 0,68; \quad \Psi_a = \frac{I}{I + 0,17 \frac{18}{0,68}} = 0,18 < 0,232;$$

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

Ширина раскрытия вертикальных трещин:

$$a_T = \frac{\sigma_{act}}{E_a} \cdot l_T; \quad l_T = K; n_t \cdot u \cdot \eta;$$

$$K_I = \frac{0,229 + 1,4 \cdot 0,0035 \cdot 6,35}{0,0035 \cdot 6,35 (1 - 0,5 \cdot 0,23)} - 2 = 19$$

$$l_T = 19 \cdot 6,35 \cdot 6,25 \cdot 0,7 = 528 \text{ мм};$$

$$a_T = \frac{558 \cdot 528}{2 \cdot 10^6} = 0,15 \text{ мм} < 0,2 \text{ мм};$$

Проверка общей устойчивости дымовой трубы

1. 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

$$E J_x y'' + P y = 0 \quad (56)$$

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

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

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

$$z_n'' = - \frac{z_{n-1}}{\psi(x)} \quad (n=1, 2, \dots) \quad (58)$$

Задав z_0 , численным интегрированием (58) определяют z_1 и т.д. Тогда критическое значение P определяется из выражения:

$$\frac{P_{кр}}{EJ} = \lambda_1^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{z_{n-1}}{z} \quad (59)$$

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

Если количество приближений ограничено, то для большей точности пользуются выражением

$$\lambda_1^2 = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{\int_0^L z_{n-1} \alpha x}{\int_0^L z_n \alpha x} \quad (60)$$

где L — длина стержня.

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

$$E J_x y'' + M(x) = 0 \quad (61)$$

Пример расчета

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

$$z = z(x) = z_0 + \frac{(z_L - z_0)}{L} x \quad (63)$$

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

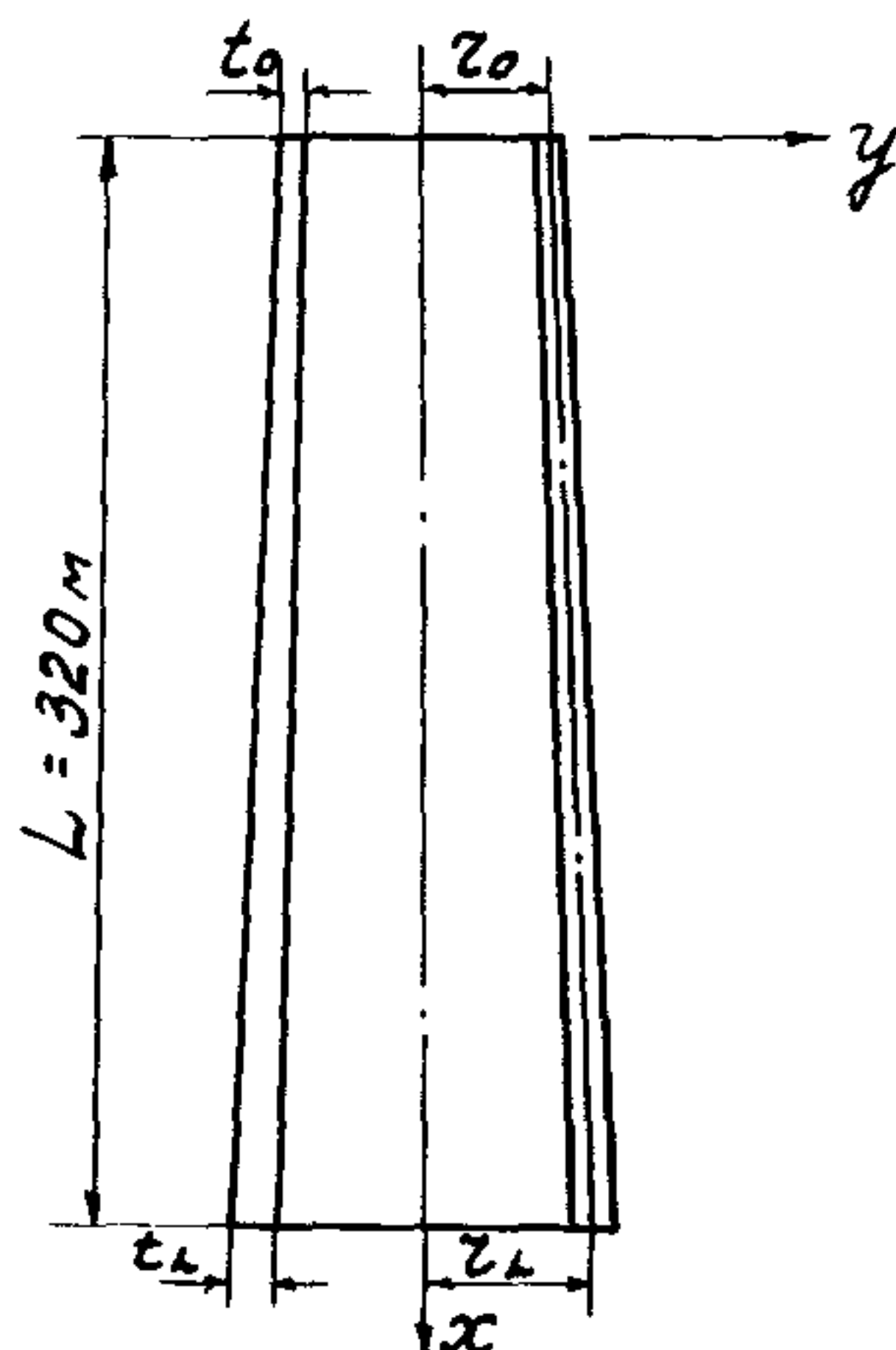


Рис. 8. Схема ствола дымовой трубы

$$J = \int t z^3 \quad (64)$$

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). ($P, k_1 P, k_2 P \dots, k_i P \dots, k_{z-1} P$) Эти силы прикладываются на верхних концах каждого участка.

Функция $\psi(x)$ задается численно, причем $J_x = J_\psi(x) = \int \psi(x)$, 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 $y_0 = y_{\max} = 1$;

$$M_0 = 0; M_1 = P(y_0 - y_1); M_2 = P[(y_0 - y_2) + k_1(y_1 - y_2)]$$

и так далее.

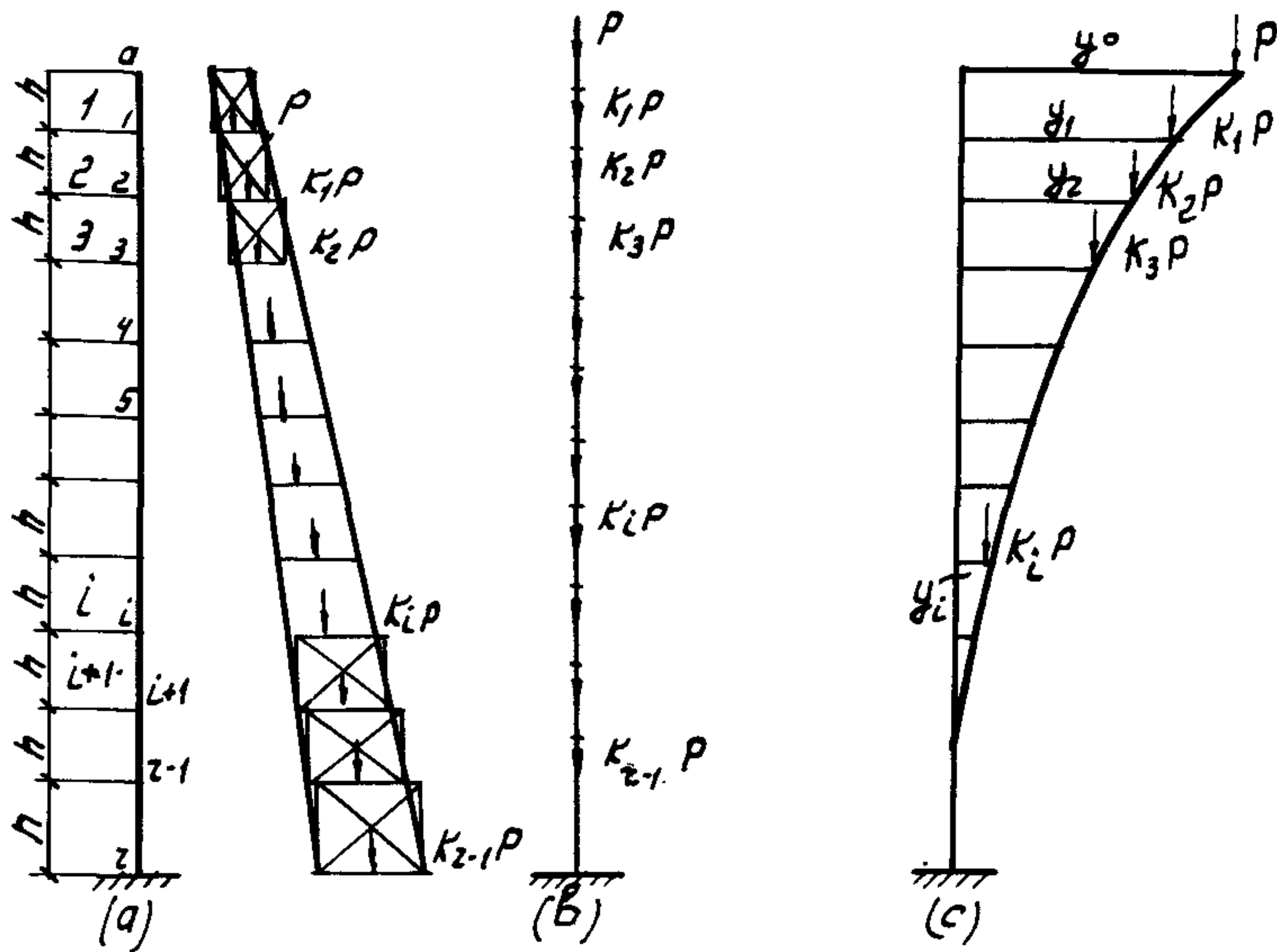


Рис.9. Схема разбивки и загрузки ствола трубы

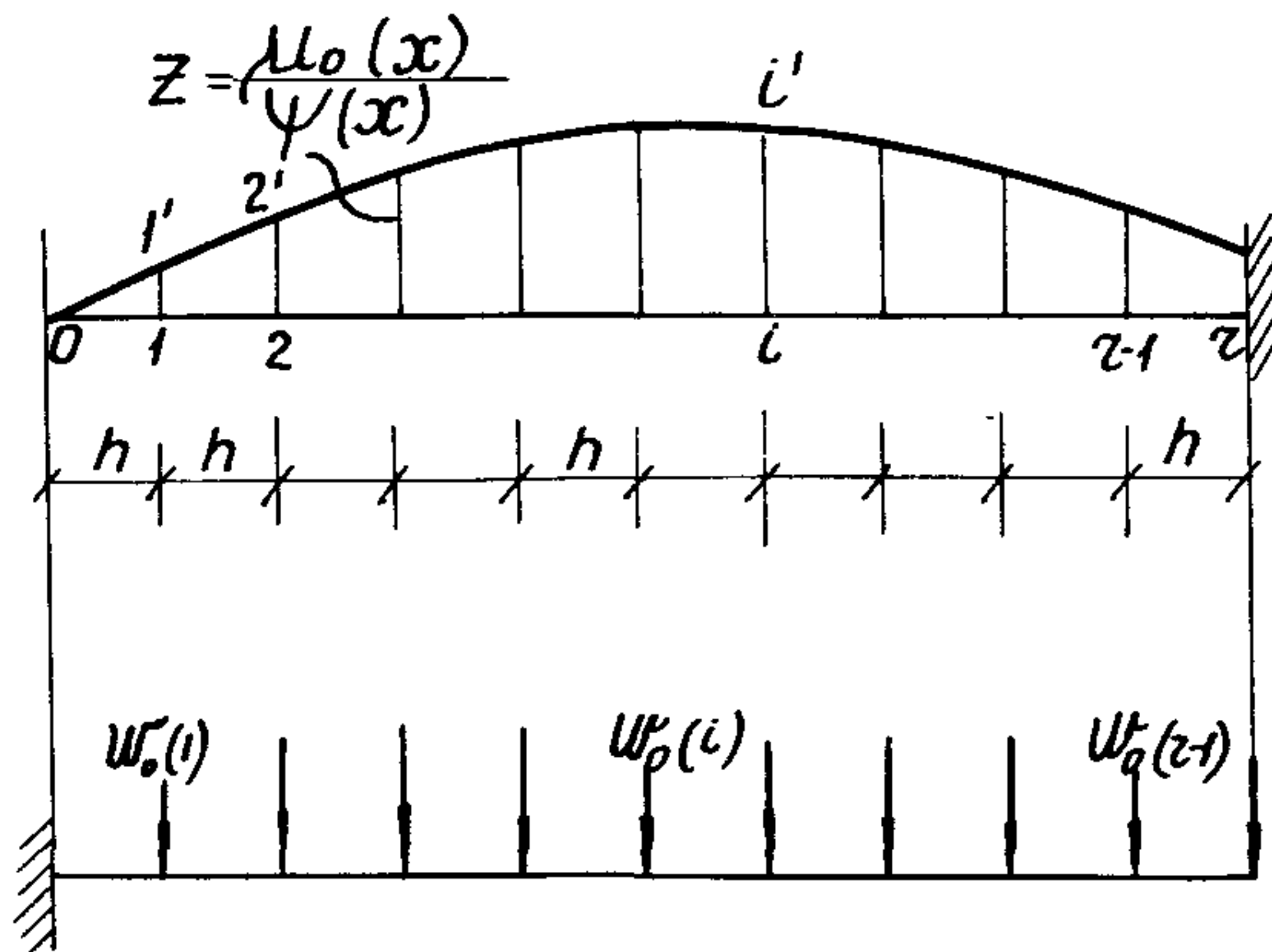


Рис.10. Расчетная схема к определению $M(x)$

Если принять $M(x) = P_M(x)$ то функция $M(x)$ задана численно в точках разбивки.

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

$$Z_n'' = - \frac{M_{n-1}(x)}{\psi(x)} \quad (n = 1, 2, \dots) \quad (65)$$

$M_0(x)$ определена при первом задании формы изогнутой оси (см. выше). Эквивалентные сосредоточенные силы определяют по формуле:

$$W_0(i) = \frac{h}{6} [\bar{Z}_0(i-1) + 4\bar{Z}_0(i) + \bar{Z}_0(i+1)] \quad (66)$$

В расчетной схеме заделка в точке Z 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 $M_1(x)/\psi(x)$, затем определяются согласно формуле (66) нагрузки и строятся 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 λ_1 , можно выразить

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

В результате:

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

В нашем случае $J = I$, 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).

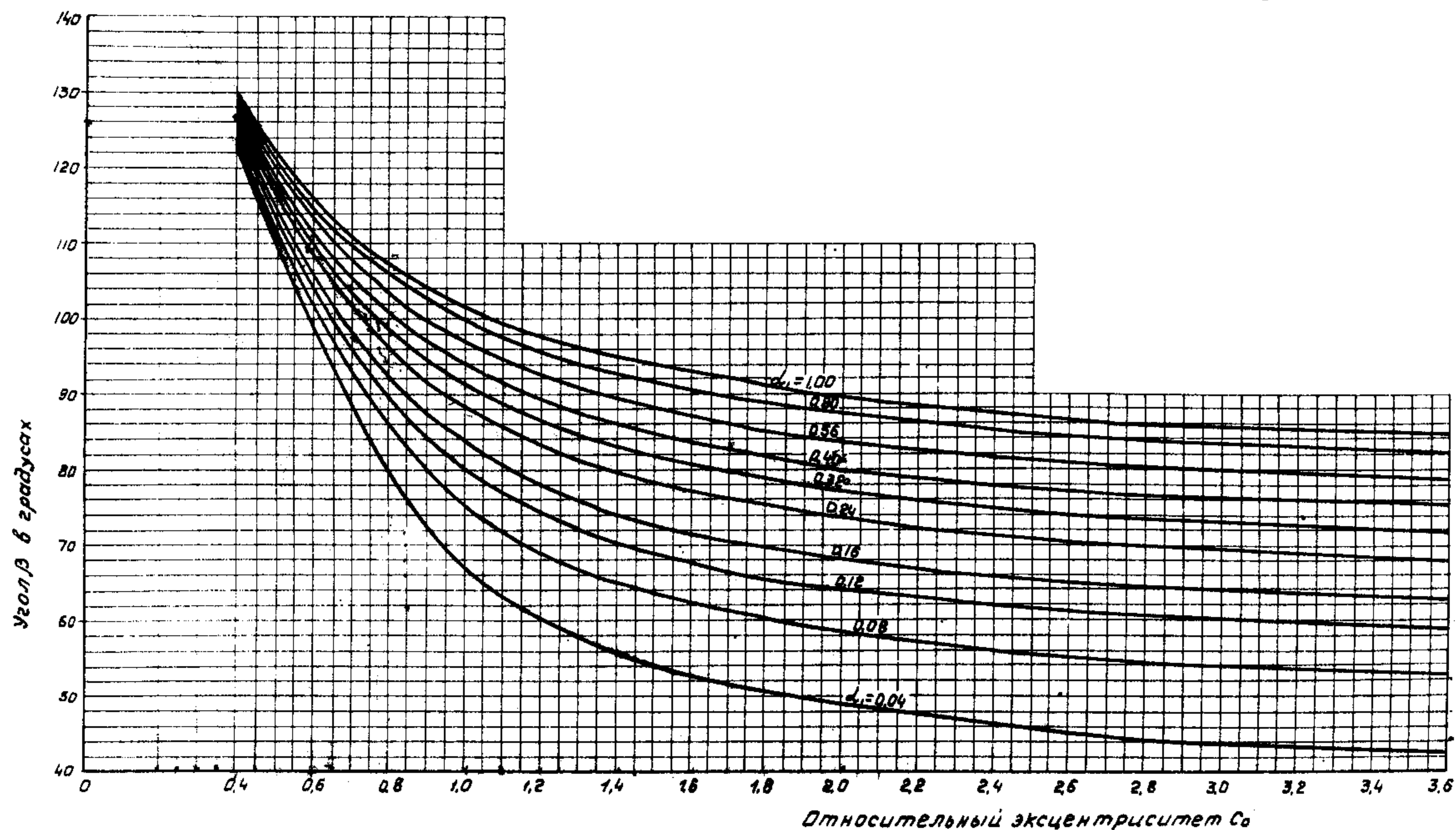


Рис. II. Значения угла β для кольцевых внецентрично сжатых сечений труб

$$\frac{1 + \lambda_1}{\lambda_1} = \frac{1 + \cos \beta}{\beta (1 - \cos \beta)} \left[\frac{\pi \sin \beta}{C_0 \beta - \sin \beta} + \pi - \beta \right]$$

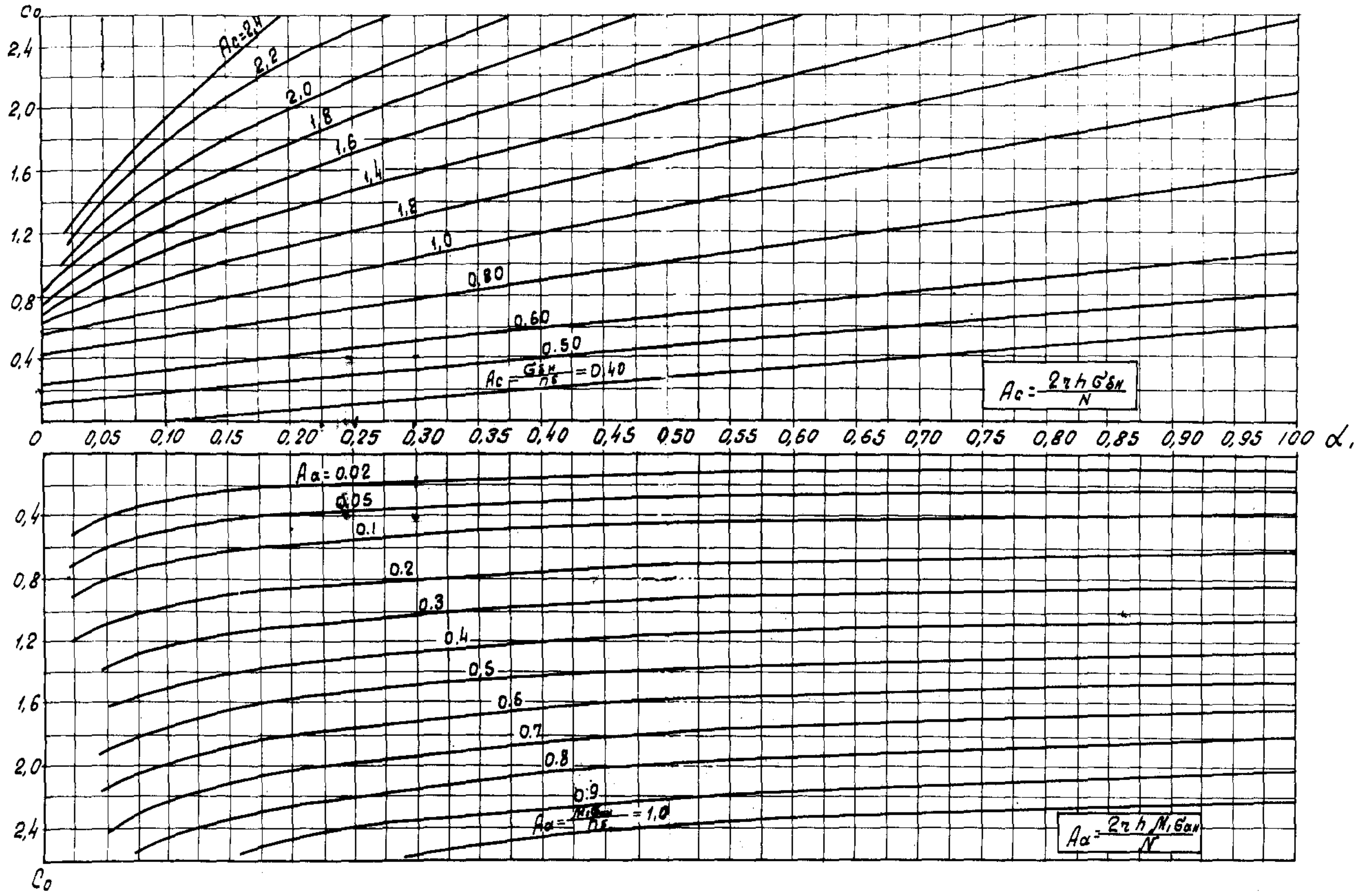


Рис.12. Напряжения арматуры и бетона в кольцевых внецентренно сжатых сечениях, ослабленных одним проёмом в сжатой зоне $\theta = 25^\circ$

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	21
Поверочный расчет на резонанс	21
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 β 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/II-72 г.

Тираж 200 экз.

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