ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ

УКАЗАНИЯ ПО РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ДЫМОВЫХ ТРУБ

ВСН 286-90

Минмонтажспецстрой СССР

Издание официальное

Министерство монтажных и специальных строительных работ СССР

Москва 1990

gost.e-ecolog.ru

РАЗРАБОТАНЫ ВНИПИТеплопроект Минмонтажспецстроя СССР(Лебедев В.Г., Крылова Г.В., к.т.н.Матвеев Ю.В., раздел 4 - к.т.н. Зиновьев А.В.).

ВНЕСЕНЫ И ПОДГОТОВЛЕНЫ К УТВЕРЖДЕНИЮ НПО "Тепломонтаж" Минмонтажспецстроя СССР.

С введением в действие ВСН 286-90 утрачивают силу ВСН 286-72.

При разработке Указаний использован опыт проектирования отдела специальных высотных сооружений ВНИПИТеплопроект Минмонтажспецстроя СССР и экспериментально-теоретические исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных дымовых труб, выполненные научной частью ВНИПИТеплопроект, НИИЖБ, ЦНИИСК им.Кучеренко,НИИОСП Госстроя СССР, Макеевским инженерно-строительным институтом Минвуза УССР, Донецким Промстройниипроектом Госстроя УССР.

При пользовании нормативным документом следует учитывать утвержденные изменения государственных стандартов, строительных норм и правил, публикуемые в журнале "Бюллетень строительной техники", "Сборнике изменений к строительным нормам и правилам" Госстроя СССР и информационном указателе "Государственные стандарты СССР" Госстандарта.

С О Д Е Р Ж А Н И Е

1. Основные положения I
Общие указания I
Основные расчетные требования 2
2. Материалы 7
Бетон для ствола и фундамента 7
Арматура 7
Материалы для футеровки и теплоизоляции труб 8
Материалы для металлоконструкций 9
3. Методика расчета ствола на постоянные и временные (длительные, кратковременные, особые) нагрузки и воздействия ..... IO
Определение ветровой нагрузки ..... IO
Расчет на резонанс 22
Определение сейсмических нагрузок 24
Расчет ствола трубы I и II группам предельных состояний 26
Расчет горизонтальных сечений ствола 29
Расчет вертикальных сечений ствола 4I
Особенности расчета сборных дымовых труб 42
Расчет краевых зон ствола трубы при температурном воздействии 48
Расчет верхней краевой зоны трубы 5I
Учет пространственной работы железобетонного ствола трубы на ветровую нагрузку 52
Определение дополнительных усилий за счет пространственной работы в гладком железобетонном стволе дымовой трубы 52
Определение дополнительных усилий в местах сопряжения различных элементов трубы при действии собственного веса и ветровой нагрузки 54
Определение дополнительных усилий в местах сопряжения различных элементов трубы при температурном воздействии 62
Особенности расчета железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой 64
4. Расчет оснований и фундаментов под трубы 65
Приложение. Обязательное.
Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений 67

МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЙ СССР	ВЕДОМСТВЕННЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ НОРМЫ	ВСН 286-90 ММСС СССР
	Указания по расчету железобетонных дымовых труб	ВЗАМЕН ВСН 286-72 ММСС СССР

Настоящие Указания распространяются на расчет монолитных и сборных железобетонных дымовых и вентиляционных труб, предназначенных для отвода и эффективного рассеивания дымовых газов с температурой не выше 600°С.

Указания содержат основные расчетные положения и методику расчета железобетонного ствола и фундамента дымовой трубы на постоянные и временные (длительные, кратковременные особые) нагрузки и воздействия.

Определение высоты и диаметра выходного отверстия, а также методика тепловых и аэродинамических расчетов дымовых труб в состав данных Указаний не входят.

При расчете дымовых железобетонных труб, кроме данных указаний следует руководствоваться действующими главами СНиП и другими нормативными документами.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Общие указания

I.I. Трубы разделяются по назначению:

дымовые - для отвода дымовых газов, образующихся при сжигании различных видов топлива;

вентиляционные - для отвода газовоздушных смесей от вентиляционных систем и установок.

I.2. Трубы разделяются по конструктивному решению:

монолитные железобетонные с футеровкой на консолях или без футеровки;

монолитные железобетонные с футеровкой на консолях с принудительно или естественно вентилируемым зазором между футеровкой и стволом;

монолитные железобетонные двухслойные;

монолитные железобетонные с внутренними газоотводящими стволами из металла, пластмасс и других материалов;

сборные железобетонные трубы из однослойных или многослойных царг.

ВНЕСЕНЫ	УТВЕРЖДЕНЫ	СРОК ВВЕДЕНИЯ
НПО "Тепломонтаж" Минмонтажспецстроя СССР	МИНМОНТАЖСПЕЦСТРОЕМ СССР "12" сентября 1990 г.	3 октября 1990 г.

I.3. Конструкция дымовой трубы определяется в зависимости от условий эксплуатации и методов возведения, изложенных в задании на проектирование, с учетом температуры и степени агрессивности отводимых газов, исходя из условий обеспечения требуемой надежности и долговечности сооружения, унификации проектных решений, максимального снижения материалоемкости, трудоемкости и стоимости строительства.

I.4. При назначении высоты трубы и диаметра выходного отверстия следует, как правило, принимать унифицированные размеры, указанные в табл.I.

I.5. Фундаменты под трубы следует проектировать, как правило, с круглой или кольцевой фундаментной плитой по данным гидрогеологических и инженерно-геологических изысканий площадки строительства трубы с учетом расположения примыкающих сооружений.

Основные расчетные требования

I.6. Расчет трубы следует проводить по деформированной схеме на воздействие нагрузок от собственного веса, ветра, температуры отводимых газов, солнечной радиации, сейсмических и других особых воздействий, указанных в задании на проектирование.

I.7. Железобетонный ствол и фундамент трубы должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности (предельное состояние первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельное состояние второй группы).

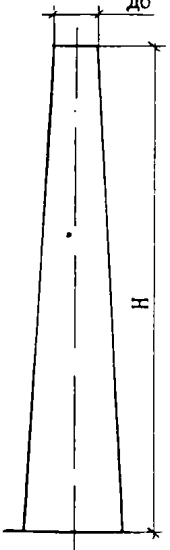
Расчет по предельным состояниям первой группы должен обеспечивать конструкцию от разрушения под совместным воздействием силовых факторов (собственный вес, вес футеровки, тепловой изоляции, внутренних газоотводящих стволов, ветровая нагрузка, сейсмика) и неблагоприятных воздействий окружающей среды (температура, влажность, агрессия дымовых газов).

Расчет по предельным состояниям второй группы должен обеспечивать конструкцию: от чрезмерного раскрытия трещин при воздействии силовых факторов с учетом напряжений, возникающих от температурно-влажностных воздействий; от чрезмерных прогибов ствола трубы.

Для сборных труб расчет по предельным состояниям конструкции ствола в целом и отдельных его элементов должен производиться также для всех стадий изготовления, транспортирования и монтажа.

I.8. При расчете элементов сборных железобетонных конструкций на воздействие усилий, возникающих при их подъеме, транспортировании и монтаже, массу элементов следует вводить в расчет с коэффициентом динамичности равным: I,8 - при транспортировании;

Таблица I

Номер схемы	Габаритная схема дымовой трубы	H, м	Выходной диаметр До, м																		
			I,2	I,5	I,8	2,I	2,4	3	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0	6,6	7,2	7,8	8,4	9	9,6	I0,2	I0,8
I		30	▨	▨	▨	▨	▨														
2		45	▨	▨	▨	▨	▨														
3		60				▨	▨	▨	▨	▨											
4		75					▨	▨	▨	▨	▨										
5		90						▨	▨	▨	▨	▨	▨								
6		I20							▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨				
7		I50								▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨		
8		I80								▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
9		2I0											▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
I0		240											▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
II		270													▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
I2		300													▨	▨	▨	▨	▨	▨	▨
I3		330																▨	▨	▨	▨
I4		360																▨	▨	▨	▨

▨ - рекомендуемые параметры труб

I,5 – при подъеме и монтаже. В этом случае коэффициент перегрузки от собственного веса элемента не вводится.

При наличии опытных данных допускается принимать другие значения коэффициентов динамичности, но не менее I,25.

I.9. Для определения перепадов температур по толщине стенки ствола трубы, а также конфигурации вентилируемого зазора по высоте трубы и температуры воздуха в зазоре с противодавлением, теплоаэродинамические расчеты выполняются в соответствии с требованиями инструкции по теплоаэродинамическому расчету дымовых железобетонных труб.

I.IO. Подразделение нагрузок на постоянные и временные (длительные, кратковременные и особые), а также значения коэффициентов сочетания нагрузок при основных и особых сочетаниях должны приниматься по табл.2.

Таблица 2

Вид нагрузки	Коэффициенты при сочетаниях		
	основных		особых
	I гр.пред. состояний	II гр.пред. состояний	
Постоянные			
Собственный вес железобетонного ствола, футеровки, тепловой изоляции, внутренних газоотводящих стволов, перекрытий, площадок, лестниц и др.	I	I	I
Вес отложений золы на перекрытии	I	I	I
Длительные			
Температурный перепад по толщине стенки ж.б.ствола	I	I	I
Температурные климатические воздействия от нормативных значений зимних температур	I	I	I
Дополнительные усилия от крена фундамента	I	I	I
Кратковременные			
Ветровая нагрузка	I	0,9	–
Дополнительные усилия от прогиба ствола вследствие солнечной радиации	–	0,9	0,8
Особые			
Сейсмические воздействия	–	–	I

Примечание. При расчете на сейсмические воздействия ветровая нагрузка не учитывается.

1.11 Принимаемые для расчёта геометрические размеры железобетонного ствола должны удовлетворять следующим условиям:

а) отношение высоты всего ствола или отдельного его участка к своему нижнему наружному диаметру должно быть не более 20-ти;

б) толщину стенок железобетонного ствола при диаметре ствола до 4,8 м следует принимать не менее 160 мм, при диаметре ствола свыше 4,8 до 7,2 м - не менее 180 мм; свыше 7,2 до 9,0 м - не менее 200 мм; свыше 9,0 до 12,0 м - не менее 250 мм; свыше 12,0 м - не менее 300 мм;

в) процент армирования горизонтальных сечений должен быть не менее 0,4, вертикальных сечений - не менее 0,2.

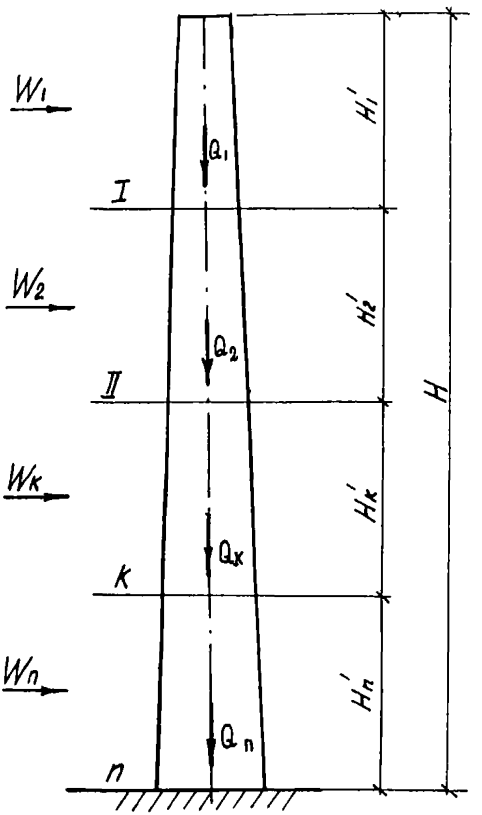
1.12. Предельно допустимая ширина раскрытия трещин в железобетонном стволе от температурного воздействия без учета пространственной работы ствола на ветровую нагрузку a дл. составляет 0,1 мм для верхней трети трубы, для остальной части - 0,2 мм. Предельно допустимая ширина раскрытия трещин от совместного воздействия температуры и пространственной работы ствола на ветровую нагрузку a кр.составляет для верхней трети трубы 0,2 мм, для остальной части 0,3 мм.

1.13. Расчет металлоконструкций площадок, балконов, лестниц, расположенных на наружной поверхности трубы, следует выполнять в соответствии с требованиями СНиП II-23-81 на стальные конструкции. При этом, полезную нормативную нагрузку на площадки и балконы следует принимать 3,0 кН/м2 (300 кгс/м2), коэффициенты перегрузки: для собственного веса 1,1, для полезной нагрузки 1,4, для временной нагрузки 1,2.

1.14. Расчет оснований фундаментов дымовых труб производится по второй группе предельных состояний (по деформациям). Для оснований, сложенных скальными грунтами, расчет должен производиться по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

1.15. Расчетная схема ствола трубы представлена на черт.1.

Расчетная схема ствола трубы



H – высота трубы;

$I, II, \ldots K \ldots n$ – расчетные горизонтальные сечения;

$H_1', H_2' \ldots H_к' \ldots H_n'$ – высота расчетных участков (зон);

$Q_1, Q_2 \ldots Q_к \ldots Q_n$ – вес расчетных участков;

$W_1, W_2 \ldots W_к \ldots W_n$ – горизонтальные силы от суммарной (средней и пульсационной составляющих) ветровой нагрузки на расчетную зону

Черт.I

2. МАТЕРИАЛЫ

Бетон для ствола и фундамента

2.I. Для несущих стволов монолитных железобетонных дымовых и вентиляционных труб следует предусматривать в условиях воздействия температур до 200 °С конструкционный тяжелый бетон, отвечающий требованиям ГОСТ 25I92-82; при воздействии температур свыше 200 до 600 °С, а также для царг сборных железобетонных труб - конструкционный жаростойкий бетон, отвечающий требованиям ГОСТ 20910-82. Для фундаментов дымовых труб конструкционный тяжелый бетон по ГОСТ 25I92-82 допускается применять в условиях воздействия температур до 250 °С.

2.2. Для ствола и фундамента дымовой трубы класс бетона по прочности на сжатие следует принимать, как правило, В22,5(М300). При соответствующем обосновании допускается применение бетона класса ВI5(М200) и В30(М400).

2.3. Марка бетона по морозостойкости и водонепроницаемости назначается по табл.9 СНиП 2.03.0I-84 с учетом климатического района строительства, режима работы трубы и степени ответственности сооружения. В соответствии со СНиП 2.0I.07-85 дымовые трубы высотой более 200 м относятся к I классу ответственности, дымовые трубы высотой до 200 м - ко II классу.

Арматура

2.4. Для армирования ствола и фундамента железобетонных дымовых труб применяется арматура, отвечающая требованиям СНиП 2.03.0I-84 и действующих Государственных стандартов, относящаяся к следующим видам:

стержневая арматурная сталь:

горячекатанная - гладкая класса А-I;

периодического профиля классов А-II и А-III.

В качестве рабочей арматуры ствола и фундамента следует преимущественно применять горячекатанную арматуру класса А-III;

проволочная арматурная сталь:

арматурная холоднотянутая проволока обыкновенная - периодического профиля класса Вр-I. Допускается применять в качестве конструктивной арматуры обыкновенную гладкую проволоку класса В-I.

2.5. Для закладных деталей, соединительных и упорных накладок, как правило, следует применять прокатную углеродистую сталь

класса С38/23. Выбор марки стали и электродов для закладных деталей следует производить как для стальных сварных конструкций в соответствии с требованиями СНиП II-23-81 в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха в районе строительства трубы.

2.6. Для соединения царг сборных труб следует применять высокопрочные шпильки из стали марки 40ХНпо ГОСТ 4543-71, гайки по ГОСТ 5915-70 из стали 35 или 40 по ГОСТ 1050-74 и шайбы из стали марки Ст 5 по ГОСТ 380-88. Допускается изготовлять высокопрочные шпильки из других марок сталей в случае, если механические характеристики шпилек удовлетворяют изложенным требованиям.

Шпильки, гайки и шайбы должны быть термически обработаны.

Режим термической обработки должен обеспечивать временное сопротивление разрыву и твердость крепежных изделий в соответствии с требованиями ГОСТ 22356-77.

Для упорных накладок следует применять полосовую сталь по ГОСТ 103-76 марки Ст 3.

2.7. За нормативное сопротивление шпильки $R^{н}_{шп}$ принимается наименьшее контролируемое значение временного сопротивления разрыву, равное 10000 кгс/см2.

Расчетное сопротивление шпильки растяжению $R_{шп}$ при расчете по первой группе предельных состояний определяется путем деления нормативного сопротивления на коэффициент надежности K_a=1,10 и умножения на коэффициент условий работы γ_s =0,85.

2.8. Расчетные сопротивления арматуры растяжению и сжатию при расчете конструкций по предельным состояниям первой и второй групп, величины модуля упругости E_s, коэффициенты $\beta_s, \alpha_{st}, \alpha_{stm}$ и другие необходимые для расчета величины следует принимать по СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.03.04-84.

Материалы для футеровки и теплоизоляции труб

2.9. Футеровка, как правило, выполняется:

из кирпича керамического обыкновенного по ГОСТ 530-80 или лекального кирпича по ГОСТ 8426-75 на цементно-глиняном растворе;

из кирпича керамического обыкновенного или лекального на кислото-упорном растворе или замазке на основе калиевого или натриевого жидкого стекла;

из кирпича кислотоупорного по ГОСТ 474-80 на кислотоупорном растворе или замазке на основе натриевого или калиевого жидкого стекла;

из кирпича шамотного по ГОСТ 390-83 на жаростойком растворе;

из монолитного полимерцементного или полимерсиликатного бетона;

из жаростойкого бетона.

2.10. Для футеровки следует применять кирпич марки не ниже 100, бетон класса не ниже В12,5 (М150).

2.11. Материалы для тепловой изоляции принимаются, исходя из условий эксплуатации. Теплотехнические свойства теплоизоляционных материалов следует принимать по действующим стандартам.

2.12. Коэффициенты теплопроводности различных видов бетона, а также кирпича и теплоизоляционных изделий следует принимать по табл.7 и 8 СНиП 2.03.04-84.

Материалы для металлоконструкций

2.13. Марку стали для металлоконструкций следует принимать по СНиП П-23-81. При этом следует относить конструкции:

подвесок и деталей крепления - к I группе;

газоотводящих стволов, вставок, несущих площадок - ко 2 группе;

вспомогательных элементов - к 4 группе.

2.14. Типы электродов для ручной сварки металлоконструкций следует принимать по СНиП П-23-81.

3. МЕТОДИКА РАСЧЕТА СТВОЛА НА ПОСТОЯННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ (ДЛИТЕЛЬНЫЕ, КРАТКОВРЕМЕННЫЕ, ОСОБЫЕ) НАГРУЗКИ И ВОЗДЕЙСТВИЯ

Определение ветровой нагрузки

3.I. Ветровая нагрузка на дымовые трубы определяется как сумма средней и пульсационной составляющих в соответствии с указаниями СНиП 2.0I.07-85.

3.2. В качестве расчетной схемы дымовой трубы при расчете на ветровую нагрузку принимается защемленный в основании консольный стержень постоянного или переменного сечения с разбивкой по высоте на несколько расчетных зон с приложенной в центре каждой зоны суммарной ветровой нагрузкой

$$W = (w_m + w_p) \cdot D \cdot H' \gamma_f , \qquad (I)$$

где D, H' - средний диаметр и высота расчетной зоны, м;

γ_f - коэффициент надежности при определении расчетной ветровой нагрузки принимается равным для дымовых труб высотой до I50 м - I,4; свыше I50 до 300 м - I,5; свыше 300 м - I,6.

3.3. Нормативное значение средней составляющей ветровой нагрузки w_m на высоте z над поверхностью земли определяется по формуле

$$w_m = w_0 \cdot k \cdot c , \qquad (2)$$

где w_0 - нормативное значение ветрового давления определяется по табл.5 СНиП 2.0I.07-85 в зависимости от ветрового района или по формуле

$$w_0 = 0,6I v_0^2 , \text{ Па},$$

где v_0 - скорость ветра на уровне I0 м над поверхностью земли для местности типа А, соответствующая I0-минутному интервалу осреднения и превышаемая в среднем в 5 лет (нормативная скорость ветра), м/с;

k - коэффициент, учитывающий изменение ветрового давления по высоте z, определяемый по табл.6 СНиП 2.0I.07-85 для местности типа А (для дымовых труб);

c - аэродинамический коэффициент лобового сопротивления определяется по схеме I4 приложения 4 СНиП 2.0I.07-85.

3.4. Для определения пульсационной составляющей ветровой нагрузки W_p необходимо выявить количество „S" форм собственных колебаний, учитываемых в расчете. Число „S" определяется из условия

$$f_S < f_e < f_{S+1} ,$$

где f_e – предельное значение частоты собственных колебаний, при котором допускается не учитывать силы инерции, возникающие при колебаниях по соответствующей собственной форме, определяемое по табл.8 СНиП 2.01.07-85 в зависимости от ветрового района строительства трубы при $\delta = 0{,}3$.

Для дымовых труб, у которых $f_1 < f_e < f_2$,

где f_1 и f_2 – первая и вторая частота собственных колебаний, расчёт выполняется только для I формы собственных колебаний.

3.5. Частота собственных колебаний трубы по i -ой форме $f_i = \frac{1}{T_i}$, где T_i – период собственных колебаний, определяемый по формуле

$$T_i = \frac{1}{\sqrt{\lambda_i}} \cdot \frac{2H^2}{r_0} \sqrt{\frac{\gamma_{пр}}{E_в}} ,$$

где $\sqrt{\lambda_i}$ для каждой из трех форм собственных колебаний находят по графикам на черт.2–4 в зависимости от соотношения упругой податливости опоры α_0 и гибкости $\frac{\ell}{r_0} = \frac{H}{r_0}$.

$$\frac{J_1}{J_0} = \frac{R_{верх}^4 - r_{верх}^4}{R_{ниж}^4 - r_{ниж}^4} ,$$

где R – наружные радиусы железобетонного ствола, м;

r – внутренние радиусы железобетонного ствола, м;

$r_0 = \sqrt{\frac{J_0}{A}}$ – радиус инерции нижнего сечения железобетонного ствола, м;

H – высота трубы, м;

A – площадь бетона нижнего сечения ствола, м2.

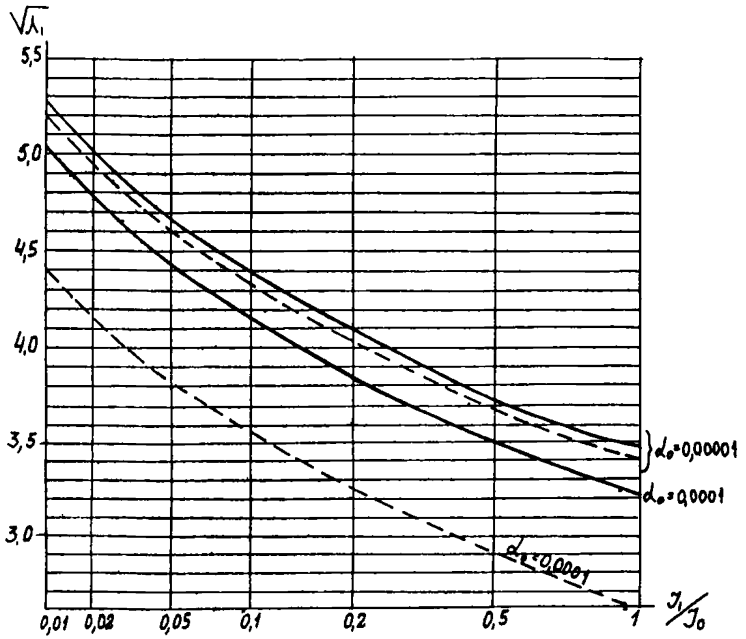
$$\alpha_0 = \frac{2E_в \cdot J_0}{C_z \cdot F_ф H^3} ; \qquad \gamma_{пр} = \frac{\Sigma Q}{V_{бет}} ,$$

где $\gamma_{пр}$ – приведенная объемная масса трубы с учетом веса футеровки, тепловой изоляции, внутренних металлических стволов, т/м3;

$E_в$ – модуль упругости бетона, тс/м2;

C_z – коэффициент податливости основания, принимаемый по табл.3 в зависимости от сопротивления грунта сжатию $R_{гр}$;

$F_ф$ – площадь основания фундамента, м2.



Изменение величины $\sqrt{\lambda_1}=p_1\frac{\ell^2}{r_0}\sqrt{\frac{J}{E\cdot g}}$ для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (первая форма собственных колебаний):

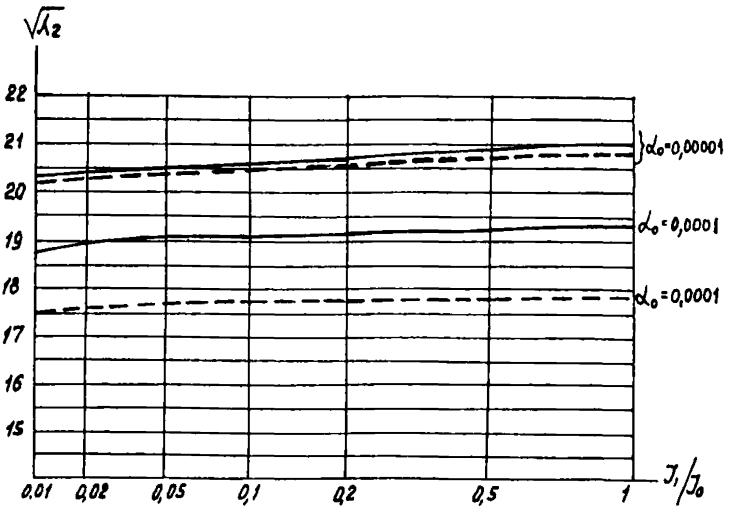
— — — для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}=80$;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}=40$.

При $\alpha_0>0,0001$ величина $\sqrt{\lambda_1}$ принимается по кривой $\alpha_0=0,0001$.

При $40<\frac{\ell}{r_0}<80$ значения $\sqrt{\lambda_1}$ принимать по интерполяции

Черт.2



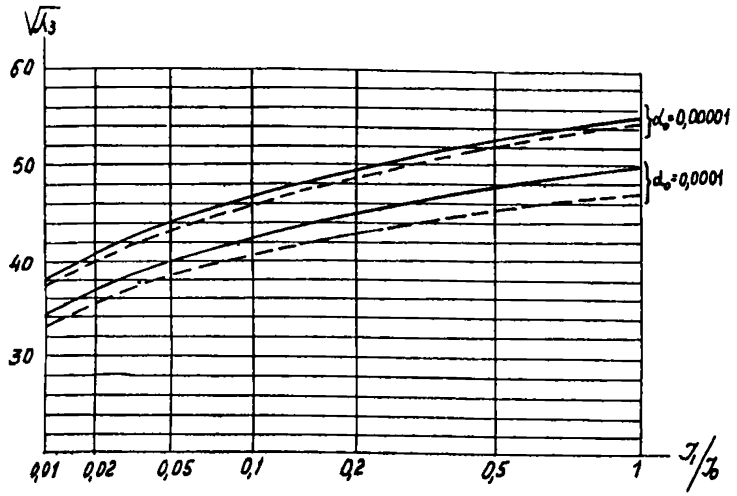
Изменение величины $\sqrt{\lambda_2}=\rho_2\frac{\ell^2}{r_0}\cdot\sqrt{\frac{F}{E\cdot g}}$ для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (вторая форма собственных колебаний):

— — — для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}=80$;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}=40$.

При $40<\frac{\ell}{r_0}<80$ значения $\sqrt{\lambda_2}$ принимать по интерполяции

Черт.3



Изменение величины $\sqrt{\lambda_3} = \rho_3 \frac{\ell^2}{r_0} \sqrt{\frac{F}{E \cdot g}}$ для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (третья форма собственных колебаний):

— — — для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0} = 80$;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0} = 40$.

При $40 < \frac{\ell}{r_0} < 80$ значения $\sqrt{\lambda_3}$ принимать по интерполяции

Черт.4

Таблица 3

$R_{тр}$, кгс/см2	I,5	2,0	3,0	4,0	5,0
Cz, т/м3	3000	4000	5000	6000	7000

3.6. Нормативное значение пульсационной составляющей ветровой нагрузки w_p, приложенной к середине расчетной зоны на высоте z определяется для каждой из учитываемых в расчете „S" форм собственных колебаний по формуле

$$w_{pi} = m \cdot \xi_i \cdot \psi_i \cdot y_i \quad , \qquad (4)$$

где m – масса сооружения на уровне z, отнесенная к площади поверхности ($D \cdot h$), к которой приложена ветровая нагрузка, т;

ξ_i – коэффициент динамичности i-ой формы колебаний, определяемый в соответствии с указаниями п.3.7;

ψ_i – коэффициент, определяемый в соответствии с указаниями п.3.8;

y_i – горизонтальное перемещение сооружения на уровне z по i-ой форме собственных колебаний, м.

3.7. Коэффициент динамичности ξ_i, определяется по графику на черт.5 в зависимости от параметра $\varepsilon_i = \frac{\sqrt{\gamma_f \cdot w_o}}{940 \cdot f_i} \leq 0,2$ и логарифмического декремента колебания δ=0,3 для железобетонных дымовых труб. Для значений $\varepsilon_i > 0,2$ коэффициент динамичности определяется по табл.4.

Таблица 4

ε_i	0,25	0,3	0,4	0,45	0,5
ξ_i	2,I3	2,2	2,28	2,3	2,3

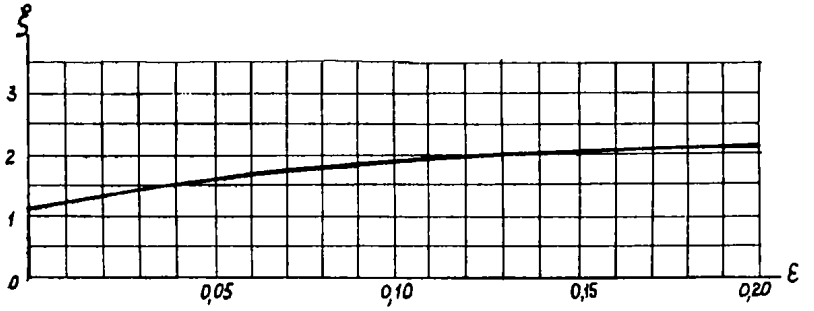


График определения коэффициентов динамичности для железобетонных сооружений (δ = 0,3)(в зависимости от параметра $\varepsilon_i = \frac{\gamma_f \cdot w_0}{940 \cdot f_i}$,

где γ_f - коэффициент надежности по нагрузке;
w_0 - нормативное значение ветрового давления, Па;
f_i - частота собственных колебаний трубы, 1/с)

Черт.5

3.8. Коэффициент ψ_i определяется по формуле

$$\psi_i = \frac{\sum_{k=1}^{n} y_{ki} \cdot W_{pk}}{\sum_{k=1}^{n} y_{ki}^2 \cdot M_k}, \qquad (5)$$

где n - число участков, на которое разбито сооружение;

M_k - масса К-го участка сооружения, т;

y_{ki} - горизонтальное перемещение центра К-го участка по i-ой форме собственных колебаний;

W_{pk} - равнодействующая пульсационной составляющей ветровой нагрузки на К-ый участок, определяемая по формуле

$$W_{pk} = W_m \cdot \zeta \cdot \nu ,$$

где W_m - определяется по формуле (2);

ζ - коэффициент пульсации давления ветра на уровне z принимаемый по табл.7 СНиП 2.01.07-85;

ν - коэффициент пространственной корреляции пульсаций давления ветра, определяемый для I-ой формы собственных колебаний по табл.9 СНиП 2.01.07-85, принимая при этом $\rho = D$ - средний наружный диаметр трубы, м;

$\chi = H$ - высота трубы, м.

Для высших форм собственных колебаний коэффициент ν принимается равным I.

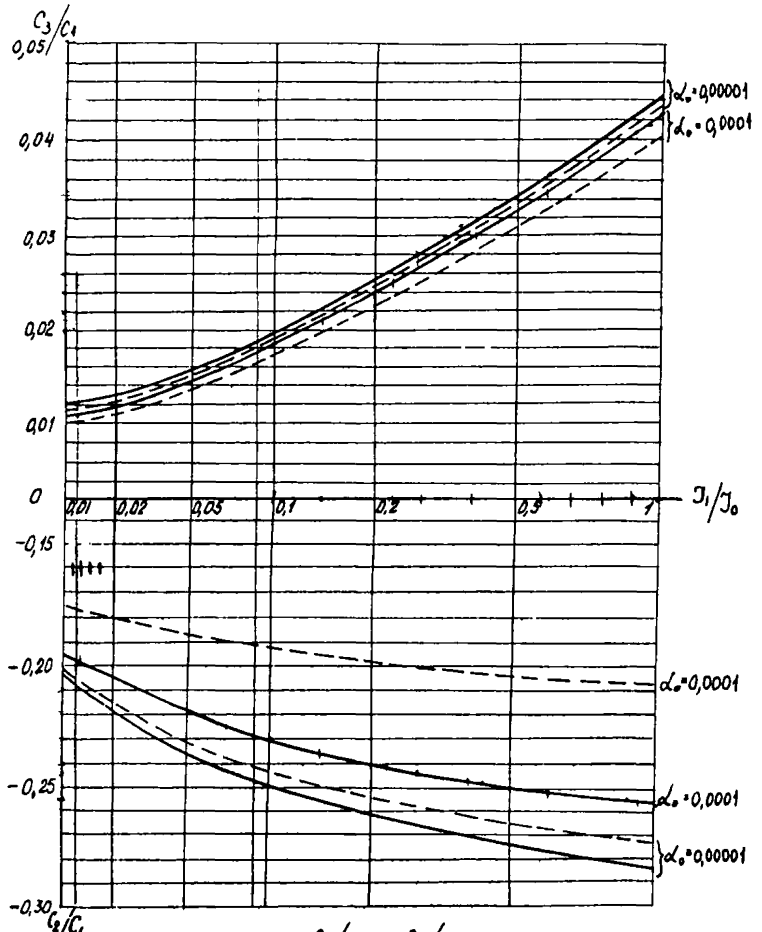
3.9. Горизонтальное перемещение центра К-го участка y_{ki} на уровне z по i-ой форме собственных колебаний определяется по формуле

$$y_{ki} = \frac{1}{1+K\cdot\frac{z}{H}} \cdot \left[\sin\frac{\pi \cdot z}{2H} + \left(\frac{C_2}{C_1}\right)_i \sin\frac{3\pi \cdot z}{2H} + \left(\frac{C_3}{C_1}\right)_i \cdot \sin\frac{5\pi \cdot z}{2H} \right], \qquad (6)$$

где $K = 0{,}75 \cdot \left(\frac{J_1}{J_0} - 1\right)$;

$\left(\frac{C_2}{C_1}\right)_i$ и $\left(\frac{C_3}{C_1}\right)_i$ - определяются для первых трех форм собственных колебаний по графикам черт.6-8 в зависимости от $\frac{J_1}{J_0}$; α_0 и $\frac{\ell}{r_0} = \frac{H}{r_0}$.

Проверку правильности определения относительных ординат 3-х форм собственных колебаний выполняют построением эпюр, которые должны иметь вид, предотавленный на черт.9.



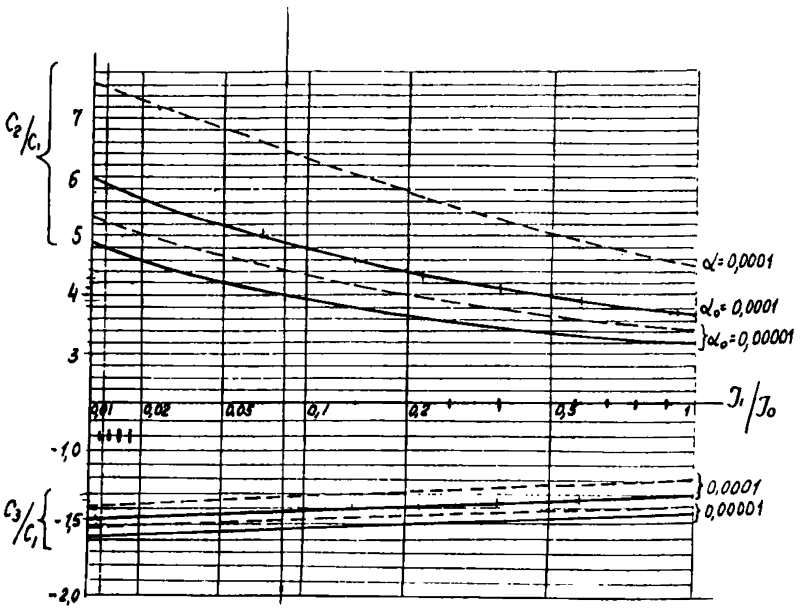
Изменение коэффициентов C_2/C_1 и C_3/C_1 из уравнения формы колебаний для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (первая форма соб.колебаний):

— — — для стержней с соотношением $\frac{\ell}{\ell_0}$ = 80;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{\ell_0}$ = 40.

При $40 < \frac{\ell}{\ell_0} < 80$ C_2/C_1 и C_3/C_1 принимать по интерполяции

Черт.6



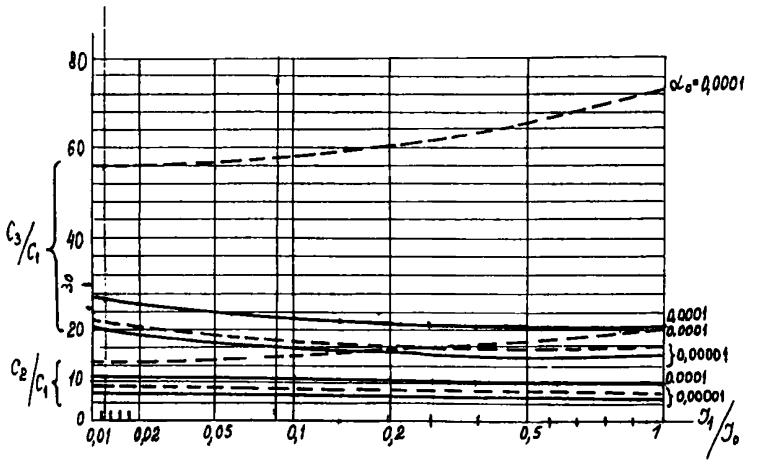
Изменение коэффициентов C_2/C_1 и C_3/C_1 из уравнения формы колебаний для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (вторая форма соб.колебаний):

— — — для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0} = 80$;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0} = 40$.

При $40 < \frac{\ell}{r_0} < 80$ значения C_2/C_1 и C_3/C_1 принимать по интерполяции

Черт.7



Изменение коэффициентов C_2/C_1 и C_3/C_1 из уравнения формы колебаний для стержней переменного сечения с упруго-податливой опорой (третья форма соб.колебаний):

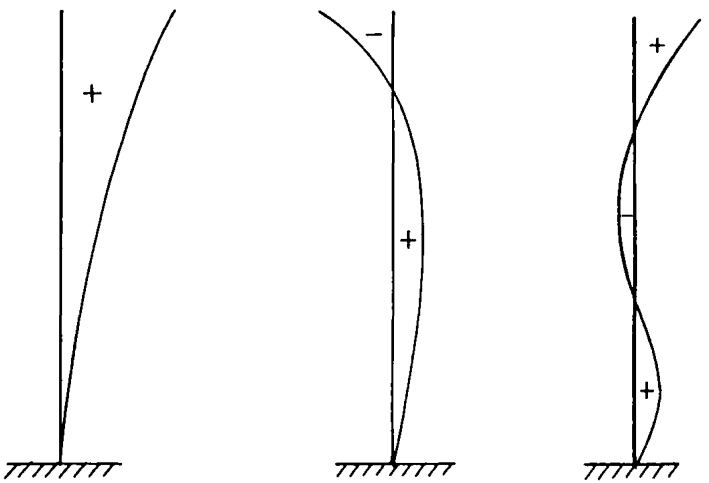
– – – – для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}$ =80;

——— для стержней с соотношением $\frac{\ell}{r_0}$ =40.

При $40 < \frac{\ell}{r_0} < 80$ значения C_2/C_1 и C_3/C_1 принимать по интерполяции

Черт.8

Формы собственных колебаний дымовой трубы



Черт.9

Расчет на резонанс

3.10. Кроме расчета ствола трубы на действие средней и пульсационной составляющих ветровой нагрузки, выполняется расчет ствола на действие турбулентного потока ветра, вызывающего резонансные колебания дымовой трубы.

3.11. Проверка на резонанс цилиндрических труб и труб с малой коничностью выполняется в тех случаях, когда критическая скорость ветра находится в пределах

$$2\sqrt{w_o} \leq v_{кр} \leq v, \qquad (7)$$

где w_o - среднее давление ветра см.п.3.3;

v - максимально возможная скорость ветра в районе строительства трубы, м/с;

$v_{кр}$ - критическая скорость ветра, вызывающая резонанс, м/с, определяется по формуле

$$v_{кр} = \frac{5Д}{T},$$

где $Д$ - наружный диаметр верхнего сечения трубы, м;

T - период собственных колебаний трубы по I-й форме, с.

3.11.1. Период собственных колебаний трубы T определяется по формуле (3). Резонансная амплитуда колебаний верхнего конца дымовой трубы, как стержня переменного сечения, жестко защемленного в фундаменте, определяется по формуле

$$y_д = 0{,}35\frac{F_o \cdot H^4}{B_{прив.} \cdot \delta},$$

где F_o - амплитуда аэродинамической силы у свободного конца консольного цилиндра, Н/м, определяемая по формуле $F_o = \frac{v_{кр}^2 \cdot Д}{64}$;

δ - логарифмический декремент затухания колебаний равный 0,2;

$B_{прив.}$ - приведенная жесткость сечения, определяемая из условия равенства прогибов верхнего конца трубы и свободного конца консольного цилиндрического стержня от единичной нагрузки, распределенной по высоте трубы. Для цилиндрического стержня $B_{прив.} = B$.

3.II.2.Изменение резонансной амплитуды колебаний по высоте трубы принимают по закону параболы

$$y_{д_к} = a \cdot x^2 ,$$

где x - расстояние от основания трубы до рассматриваемого сечения, м;

$$a = \frac{y_д}{H^2}$$

3.II.3.Инерционные силы отдельных участков трубы, возникающие при колебаниях трубы, определяются по формуле

$$M_к = \frac{Q}{g} \cdot f_i^2 \cdot y_{д_к} ,$$

где $f_i = \frac{2\pi}{T_i}$ - круговая частота в 1/с.

3.II.4.Изгибающий момент(Мдин) от инерционных сил, направленных горизонтально, определяется, как для консоли,защемленной в основании.

3.II.5.При $V_{кр} \geq$ I0 м/с необходимо учесть статическое воздействие ветра, имеющего скорость равную Vкр. Величина скоростного напора на I пог.м высоты трубы от статического воздействия критической скорости ветра имеет по всей высоте трубы постоянную величину, равную

$$W_c = \frac{V_{кр}^2}{16} \cdot Д_{ср.взв.}$$

Изгибающий момент от статического воздействия критической скорости ветра определяется, как для консоли,жестко защемленной в основании, от равномерно распределенной нагрузки.

3.II.6.Расчетный изгибающий момент при резонансе М рез. определяется по формуле

$$М\ рез. = \sqrt{М_{дин}^2 + М_{ст}^2}$$

При V кр. < I0 м/с принимают Мст =0 и тогда Мрез = Мдин.

3.II.7.В случае,когда Мрез. превышает величину изгибающего момента, принятого при расчете трубы на расчетную ветровую нагрузку, необходимо выполнить проверку сечений на действие резонансного момента М рез.

3.I2.При расчете на резонанс другие кратковременные нагрузки не учитываются.

Определение сейсмических нагрузок

3.13. Сейсмические воздействия следует определять в соответствии с требованиями СНиП П-7-81.

Расчет конотрукций ствола, основания и фундамента дымовых труб, проектируемых для строительства в сейсмических районах, должен выполняться на основные и особые сочетания нагрузок с учетом сейсмических воздействий. Коэффициенты сочетаний нагрузок принимать по табл.2 в п.1.10.

3.14. Расчетные значения продольной и поперечной силы, изгибающего момента и других усилий, возникающих в конструкциях трубы от сейсмической нагрузки при условии статического действия ее на сооружение, следует определять по формуле

$$X_P = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} X_i^2} \ ,$$

где X_i – значения усилий в рассматриваемом сечении, вызываемых сейсмическими нагрузками, соответствующими i –ой форме собственных колебаний;

n – число учитываемых в расчете форм колебаний.

При расчете дымовых труб усилия от сейсмических воздействий следует определять с учетом не менее трех форм собственных колебаний, если период первого тона собственных колебаний T_1 более 0,4 с, и с учетом только первой формы, если T_1 равно или менее 0,4 с.

3.15. Расчетная горизонтальная сейсмическая нагрузка S_{ik}, приложенная к центру расчетной зоны и соответствующая i –ой форме собственных колебаний определяется по формуле

$$S_{ik} = K_1 K_2 \cdot S_{oik} \ , \qquad (8)$$

где K_1 – коэффициент, учитывающий допускаемые повреждения сооружения, принимаемый по п.2 табл.3 СНиП П-7-81, равный 0,25 ;

K_2 – коэффициент, учитывающий конотруктивные решения сооружения, принимаемый по п.8 табл.4 СНиП П-7-81 равным 1. Расчетная сейсмичноть сооружения принимается равной расчетной сейсмичности площадки строительства трубы по п.1 табл.5 СНиП П-7-81. Расчетная сейомичность площадки строительства трубы определяется по табл.1 СНиП П-7-81 в зависимости от сейсмичности района и категории грунтов по сейсмическим свойствам, залегающих в основании дымовой трубы;

S_{oik} – значение сейсмической нагрузки для i –го тона собственных колебаний дымовой трубы, определяемое в предположении упругой деформации конструкции по формуле

$$S_{oik} = Q_K \cdot A \cdot \beta i \cdot K\psi \cdot \eta_{ik} , \qquad (9)$$

где Q_K – вес участка дымовой трубы, сосредоточенный в точке К, т;

A – коэффициент, значение которого принимается равным 0,1; 0,2; 0,4 для расчетной сейсмичности 7,8 и 9 баллов соответственно;

βi – коэффициент динамичности, соответствующий i –ому тону собственных колебаний дымовой трубы, принимаемый в зависимости от периодов собственных колебаний Ti по i –ому тону и категории грунтов по сейсмическим свойствам в основании сооружения:

для грунтов I категории $\beta i = \frac{1}{Ti}$, но не более 3

II категории $\beta i = \frac{1,1}{Ti}$, но не более 2,7

III категории $\beta i = \frac{1,5}{Ti}$, но не более 2.

Во всех случаях значения βi должны приниматься не менее 0,8;

K_ψ – коэффициент, принимаемый по п.1 табл.6 равным 1,5;

η_{ik} – коэффициент, зависящий от формы деформации сооружения по i –ому тону собственных колебаний и от места расположения нагрузки; для дымовых труб определяется по формуле

$$\eta_{ik} = \frac{x_{ik} \sum_{j=1}^{n} Q_j x_{ij}}{\sum_{j=1}^{n} Q_j \cdot x_{ij}^2} \qquad (10)$$

где x_{ik} и x_{ij} – смещения оси дымовой трубы при собственных колебаниях по i –ому тону в точке К и во всех точках j, где приложен сосредоточенный вес участков ствола Q_j, м.

Вертикальную сейсмическую нагрузку следует учитывать при расчете дымовой трубы на устойчивость против опрокидывания или против скольжения. Расчетная вертикальная сейсмическая нагрузка, приложенная к центру расчетной зоны и соответствующая i – той форме собственных колебаний, определяется по формулам (8) и (9), принимая коэффициенты K_2 и $K\psi$ равными 1.

Коэффициент условий работы бетона при сейсмическом воздействии γ_{b2} следует принимать равным I,2 согласно п.2а табл.7 СНиП П-7-8I. Для дымовых труб, возводимых в районах с повторяемостью землетрясений I, 2 и 3 значение γ_{b2} следует умножать на 0,85, I и I,I5 соответственно.

3.I6. Полученные расчетные сейсмические усилия (моменты, горизонтальные силы) в каждом сечении следует сравнить с расчетными ветровыми усилиями и дальнейший расчет сечений по I группе предельных состояний следует выполнять на усилия, которые окажутся большими. Расчет сечений по П группе предельных состояний при сейсмических воздействиях и резонансе не производится. Ширину раскрытия трещин, в этом случае, определяют от совместного действия температуры и нормативной ветровой нагрузки.

Расчет ствола трубы по I и П группам предельных состояний

3.I7. Расчет горизонтальных и вертикальных сечений железобетонного ствола дымовой трубы по первой и второй группе предельных состояний производится в соответствии с требованиями ГОСТ 27751-88, СТ СЭВ I406-78, СНиП 2.03.0I-84, СНиП 2.03.04-84 на строительные конструкции и основания, бетонные и железобетонные конструкции, в том числе, работающие в условиях воздействия высоких и повышенных температур.

Количество сечений и высоту расчетных зон следует определять в зависимости от высоты трубы и способа выполнения расчетов. При выполнении расчетов с применением ЭВМ количество сечений определяется возможностями машины. При выполнении расчетов без применения ЭВМ количество сечений следует назначать в зависимости от высоты трубы и требуемой точности определения усилий и деформаций.

Для сборных железобетонных дымовых труб высотой до 75 м расчетные сечения рекомендуется назначать через I0–I5 м по высоте трубы, а также в местах изменения наружного диаметра и толщины стенки ствола, в зоне проемов для газоходов и на отметке сопряжения ствола с фундаментом.

Для монолитных железобетонных дымовых труб высотой от 75 до I50 м сечения рекомендуется назначать через I5–20 м по высоте трубы, для труб высотой от I50 до 250 м – через 20–30 м, для труб высотой более 250 м – через 30–45 м. Кроме того, расчетные сечения следует назначать на отметках изменения уклона образующей наружной поверхности, в зоне проемов для газоходов и на отметке сопряжения ствола с фундаментом.

3.18. Расчет сечений ствола по I группе предельных состояний (по прочности) выполняется на одновременное воздействие собственного веса, расчетной ветровой нагрузки и температурного воздействия дымовых газов. Расчет производится по деформированной схеме с учетом влияния прогиба трубы от ветра и крена фундамента (черт.10а и 10б).

3.19. Прочность горизонтального сечения обеспечивается при условии, что напряжения в растянутой арматуре, равномерно расположенной по периметру сечения, не превышают предельно допустимых значений R_s, а сопротивление бетона сжатой зоны сечения не превышает предельно допустимых значений $R_б$. Сопротивление бетона растяжению принимается равным нулю.

3.20. Расчет сечений ствола по II группе предельных состояний выполняется на одновременное воздействие собственного веса, нормативной ветровой нагрузки, а также температурное воздействие дымовых газов с учетом прогиба ствола от нормативного ветра, солнечной радиации и крена фундамента (черт.10в). Ширина раскрытия вертикальных и горизонтальных трещин не должна превышать предельно допустимых значений, указанных в п.1.12.

3.21. При расчете по I и II группе предельных состояний собственный вес следует принимать с коэффициентом перегрузки $K = 1$.

3.22. Определение напряжений от температурных воздействий следует производить при наибольшем значении температуры дымовых газов и расчетном значении минимальной температуры наружного воздуха (средней температуре наиболее холодной пятидневки).

3.23. Дополнительные усилия в сечениях ствола трубы следует определять:

при расчете горизонтальных сечений

в зонах изменения уклона образующей конической оболочки трубы при изменении этого уклона на величину большую 0,01;

в зонах ступенчатого изменения толщины стенки ствола при

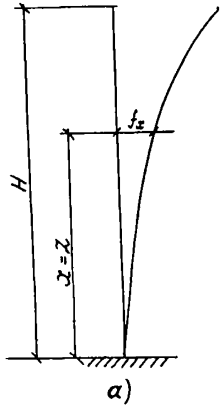
$$\frac{h_в}{h_н} \leqslant 0{,}85 ,$$

где $h_в$ и $h_н$ – толщина стенки соответственно выше и ниже уступа;

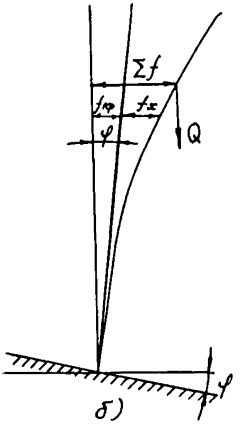
в зоне сопряжения ствола трубы с фундаментом;

в зонах расположения монолитно связанного с оболочкой кольцевого ребра;

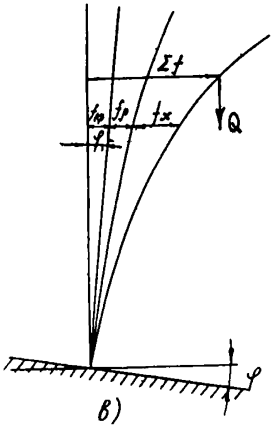
Расчетная схема прогибов дымовой трубы



а)



б)



в)

а) прогиб от действия ветровой нагрузки;

б) прогиб от действия ветровой нагрузки с учетом крена фундамента;

в) прогиб от действия ветровой нагрузки с учетом прогиба от солнечной радиации и крена фундамента

Черт.10

при расчете вертикальных сечений

в трубах высотой более 200 м, если отношение толщины стенки h к среднему радиусу кольцевого сечения r в каком-либо сечении удовлетворяет условию

$$\frac{h}{r} \leq \frac{1}{20}$$

Расчет горизонтальных сечений ствола

3.24. Усилия в горизонтальных сечениях ствола трубы определяются методом последовательных приближений.
Окончательными являются усилия n-го приближения, которые отличаются от $(n-1)$ приближения не более, чем на 5%.
При расчете горизонтальных сечений ствола трубы по первой и второй группам предельных состояний изгибающий момент определяется от соответствующих нагрузок и воздействий, указанных в п.3.19 и 3.20.

3.25. Последовательность расчета ствола трубы по I группе предельных состояний состоит в следующем:

а) для всех горизонтальных сечений ствола (черт.II), исходя из конструктивных требований, задаются толщиной стенки и количеством вертикальной арматуры на I п.м длины окружности ствола, устанавливаемой у наружной и внутренней граней сечения. В расчете прочности горизонтальных сечений принимается суммарная площадь наружной и внутренней арматуры $A_s + A'_s$ со средним радиусом установки $r = 0{,}5\,(r_{нар} + r_{вн})$;

б) определяют нормальные силы N (от собственного веса ствола, футеровки, площадок и т.п.) и изгибающие моменты от расчетной ветровой нагрузки. В первом приближении изгибающие моменты определяют без учета влияния прогиба трубы по формуле

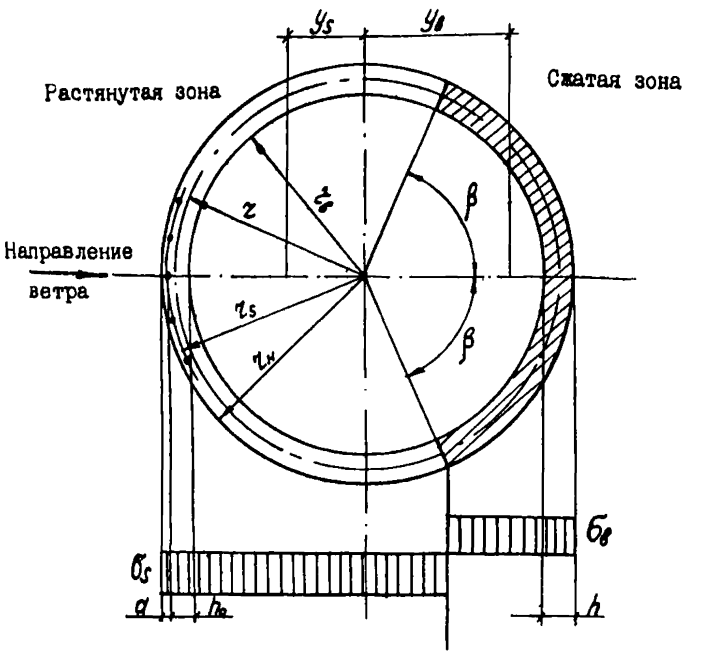
$$M_к = W_к \cdot \frac{h_к}{2} + \sum_{к-1}^{к+1} M \quad , \qquad (II)$$

где $W_к$ – суммарная ветровая нагрузка, действующая на К-ю зону трубы;

$h_к$ – высота расчетной зоны;

$\sum_{к-1}^{к+1} M$ – суммарный момент от ветровой нагрузки, действующий в вышележащих сечениях;

Расчетная схема горизонтального сечения трубы
и эпюра напряжений в сечении



$r_н$ – наружный радиус сечения;

$r_в$ – внутренний радиус сечения;

r_s – радиус установки арматуры;

r – средний радиус сечения;

β – половина угла сжатой зоны;

y_s – расстояние от центра трубы до центра тяжести растянутой арматуры,

$y_в$ – расстояние от центра трубы до центра тяжести сжатой зоны;

h – толщина стенки трубы;

$h_о$ – полезная высота сечения;

$б_s$ – растягивающее напряжение в арматуре;

$б_в$ – сжимающее напряжение в бетоне

Черт.II

в) определяют относительный эксцентриситет приложения нормальных сил по формуле

$$C_o = \frac{M_к}{N \cdot Z} \qquad (12)$$

Если C_0 удовлетворяет условию

$$C_o \geqslant \frac{Z_я}{Z} \,, \qquad (13)$$

где $Z_я = \frac{r_н^2 + r_{вн}^2}{4 r_н}$ для неослабленного сечения, то дальнейший расчет производят согласно перечислениям г)÷н) данного пункта "Указаний". Если $C_0 < \frac{Z_я}{Z}$, то дальнейший расчет проводят согласно перечислениям о) и п) данного пункта "Указаний".

г) определяют характеристику сечения α_1 по формуле

$$\alpha_1 = 4 \mu_1 \frac{E_s \beta_s}{E_б \beta_б} \,, \qquad (14)$$

где $\beta_б$ – принимают в зависимости от средней температуры бетона сечения стенки;

β_s – в зависимости от температуры арматуры;

$$\mu_1 = \frac{A_s + A_s'}{б \cdot h}$$

где $A_s + A_s'$ – площадь всей вертикальной арматуры в расчетном сечении при его ширине 100 см;

$б$ – ширина полосы, равная 100 см;

д) определяют центральный угол $2\beta^\circ$, ограничивающий сжатую зону. Величину β° находят по графику на черт.12 в зависимости от α_1 и C_o.

Для каждого расчетного сечения без проемов напряжения в бетоне сжатой зоны и в арматуре растянутой зоны сечения определяют по формулам

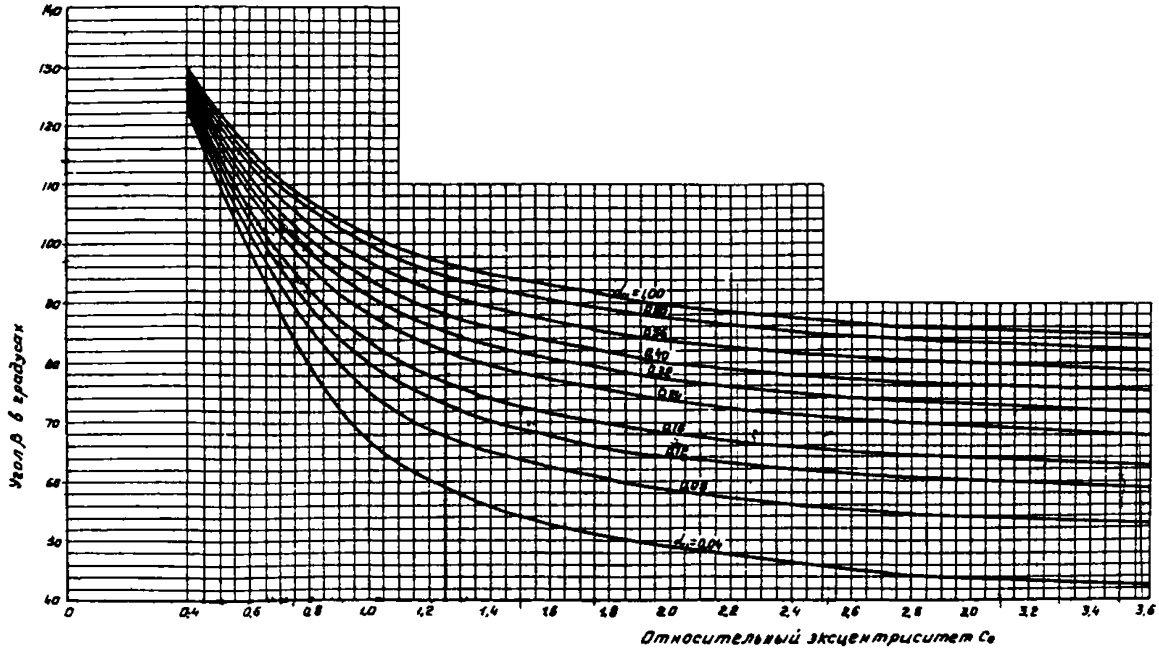
$$б_б = \frac{n_б \left(C_o \frac{\pi - \beta}{\sin \beta} + 1 \right)}{\pi \left(1 + \alpha_1 \right)} \qquad (15)$$

$$б_s = \frac{n_б \left(C_o \frac{\beta}{\sin \beta} - 1 \right)}{\mu_1 \cdot \pi} \,, \qquad (16)$$

где

$$n_б = \frac{N}{20 r h} \qquad (17)$$

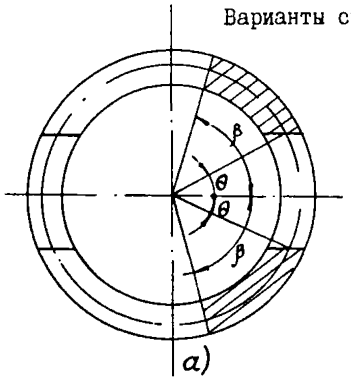
Значения угла β для кольцевых внецентренно сжатых сечений

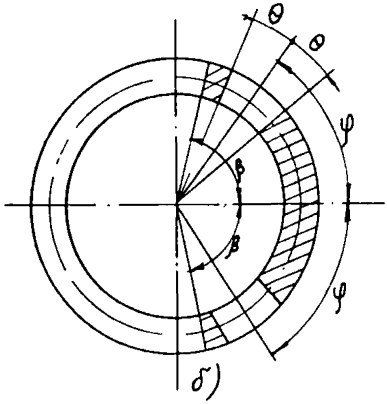


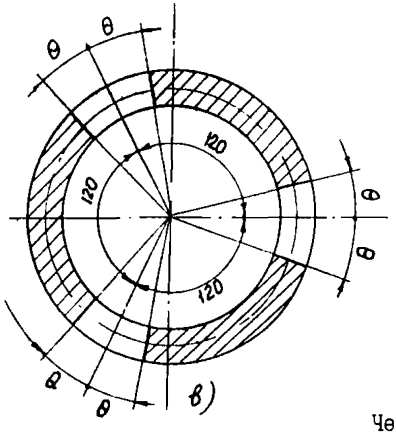
$$\frac{1+\alpha_1}{\alpha_1} = \frac{1+\cos\beta}{\beta(1-\cos\beta)}\left[\frac{\pi\cdot\sin\beta}{C_0\cdot\beta-\sin\beta}+(\pi-\beta)\right]$$

Черт.12

Варианты схем ослабленных сечений







а) сечение, ослабленное двумя проемами: один в сжатой, другой в растянутой зонах;

б) сечение, ослабленное двумя проемами, расположенными под углом 2φ;

в) сечение, ослабленное тремя проемами, расположенными под углом 120°

β - половина угла, ограничивающего сжатую зону

θ - половина угла, ограничивающего зону проема

2φ - угол между осями проемов

Черт.13

При наличии в сечении проемов (черт.13) напряжения в арматуре и бетоне от внешних нагрузок без учета температуры определяются по формулам

$$\sigma_b = \frac{n_6\left(C_0\frac{\pi-\beta-\theta}{\sin\beta-\sin\theta}+1\right)}{(1+\alpha_1)(\pi-2\theta)} \qquad (18)$$

$$\sigma_s = \frac{n_6\left(C_0\frac{\beta}{\sin\beta}-1\right)}{\mu_1(\pi-2\theta)} \qquad (19)$$

в) определяют кривизну оси ствола трубы в каждом сечении по формуле

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\sigma_s + \frac{\alpha_1}{\mu_1}\cdot\sigma_b}{0{,}6\cdot E_s\cdot z\cdot\left(1+\frac{\sin\beta}{\pi-\beta}\right)} \qquad (20)$$

и строят эпюру кривизны. Принимая площадь эпюры кривизны за фиктивну нагрузку, определяют прогиб трубы y_1 первого приближения, как изгибающий момент от фиктивной нагрузки в консоли, заделанной у верхнего конца трубы.

Прогибы ствола трубы от расчетного ветра суммируют с прогибами от крена фундамента. Для упругой линии прогибов трубы от крена фундамента принимается прямая линия

$$y_{kp} = z\cdot tg\,\varphi\,, \qquad (21)$$

где z – расстояние от основания ствола до расчетного сечения, м;
φ – угол поворота внецентренно нагруженного фундамента;

ж) вычисляют дополнительный момент Мдоп от эксцентричного приложения нормальных сил, вследствие прогиба трубы ;

з) находят изгибающий момент II-го приближения

$$M_2 = M_I + Мдоп_I \quad ; \qquad (22)$$

и) по изгибающему моменту II-го приближения определяют кривизну и прогибы, вычисляют новый дополнительный момент $Мдоп_2$, и, суммируя его с исходным моментом M_I, получают момент III-го приближения

$$M_3 = M_I + M_{доп2}\,, \qquad (23)$$

который, как правило, отличается от M_2 не более, чем на 5 % и является окончательным;

к) принимая окончательное значение изгибающего момента M_3, определяют новые окончательные значения C_0 и β и вычисляют окончательные значения σ_b и σ_s ;

л) определяют напряжения в бетоне сжатой зоны сечения от воздействия температуры по формуле

$$\sigma_{b,tem} = K \cdot \frac{1}{\rho_t} \cdot h \cdot \beta_b \cdot \bar{\nu} \cdot E_b \,, \qquad (24)$$

где $\beta_b, \bar{\nu}$ - принимаются по табл.10 и 12 СНиП 2.03.04-84 для кратковременного нагрева по температуре наиболее нагретой поверхности бетона;

$\frac{1}{\rho_t}$ - кривизна от воздействия температуры, определяемая по формуле

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{bt} \cdot t_b - \alpha_{bt_1} \cdot t_{b_1}}{h} \cdot n_t \,, \qquad (25)$$

где t_b и t_{b1} - температура бетона более и менее нагретой поверхности бетона, определяемая теплотехническим расчетом;

α_{bt} и α_{bt_1} - коэффициенты, принимаемые по табл.14 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от температуры бетона более и менее нагретой поверхности при кратковременном нагреве;

n_t - коэффициент перегрева, принимаемый при расчете по предельным состояниям :
первой группы - 1,1; второй группы - 1 ;

K - коэффициент в формуле (24) принимаемый при температуре наиболее нагретой поверхности до 200 °С равным 0,25 ; при температуре 200 °С и более - 0,17 ;

м) прочность сжатой зоны сечения обеспечивается при условии, если

$$\sigma_b + \sigma_{b,tem} \leq 0{,}85 \cdot \gamma_{bt} R_b \qquad (26)$$

γ_{bt} - принимается по табл.10 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от температуры наиболее нагретой поверхности стенки ствола трубы при длительном нагреве ;

н) прочность растянутой зоны сечения обеспечивается при

$$\sigma_s \leq 0{,}85 \cdot \gamma_{st} \cdot R_s \qquad (27)$$

γ_{st} - принимается по табл.20 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от температуры арматуры ;

о) при $C_o < \frac{r_я}{r}$ растягивающие напряжения в арматуре будут равны нулю. Сжимающие напряжения в бетоне при $0,4 < Co < \frac{r_я}{r}$ определяются по формуле (15) ;

при $Co < 0,4$ – по формуле $$\sigma_в = \frac{n_в(1+C_o)}{\pi(1+\alpha_1)} \qquad (28)$$

п) при $Co < \frac{r_я}{r}$ кривизну ствола трубы от внешних нагрузок следует определять по формуле

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{B} , \qquad (29)$$

как для консольной балки с переменной по высоте жесткостью B равной $$B = \beta_в \cdot \bar{\nu} \cdot E_в \cdot J , \qquad (30)$$

где $\beta_в$ и $\bar{\nu}$ – определяют по табл.10 и 12 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от средней температуры бетона в сечении при кратковременном нагреве ;

J – момент инерции сечения:

для сечения без проемов $$J = \frac{K_c \cdot \pi}{4}\left(r_{см}^4 - r_в^4\right) ; \qquad (31)$$

для сечения с проемами

$$J = \frac{K_c(\pi - K_\theta)}{4}\left(r_{см}^4 - r_в^4\right) - \frac{K_\theta}{2} \cdot r_{см} \cdot r_в \left(r_{см}^2 - r_в^2\right), \qquad (32)$$

где $K_\theta = \theta$ для сечения с одним проемом ;

$K_\theta = 2\theta$ для сечения с двумя проемами;

$K_\theta = 3\theta$ для сечения с тремя проемами ;

$$r_{сж} = r_в + \xi_c^o h_o ; \qquad \xi_c^o = -\frac{\alpha}{2} + \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 + \alpha} ;$$

$$\alpha = \frac{3\mu \cdot E_s \beta_s}{E_в \cdot \beta_в} ; \qquad \mu = \frac{A_s}{b \cdot h} .$$

K_c - коэффициент, принимаемый по табл.5 в зависимости от перепада температур Δt_ℓ по толщине стенки ствола трубы, где $\Delta t_\ell = t_\ell - t_{\ell_1}$

Таблица 5

Δt_ℓ, °С	20-100	150	200	250
K_c	1,00	0,95	0,90	0,85

3.26. При расчете ствола трубы по П-ой группе предельных состояний исходный изгибающий момент I-го приближения в расчетных сечениях от нормативной ветровой нагрузки определяют путем деления расчетного момента M_I на коэффициент надежности по нагрузке γ_f, принятый по п.3.2.

Дальнейший расчет сечений : определение напряжений в бетоне и арматуре, кривизны и отклонений, дополнительных моментов от прогиба трубы, выполняется в той же последовательности, что и для расчетных нагрузок, изложенной в п 3.25. При этом, к суммарной эпюре прогибов от нормативного ветра и крена фундамента добавляется эпюра прогибов от солнечной радиации.

3.27. Упругая линия прогибов от солнечной радиации описывается параболой вида

$$y = \frac{f}{H^2} \cdot z^2 , \qquad (33)$$

где f - отклонение верха трубы от воздействия солнечной радиации принимается равным 0,005 высоты трубы;

H - высота трубы, м;

z - расстояние от основания трубы до расчетного сечения, м.

3.28. Ширину раскрытия горизонтальных трещин вычисляют по формуле

$$a_{crc} = \delta \cdot \varphi_e \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot 20(3,5 - 100\mu)\sqrt[3]{d} , \qquad (34)$$

где δ - коэффициент, принимаемый равным :

при определении σ_s по формуле (36) I

при определении σ_s по формуле (35) I,5

φ_t - коэффициент, принимаемый при учете кратковременных нагрузок равным I,0

η - коэффициент, принимаемый равным :
при стержневой арматуре периодического профиля I,0
гладкой I,3
при проволочной арматуре периодического профиля и в канатах I,2
гладкой I,4

d - диаметр арматуры, мм ;

μ - коэффициент армирования сечения, равный отношению площади сечения растянутой арматуры к площади сечения бетона;

σ_s - напряжение в стержнях наружной вертикальной арматуры, принимаемое большим из двух значений:
вызываемое внешними нормативными нагрузками (ветер, крен, солнечная радиация)

$$\sigma_s = \sigma_s'' \qquad (35)$$

вызываемое температурным воздействием дымовых газов

$$\sigma_s = \sigma_{s,tem} \qquad (36)$$

3.29.Напряжение в растянутой арматуре от температурного воздействия определяют по формуле

$$\sigma_{s,tem} = \frac{M_t}{\mu b h_0 z_1}, \qquad (37)$$

где M_t и z_1 - окончательное значение температурного момента и плечо внутренней пары сил, определяемые методом последовательных приближений:

а) определяют предварительное значение относительной высоты сжатой зоны сечения по формуле

$$\xi = \frac{R_s \gamma_{st} \mu}{R_b \gamma_{bt}}; \qquad (38)$$

б) определяют изгибающий момент, который может воспринять сечение

$$M = 0{,}85 \cdot \mu \cdot B \cdot \gamma_{St} \cdot R_s \cdot h_o^2 \cdot \left(1 - 0{,}5\,\xi_c\right) ; \qquad (39)$$

в) вычисляют значение момента образования трещин Мт по формуле

$$M_T = \left(0{,}292 + 1{,}5\,\mu \cdot n\right) \cdot B \cdot h^2 \cdot R_{bt} \cdot \gamma_{tt} , \qquad (40)$$

где γ_{tt} – коэффициент условий работы при растяжении принимается по табл. 10 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от температуры бетона на уровне арматуры ;

$$\mu = \frac{A_s}{B \cdot h_o} , \qquad (41)$$

где A_s – площадь вертикальной арматуры, установленной у наружной грани ствола;

г) определяют значение коэффициента L по формуле

$$L = \frac{M}{B h_o^2 \cdot R_{bt} \cdot \gamma_{tt}} ; \qquad (42)$$

д) определяют относительную высоту сжатой зоны по формуле

$$\xi_c = \frac{1}{1{,}8 + \frac{1 + 5L}{10\,\mu n}} ; \qquad (43)$$

е) определяют значение коэффициента ψ_s по формуле

$$\psi_s = 1{,}25 - 1{,}1 \frac{M_T}{M} , \qquad (44)$$

где М и M_T вычисляют по формулам соответственно (39) и (40). Величина ψ_s принимается не больше I.

Если соотношение $\frac{M_T}{M} > 1$, то в формуле (44) следует принимать его равным единице, а $\psi_s = 0{,}15$;

ж) определяют плечо внутренней пары сил по формуле

$$Z_1 = h_o \cdot \left(1 - 0{,}5\,\xi_c\right) ; \qquad (45)$$

з) определяют жесткость сечения по формуле

$$B = \frac{h_0 \cdot z_1}{\frac{\psi_s}{E_s \cdot \mu \cdot b \cdot h_0} + \frac{0,9}{\xi_c \cdot b \cdot h_0 \cdot \beta_b \cdot \nu E_b}} , \qquad (46)$$

где ν - принимается в зависимости от средней температуры сжатой зоны бетона для расчета на кратковременный нагрев по табл. I3 СНиП 2.03.04-84;

и) определяют значение момента M_t от воздействия температуры по формуле

$$M_t = \frac{1}{\rho_t} \cdot B , \qquad (47)$$

где кривизна от воздействия температуры $\frac{1}{\rho_t}$ вычисляется по формуле (48) с коэффициентом перегрева n_t, равным I;

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{bt} \cdot t_b - \alpha_{stm} \cdot t_s}{h_0} \cdot n_t , \qquad (48)$$

где t_s - температура арматуры;

α_{stm} - коэффициент, определяемый по формуле (49) СНиП 2.03.04-84;

α_{bt} - коэффициент, принимаемый по табл. I4 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от температуры более нагретой поверхности бетона t_b при кратковременном нагреве;

к) если величина M_t более, чем на I0% отличается от M, следует повторно определять значения ζ, ξ_c и ψ_s (формулы (42 - 44), принимая значения M = 0,5 (M_t + M), где M_t - величина изгибающего момента, вычисленная в предыдущем приближении. Далее производится новое определение температурного момента.

Полученное значение M_t должно удовлетворять условию

$$M_t \le 0,292 \cdot \sigma_{b,tem} \cdot B \cdot h^2 , \qquad (49)$$

где $\sigma_{b,tem}$ - вычисленное по формуле (24).

3.30. При $C_0 < \frac{z_a}{\zeta}$ раскрытие горизонтальных трещин в стволе трубы определяют только от температурного воздействия.

Расчет вертикальных сечений

3.31. Расчет вертикальных сечений ствола выполняют по I и 2-ой группе предельных состояний на действие суммарного изгибающего кольцевого момента

$$M_к = M_t + M_{хк} , \qquad (50)$$

где M_t – кольцевой изгибающий момент от температурного воздействия;
$M_{хк}$ – кольцевой изгибающий момент, возникающий в результате работы ствола, как оболочки, при действии ветровой нагрузки, в сечениях, где имеет место соотношение $\frac{h}{r} \leq \frac{1}{20}$ (см.п.3.23).

3.32. При расчете вертикальных сечений по I-й группе предельных состояний температурный момент M_t определяется по формуле (47), $\frac{1}{\rho_t}$ по формуле (48) с коэффициентом $n_t = 1{,}1$, а оболочный момент $M_{хк}$ – по формулам (87) п.3.49 с коэффициентом надежности по нагрузке γ_f, принимаемым в соответствии с указаниями п.3.2.

Прочность вертикального сечения обеспечивается, если напряжения в кольцевой арматуре, установленной у наружной грани сечения

$$\sigma_s = \frac{M_к}{A_s \cdot z_1} \qquad (51)$$

удовлетворяют условию $\sigma_s \leq 0{,}85 \cdot \gamma_{st} \cdot R_s$

3.33. При расчете вертикальных сечений по 2-й группе предельных состояний определение ширины раскрытия вертикальных трещин производится по формуле (34), где σ_s – напряжение в наружной кольцевой арматуре от воздействия температурного момента, подсчитанного с коэффициентом $n_t = 1$ и оболочного момента $M_{хк}$, определяемого по формулам пункта 3.49 с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = 1$. Ширина раскрытия вертикальных трещин не должна превышать допустимых величин, указанных в п.1.12.

3.34. Расчет кольцевой арматуры, устанавливаемой у внутренней грани вертикального сечения ствола, выполняется на действие суммарного кольцевого изгибающего момента $M_к' = M_t' + M_{хк}$,
где M_t' – кольцевой изгибающий момент от воздействия обратного температурного перепада Δt_f, °С, возникающего при отсутствии технологической нагрузки на трубу (в период ее строительства до пуска в эксплуатацию, при остановке оборудования, подключенного к трубе и т.п.);

$M'_{кк}$ – кольцевой изгибающий момент, возникающий в результате работы трубы, как оболочки (см.п.3.3I); $M'_{кк}$ определяется по формулам (87) п.3.49 с коэффициентом надежности по нагрузке $\gamma_f = I$.

Особенности расчета сборных дымовых труб

3.35. Прочность сжатой и растянутой зон определяется в соответствии с п.3.25 "Указаний" с учетом особенностей работы сборных железобетонных дымовых труб умножением допускаемых значений $R_б$ и R_s на коэффициент условий работы $\gamma_{сб} = 0,85$.

3.36. Дополнительный изгибающий момент в цилиндрических сборных трубах $M_{доп}$, вызванный собственным весом трубы вследствие ее прогиба и крена фундамента, следует определять по формуле

$$M_{доп} = \frac{N \cdot z_0 \cdot H}{6,5 \cdot \rho_{сб}} \left(2 - \frac{z_0^2}{H^2} + \frac{3,2\,\rho_{сб} tg\theta}{H}\right), \qquad (52)$$

где z_0 – расстояние от верха трубы до расчетного сечения;

$tg\theta$ – крен фундамента трубы, определяемый согласно п.3.25е;

$\frac{1}{\rho_{сб}}$ – кривизна каждого расчетного сечения сборной трубы, определяемая с учетом податливости стыков растянутой и сжатой зон.

3.37. Кривизну в каждом расчетном сечении сборной трубы следует определять по формуле

$$\frac{1}{\rho_{сб}} = \frac{б_в + \frac{\alpha_1}{\mu_1} \cdot б_в}{0,5 \cdot E_s \cdot z \cdot \left(1 + \frac{\sin\beta}{\pi - \beta}\right)} \cdot K_{сб}, \qquad (53)$$

где

$$K_{сб} = \frac{2}{K_1 + K_2}$$

K_I и K_2 – коэффициенты, учитывающие податливость стыков соответственно в растянутой и сжатой зонах.

Значения коэффициентов K_I и K_2 при стыках на высокопрочных шпильках следует определять по формулам

$$K_1 = \frac{1 + \frac{l_{cm}}{l_s}}{1 + \frac{l_{cm}}{l_s} \cdot \frac{A_s}{A_{шт}} \cdot \frac{E'_s}{E'_{cm}}}, \qquad (54)$$

$$K_2 = \frac{1 + \frac{h_{шв}}{h_б}}{1 + \frac{h_{шв}}{h_б} \cdot \frac{E'_б}{E'_{шв}}}, \qquad (55)$$

где $\ell_{ст}=\ell_{шп}$; $A_{ст}=A_{шп}$ – длина и площадь растягиваемой части шпильки;

ℓ_s, A_s – длина и площадь рабочей арматуры царги;

$h_{шв}$ – толщина шва между блоками;

$h_{бл}$ – высота блока-царги;

E'_s, $E'_{ст}$ – модули деформации рабочей арматуры царги и стыка растянутой зоны;

$E'_б=\beta_б \cdot E_б$ – модуль деформации бетона царги;

$E_{шв}$ – модуль деформации материала шва, принимаемый равным $0,5 \cdot 10^5$ кгс/см2

$$\frac{E'_s}{E'_{ст}} = \frac{A_{шп}}{\ell_{шп}} \left(U + \frac{\delta_н \cdot E_s}{R_s \cdot A_s} \right), \qquad (56)$$

$$U = \frac{0,24 \ell^3 E_s}{b_н h_н^3 E_н} + \frac{\ell_{шп} \cdot E_s}{A_{шп} E_{шп}}, \qquad (57)$$

где $E_s, E_н, E_{шп}$ – модули упругости материала рабочей арматуры, накладок и шпилек соответственно;

$\delta_н$ – абсолютное значение неупругой деформации в пределах стыка, определяемое по формуле (67);

ℓ – расстояние между стержнями рабочей арматуры каркаса, принимаемое по проекту;

$b_н$ – толщина листа накладки;

$h_н$ – высота накладки, определяемая по формуле

$$h_н = \sqrt{\frac{A_s R_{st} \ell_н}{2 b_н R_н}}, \qquad (58)$$

где A_s – суммарная площадь стержней каркаса;

R_{st} – расчетное сопротивление арматуры каркаса;

$\ell_н$ – расчетная длина упорных накладок, принимаемая равной расстоянию "ℓ" между осями стержней каркаса;

$R_н$ – расчетное сопротивление материала накладок;

$A^{нт}_{шп}$ – площадь шпильки (нетто) следует определять из условия равнопрочности рабочей арматуры каркаса и шпильки по формуле

$$A^{нт}_{шп} = \frac{A_s \cdot R_s \cdot \gamma_{st}}{R_{шп} \cdot \beta_s}, \qquad (59)$$

где A_S – суммарная площадь стержней арматуры одного каркаса;
$R_{шп} = K_S \cdot m_S \cdot R^{н}_{шп}$ – расчетное сопротивление шпильки K_S=0,9;

$$m_S = 0{,}85$$

$R^{н}_{шп}$ – нормативное сопротивление шпильки (для стали 40Х – 10000 кго/см2);

β_S – коэффициент, учитывающий изменение сопротивления шпильки в зависимости от температуры шпильки, определяется по табл.20 СНиП 2.03.04-84.

3.38. Ширину раскрытия горизонтальных и вертикальных трещин в царгах следует определять в соответствии с п.3.28 по формуле (34).

3.39. Ширина раскрытия швов между царгами определяется по формуле

$$a_{шв} = \left[N_p - 1{,}7(N_0 - N_п)\right] \cdot \lambda_{шп} , \qquad (60)$$

где N_p – внешняя нагрузка, действующая на стык, определяемая по формуле

$$N_p = \sigma_S \cdot A_S , \qquad (61)$$

где σ_S – напряжение в растянутой арматуре;

A_S – площадь сечения арматуры одного каркаса;

N_0 – усилие предварительного напряжения шпильки, определяемое из условия

$$0{,}7 N_0^{max} \leqslant N_0 \leqslant N_0^{max} \qquad (62)$$

$$N_0^{max} = m_t \cdot R_{шп} \cdot A^{нт}_{шп} , \qquad (63)$$

где m_t – коэффициент точности натяжения шпильки, принимаемый равным 0,75;

$R_{шп}$ – расчетное сопротивление шпильки, определяемое согласно п.3.37;

$N_п$ – потери усилия предварительного напряжения шпильки, определяемые по формуле

$$N_п = \frac{\delta_н}{\lambda_{шп} + \lambda_{пэ}} \qquad (64)$$

Значения коэффициентов податливости элементов системы шпильки $\lambda_{шп}$ и промежуточных элементов стыка $\lambda_{пэ}$ следует определять по формулам

$$\lambda_{шп} = \frac{U}{E_s} + \lambda_{пр} , \qquad (65)$$

$$\lambda_{пэ} = \frac{2h_{шв}}{\ell_{шп} h E'_{швt}} , \qquad (66)$$

где $\lambda_{пр}$ – коэффициент податливости тарельчатых пружин, определяемый по п.3.42; при отсутствии пружин $\lambda_{пр} = 0$;

h – толщина стенки царги;

U – определяется по формуле (57).

Значения неупругой деформации $\delta_н$ в пределах стыка следует определять по формуле

$$\delta_н = 5 \cdot 10^{-4} \cdot h_{шв} (1 + 0{,}7\sigma_{об}) + \delta_t , \qquad (67)$$

где $\sigma_{об}$ – напряжение обжатия шва от усилия натяжения шпильки;

δ_t – остаточная деформация в элементах стыка из-за разности коэффициентов температурного расширения элементов системы шпильки и промежуточных элементов стыка

$$\sigma_{об} = \frac{2N_0}{\ell_{шп} h} , \qquad (68)$$

$$\delta_t = h_{шв} (\alpha_{St\,шп} - \alpha_{Bt}) \cdot t_{S\,шп} . \qquad (69)$$

3.40. Ширину раскрытия швов определять не требуется, если выполняется условие

$$N_0 \geqslant 0{,}6 N_р + N_п . \qquad (70)$$

3.41. При применении для швов между блоками материалов, обладающих значительными неупругими деформациями, а также при невозможности осуществления требуемого обжатия швов целесообразно использовать тарельчатые пружины по ГОСТ 3057-79 в виде секций или пакетов.

3.42. Подбор тарельчатых пружин производится в следующей последовательности:

а) из условий размещения пружины в пределах ниши и в зависимости от диаметра шпильки выбирают пружину с параметрами Δ, α, P_m и f_m по табл.I ГОСТ 3057-79 (P_m – усилие при наибольшем прогибе, равном высоте внутреннего конуса f_m);

б) количество секций i и пружин n_n в пакете на комплект для одной шпильки определяют последовательными приближениями, используя в качестве первого приближения формулы

$$\frac{N_p}{N_o} = \frac{f_p}{f_o} \qquad (71)$$

$$i = \frac{5 p_н}{f_m} \qquad (72)$$

$$n_n' = \frac{1{,}25 N_p}{P_m} \quad , \qquad (73)$$

где $N_p = N_{oc} = N_o - N_n = n_n \cdot P_2$

$f_o = i \cdot f_m$

$N_o = n_n \cdot P_m$

$f_p = f_o - \delta_н = i f_2$,

где P_2 – наибольшее рабочее усилие Н;

f_2 – прогиб при усилии, мм;

f_o – прогиб комплекта пружин из i секций при усилии предварительного напряжения шпильки N_o ;

f_p – прогиб комплекта пружин из i секций при остаточном усилии предварительного напряжения шпильки N_{oc} после проявления потерь N_n, мм.

Значение неупругой деформации $\delta_н$ определяют по формуле (67) принимая N_o = I,25 N_p.

Определенные значения i' и n_n' , округляют до целых значений i , n_n ;

в) по формуле (70) вычисляют усилие предварительного напряжения шпилек N_0 и определяют новое значение неупругой деформации $\delta_н$.

Принятый комплект пружин должен удовлетворять условию

$$1 - \frac{\delta_н}{i \cdot f_m} \leq 0{,}8 ; \qquad (74)$$

г) вычисляют коэффициент податливости принятого комплекта пружин по формуле

$$\lambda_{пр} = \frac{i \cdot f_m}{n_п \cdot P_m} \qquad (75)$$

и по формуле (65) определяют $\lambda_{шп}$;

д) определяют потери усилия затяжки шпильки по формуле (64), проверяют условие (70) и по формуле (66) определяют ширину раскрытия шва.

Расчет краевых зон ствола трубы при температурном воздействии

3.43. При расчете ствола трубы на температурное воздействие дополнительно к напряжениям, полученным по формулам (24) и (51) определяют напряжения в бетоне σ_{bt} и в арматуре σ_{st} в зоне сопряжения ствола трубы со сплошной фундаментной плитой от действия температурного перепада при положительных и отрицательных изменениях средней температуры стенки ствола трубы и фундамента. При этом принимаются следующие допущения:

1) стакан фундамента считается продолжением ствола трубы;

2) ствол трубы в зоне сопряжения с фундаментом считается цилиндрическим с высотой сечения равной толщине стенки ствола на отм.0,000;

3) выступы фундаментной плиты за пределы стакана фундамента не учитываются; средний радиус фундаментной плиты принимается равным среднему радиусу ствола трубы на отм.0,000.

При положительных значениях изменения средней температуры, напряжения σ_{bt} и σ_{st} определяют для двух сечений:

а) в зоне наибольшего увеличения температурного момента, примерно на расстоянии $(2\text{-}2{,}5)\,S$ от уровня сопряжения ствола с фундаментом;

б) в уровне сопряжения ствола с фундаментом, где температурный момент имеет наибольшее значение другого знака, чем M_t – температурный момент, определенный без учета краевого эффекта.

При отрицательных значениях изменения средней температуры стенки[x], напряжения σ_{bt} и σ_{st} определяют только в уровне сопряжения ствола с фундаментом, где температурный момент имеет наибольшее значение того же знака, что M_t.

Дальнейший расчет производят следующим образом:

а) определяют параметр S, характеризующий жесткость сечения нагретой цилиндрической оболочки ствола, по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{4Br^2}{\beta_b \cdot \bar{\nu} E_b b h}}, \qquad (76)$$

где B – жесткость сечения, принятая в результате расчетов по формуле (46) или (30);

β_b, $\bar{\nu}$ – принимают по таб.10 и 12 СНиП 2.03.04-84 в зависимости от средней температуры стенки ствола при кратковременном нагреве;

---

x) За ноль принимается температура замоноличивания ствола с фундаментом.

б) определяют жесткость сечения плиты фундамента "В" по формуле (30), в которой значения $\beta_в$ и $\bar{\nu}$ при длительном действии нагрузки определяют в зависимости от средней температуры сечения фундамента, J - момент инерции сечения фундамента;

в) определяют краевые температурные усилия M_I и θ_I; действующие в плоскости сопряжения цилиндрической оболочки ствола с круглой плитой фундамента, из совместного решения двух уравнений

$$M_1\left(\frac{S}{B}+\frac{2}{B_\varphi}\right)+Q_1\left(\frac{S^2}{2B}-\frac{2h_\varphi}{2B_\varphi}\right)-\frac{\alpha_{бt}\cdot\Delta t_б\cdot S}{h}-\frac{\alpha_{бt}\cdot\Delta t_\varphi\cdot 2}{h_\varphi}=0 \qquad (77)$$

$$M_1\left(\frac{S^2}{2B}+\frac{2_\varphi}{2B_\varphi}\right)+Q_1\left(\frac{S^3}{2B}+\frac{2}{\beta_в\bar{\nu}E_в h_\varphi}+\frac{2h_\varphi^2}{4B_\varphi}\right)-\left(\frac{\alpha_{бt}\Delta t_б\cdot S^2}{2h}+\alpha_{бt}\cdot t_o\cdot 2\right)+$$

$$+\alpha_{бt}\cdot t_{o\varphi}\cdot 2=0,$$

где h_φ - высота фундаментной плиты;

$\Delta t_б, t_o$ - соответственно температурный перепад ($\Delta t_б = t_{в2}-t_{в1}$) или ($\Delta t = t_в - t_s$) и изменение средней температуры бетона в рассматриваемом сечении стенки ствола трубы;

$\Delta t_\varphi, t_{o\varphi}$ - соответственно температурный перепад и изменение средней температуры бетона в рассматриваемом сечении плиты фундамента.

г) определяют значения изгибающего момента M_ξ, в краевой зоне, начиная от плоскости сопряжения стенки цилиндрической оболочки ствола с фундаментной плитой и далее вверх по образующей оболочке, по формуле

$$M_{\xi_1} = M_1\cdot\eta_3 + S Q_1\cdot\eta_2, \qquad (78)$$

где значения коэффициентов η_3 и η_2 приведены в табл.6 в зависимости от $\xi = \frac{x}{S}$, где x - расстояние от плоскости сопряжения до рассматриваемого сечения вдоль образующей оболочки ствола

Таблица 6

$\xi = \frac{x}{S}$	η_3	η_2
0	I	0
0,5	0,823I	0,2908
I	0,5083	0,3096
I,5	0,2384	0,2226
2	0,0667	0,I23I
2,5	-0,0I66	0,049I
3	-0,04236	0,00703
3,5	-0,03887	-0,0I059
4	-0,02583	-0,0I356
4,5	-0,0I32	-0,0I086
5	-0,00455	-0,00646

д) определяют значение суммарного температурного момента M_{tc} по формуле

$$M_{tc} = M_t + M_{\xi t} + M_{\xi_1} \quad , \tag{79}$$

где M_t – температурный изгибающий момент в стволе трубы вдали от зоны сопряжения с фундаментом, принятый в результате расчетов по п.3.28

$$M_{\xi t} = -M_t \cdot \eta_3 \tag{80}$$

е) при расчете горизонтальных сечений ствола трубы по первой группе предельных состояний определяют напряжение в бетоне по формуле

$$\sigma_{bt_1} = \frac{M_{tc}}{0{,}292BH^2} \tag{8I}$$

ж) при расчете горизонтальных сечений ствола трубы по второй группе предельных состояний определяют напряжение в растянутой арматуре σ_{st_1} по формуле

$$\sigma_{st_1} = \frac{M_{tc}}{A_s \cdot z_1} \quad . \tag{82}$$

где z_1 ранее вычислено по формуле (45).

По напряжению σ_{st} определяют ширину раскрытия трещин:

M_{tc} – наибольшее из значений при ξ = 0 (табл.6) и при одном из значений $0 < \xi < 5$;

з) если в результате расчета по перечислениям е) и ж)данного пункта "Указаний" требуется установка дополнительной вертикальной арматуры, то она устанавливается в зависимости от места расположения наибольшего температурного момента, на высоту (от фундамента), равную:

S – при расположении наибольшего момента в уровне непосредственного сопряжения ствола с фундаментом;

$4S$ – при расположении наибольшего момента на расстоянии (2-2,5) S от уровня сопряжения отвода с фундаментом.

3.44. При расчете вертикальных сечений определяют температурный изгибающий момент M_{tz} в зоне сопряжения ствола трубы с фундаментом при положительных и отрицательных значениях изменения средней температуры стенки ствола трубы и фундамента в сечениях, указанных в п.3.43 по формуле

$$M_{tz} = M_t + \mu\left(M_{\xi t} + M_{\xi 1}\right) \quad , \tag{83}$$

где M_t – температурный изгибающий момент, определяемый по формуле (47) п.3.28;

$M_{\xi t}$ и $M_{\xi 1}$ – изгибающие моменты, определяемые соответственно по формулам (80) и (78);

μ – коэффициент Пуассона, принимаемый равным 0,2.

Если в результате расчета раскрытия трещин по формуле (34), в которой $\sigma_s = \frac{M_{tz}}{A_s \cdot z_1}$, требуется установка дополнительной кольцевой арматуры, она устанавливается в пределах зон, указанных в п.3.43.

Расчет верхней краевой зоны трубы

3.45. При расчете прочности и ширины раскрытия трещин в верхней краевой зоне ствола трубы температурные напряжения, полученные при расчете срединной зоны верхнего звена, следует увеличивать на 25% (учет влияния краевого эффекта).

Влияние краевого эффекта распространяется на зону величиной "S" от верха трубы, определяемую по формуле (76) для верхней зоны.

Если по расчету требуется дополнительная арматура, то она устанавливается в пределах этой зоны.

Учет пространственной работы железобетонного ствола трубы на ветровую нагрузку

3.46. Результирующие усилия в сечениях ствола трубы-оболочки от собственного веса и ветра находятся как сумма усилий, определенных в соответствии с разделом 3 настоящих "Указаний", усилий, учитывающих влияние пространственной работы гладких труб при действии ветра, а также усилий, возникающих в местах сопряжения различных элементов трубы (места углов перелома поверхности трубы, перепадов по толщине ее стенки, кольцевых ребер, зоны сопряжения трубы с фундаментом. Формулы для определения усилий даны для труб с $H/Д_н = 7$ и $H/Д_н \geqslant 25$; для труб с $7 < H/Д_н < 25$ численные коэффициенты в формулах получаются линейной интерполяцией; ($Д_н$ - наружный диаметр ствола).

Определение дополнительных усилий за счет пространственной работы в гладком железобетонном стволе дымовой трубы

3.47. Продольные (меридиональные) нормальные силы определяются суммированием усилий от собственного веса конструкции и ветра, полученных из расчета трубы как консоли, и усилий, учитывающих пространственную работу сооружения ($N_{xм}$). Силы $N_{xм}$ определяются по формулам

для $H/Д_н = 7$, при $\varphi = 0°$ $N_{xм}=2{,}87 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_0 \cdot r_н^2 h^{-1} \cdot K_I$

при $\varphi = 180°$ $N_{xм}=2{,}38 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_0 \cdot r_н^2 h^{-1} \cdot K_I$ (84)

для $H/Д_н \geqslant 25$, при $\varphi = 0°$ $N_{xm}= 3{,}27 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_0 \cdot r_н^2 h^{-1} \cdot K_I$

при $\varphi = 180°$ $N_{xm}= 2{,}66 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_0 \cdot r_н^2 h^{-1} \cdot K_I$

где K - коэффициент, учитывающий изменение скоростного напора по высоте трубы;

$h, r_н$ - толщина стенки и радиус наружной поверхности трубы в расчетном сечении;

φ - угол, определяющий положение точки кольцевого сечения; при этом, $\varphi = 0$ соответствует месту максимального ветрового напора с наветренной стороны трубы;

K_I - коэффициент, определяемый по формуле

$$K_I = \frac{Ae C_x + 4 De D_x}{Ae^2 + 4 Be De};$$

$$A_x = ch(\psi_n \bar{x}) \cos(\psi_n \bar{x})$$

$$B_x = \frac{1}{2}\left[ch(\psi_n \bar{x}) \sin(\psi_n \bar{x}) + sh(\psi_n \bar{x}) \cdot \cos(\psi_n \cdot \bar{x})\right] \qquad (85)$$

$$C_x = \frac{1}{2} sh(\psi_n \bar{x}) \sin(\psi_n \bar{x}) \qquad \psi_n = \frac{1{,}316}{r_H}\sqrt{\frac{h}{r_H}}$$

$$D_x = \frac{1}{4}\left[ch(\psi_n \bar{x}) \cdot \sin(\psi_n \bar{x}) - sh(\psi_n \bar{x}) \cos(\psi_n \bar{x})\right]$$

В формулах (85) $\bar{x}$ – расстояние от верха трубы до расчетного горизонтального сечения; A_e, B_e, D_e – значения A_x, B_x, D_x при X=H (высота трубы).

При определении N_{xm}, принято, что соотношение $\kappa^* r_H^* / \kappa r_H < 1$, где r_H^* – радиус трубы на отметке выше расчетного сечения на 2 r_H, а K^* – коэффициент, учитывающий изменение ветрового напора по высоте, соответствующий этой отметке. Если $K^* r_H^* / K r_H > 1$, то усилия, определенные по формулам (84), умножаются на коэффициент $\bar{n} = K^* r_H^* / K r_H$.

3.48. Кольцевые нормальные силы (N_{xk}) слагаются из усилий, возникающих в гладком железобетонном стволе за счет его пространственной работы (N_{xk}^*) и из дополнительных усилий, возникающих в местах сопряжения различных элементов трубы ($N_{xk}^{''}$, N_{xk}^{θ}). Усилия N_{xk}^* определяются по формулам

для $H/D_H = 7$

при $\varphi = 90^0$, $N_{xk}^* = r_H K \gamma_f w_0 (0{,}592 + 1{,}633\ K_2)(1 - n_2)$

при $\varphi = 180^0$, $N_{xk}^* = r_H K \gamma_f w_0 (1{,}852 - 1{,}633\ K_2)(1 - n_2)$

для $H/D_H \geqslant 25$ (86)

при $\varphi = 90^0$, $N_{xk}^* = r_H K \gamma_f w_0 (0{,}533 + 2{,}343\ K_2)(1 - n_2)$

при $\varphi = 180^0$, $N_{xk}^* = r_H K \gamma_f w_0 (1{,}893 - 2{,}343\ K_2)(1 - n_2)$

$$K_2 = \frac{A_e A_x + 4 D_e B_x}{A_e^2 + 4 B_e D_e}; \qquad n_2 = \ell^{-\xi}\left(\cos\xi + \sin\xi\right) = \eta_1 + \eta_2;$$

$$\xi = \frac{H - x}{\sqrt[4]{\frac{4B r^2}{\beta_6 E_6 \cdot \nu \cdot h}}};$$

η_1 и η_2 – гиперболотригонометрические функции. В формулах (86) для сечений, расположенных выше полутора радиусов наружной поверхности трубы в основании, n_2 принимается равным нулю.

3.49. Максимальные значения кольцевых моментов от действия ветра определяются по формулам

для $H/Д_н = 7$, $M_{xк} = \pm 0{,}408 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_o \cdot r_н^2 \ (1 - K_2)$; (87)

для $H/Д_н \geq 25$ $M_{xк} = \pm 0{,}466 \cdot K \cdot \gamma_f \cdot w_o \cdot r_н^2 \ (1 - K_2)$;

где знак (+) соответствует $\varphi = 180^0$, а знак (-) $\varphi = 90^0$

Определение дополнительных усилий в местах сопряжения различных элементов трубы при действии собственного веса и ветровой нагрузки

3.50. Для определения усилий в местах сопряжения двух участков ствола трубы с кольцевым ребром основная система принимается в соответствии с черт.14а. Для выбранной расчетной схемы составляются четыре уравнения совместности перемещений и углов поворота, сопрягаемых элементов трубы.

$$
\begin{aligned}
&x_1\delta_{11} + x_2\delta_{12} + x_3\delta_{13} + x_4\delta_{14} + \Delta_{i1} = 0,\\
&x_1\delta_{21} + x_2\delta_{22} + x_3\delta_{23} + x_4\delta_{24} + \Delta_{i2} = 0,\\
&x_1\delta_{31} + x_2\delta_{32} + x_3\delta_{33} + x_4\delta_{34} + \Delta_{i3} = 0,\\
&x_1\delta_{41} + x_2\delta_{42} + x_3\delta_{43} + x_4\delta_{44} + \Delta_{i4} = 0,
\end{aligned}
\qquad (88)
$$

где $X_1 = M_{10}$, $X_2 = H_{10}$, $X_3 = M_{20}$, $X_4 = H_{20}$ – неизвестные моменты и распоры, определяемые из решения системы уравнений. Коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений записываются следующими формулами

$$\delta_{11}=\delta_{11}^{в}+\delta_{11}^{р};\quad \delta_{11}^{в}=S_в=\sqrt{\frac{4B_в r_в^2}{\beta_в \bar{\nu} E_в h_в}};\quad \delta_{11}^{р}=r_0^2 n_1;\quad n_1=\frac{B_в}{0{,}7\beta_в \bar{\nu} E_в J_р};$$

$$\delta_{12}=\delta_{12}^{в}+\delta_{12}^{р};\quad \delta_{12}^{в}=0{,}5 S_в^2 \cos\varphi_в;\quad \delta_{12}^{р}=-r_р^2 e_1 n_1;$$

$$\delta_{13}=\delta_{13}^{р}=-r_р^2 n_1;\quad \delta_{14}=\delta_{14}^{р}=-r_р^2 e_2 n_1;$$

$$\delta_{22}=\delta_{22}^{в}+\delta_{22}^{р};\quad \delta_{22}^{в}=0{,}5 S_в^3 \cos\varphi_в;\quad \delta_{22}^{р}=r_р^2(e_1^2+\rho^2)n_1; \qquad (89)$$

$$\rho^2=J_р/F_р;\quad \delta_{23}=\delta_{23}^{р}=r_р^2 e_1 n_1;\quad \delta_{24}=\delta_{24}^{р}=-r_р^2(\rho^2-e_1 e_2)n_1$$

$$\delta_{33}=\delta_{33}^{н}+\delta_{33}^{р};\quad \delta_{33}^{н}=S_н n_2=\sqrt{\frac{4B_н r_н^2}{\beta_в \bar{\nu} E_в h_н}}\cdot n_2;\quad n_2=\frac{B_в}{B_н};$$

$$\delta_{33}^{р}=r_р^2 n_1;\quad \delta_{34}=\delta_{34}^{н}+\delta_{34}^{р};\quad \delta_{34}^{н}=-0{,}5(S_н^2\cos\varphi_н)n_1;$$

$$\delta_{34}^{р}=r_р^2 e_2 n_1;\quad \delta_{44}=\delta_{44}^{н}+\delta_{44}^{р};\quad \delta_{44}^{н}=0{,}5(S_н^3\cos^2\varphi_н)n_2;$$

$$\delta_{44}^{р}=r_р^2(e_р^2+\rho^2)n_1;$$

$$\delta_{21}=\delta_{12};\quad \delta_{31}=\delta_{13};\quad \delta_{32}=\delta_{23};\quad \delta_{41}=\delta_{14};\quad \delta_{42}=\delta_{24};\quad \delta_{43}=\delta_{44};$$

$$\Delta_1=\Delta_1^{в}+\Delta_1^{р};\quad \Delta_1^{в}=\delta_{12}^{в} N_{p1} tg\gamma_в;$$

$$\Delta_1^{р}=-\delta_{11}^{р}\left[N_{p2}(e_2+e_4)r_н/r_в-N_{p1}e_4\right];$$

$$\Delta_2=\Delta_2^{в}+\Delta_2^{р};\quad \Delta_2^{в}=\delta_{22}^{в} N_{p1} tg\varphi_в;\quad \Delta_2^{р}=\Delta_1^{р} e_1;$$

$$\Delta_3=\Delta_3^{н}+\Delta_3^{р};\quad \Delta_3^{н}=\delta_{34}^{н} N_{p2} tg\varphi_н;\quad \Delta_3^{р}=-\Delta_1^{р}; \qquad (90)$$

$$\Delta_4=\Delta_4^{н}+\Delta_4^{р};\quad \Delta_4^{н}=\delta_{44}^{н} N_{p2} tg\varphi_н;$$

$$\Delta_4^{р}=\delta_{34}^{р}\left[N_{p2}(e_3-e_4)r_н/r_в-N_{p1}e_4\right]$$

где $h_в$, $h_н$ – толщины стенки трубы выше и ниже ребра;

$r_в$, $r_н$ – радиусы срединных поверхностей трубы в горизонтальных сечениях;

$B_в$, $B_н$ – соответственно жесткости стенки трубы выше и ниже ребра, определяемые по формуле (46) для полоски единичной ширины $S = 1$;

$r_р$ – радиус окружности, проходящей через центры тяжести вертикальных сечений ребра;

$J_р$ – момент инерции сечения ребра относительно горизонтальной оси, проходящей через его центр тяжести;

$F_р$ – площадь сечения ребра;

$e_1 \div e_5$ – эксцентриситеты приложения сил в местах сопряжения элементов;

$\gamma^в$, $\gamma^н$ – углы наклона линейных образующих верхнего и нижнего конусов трубы относительно вертикали;

$N_{р1}$, $N_{р2}$ – погонные реакции от нагрузок в вертикальных связях основной системы.

Индексы "в", "р", "н" обозначают, что выражения относятся соответственно к верхнему участку трубы, ребру и нижнему участку трубы. Положительные направления сил и обозначения размеров узла трубы даны на черт.14.

Для определения усилий в местах сопряжения двух участков трубы без ребра основная сиотема принимается в соответствии с черт.14б.

Для выбранной расчетной схемы составляется два уравнения совместности углов поворота и перемещений сопрягаемых элементов

$$\begin{aligned} x_1\delta_{11} + x_2\delta_{12} + \Delta_1 &= 0 \\ x_1\delta_{21} + x_2\delta_{22} + \Delta_2 &= 0, \end{aligned} \qquad (91)$$

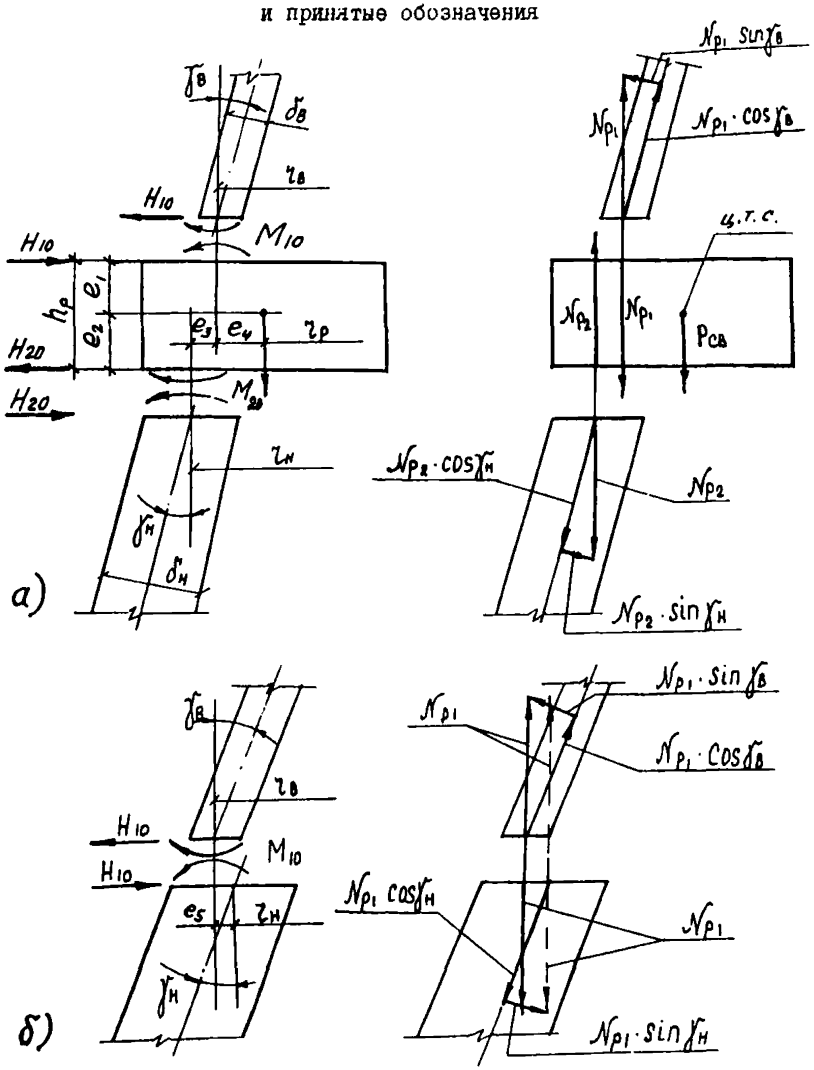
где $X_1 = M_{10}$, $X_2 = H_{10}$ – неизвестные момент и распор;

$$\delta_{11} = \delta_{11}^в + \delta_{11}^н; \quad \delta_{12} = \delta_{12}^в - \delta_{12}^н; \quad \delta_{21} = \delta_{12}; \quad \delta_{22} = \delta_{22}^в$$

Коэффициенты при неизвестных в уравнениях определяются формулами (89), то есть принимается, что

$$\delta_{11}^н = \delta_{33}^н; \quad \delta_{12}^н = \delta_{21}^н = \delta_{34}^н; \quad \delta_{22}^н = \delta_{44}^н.$$

Расчетные схемы, усилия в основной системе
и принятые обозначения



а) в узле сопряжения двух участков трубы с кольцевым ребром;

б) в узле сопряжения двух участков трубы без кольцевого ребра

Черт. I4

Свободные члены определяются по формулам

$$\Delta_1 = N_{P1}\left(\delta_{12}^{в} tg\gamma_в - \delta_{12} tg\gamma_н + \delta_{11}^{н} e_5\right),$$
$$\Delta_2 = N_{P1}\left(\delta_{22}^{в} tg\gamma_в + \delta_{22}^{н} tg\gamma_н - \delta_{12}^{н} e_5\right). \qquad (92)$$

3.5I. Определение усилий в зоне сопряжения ствола с фундаментом следует проводить для двух случаев его работы: I) когда принимается, что силы трения между подошвой фундамента и основанием отсутствуют; 2) когда отсутствуют радиальные перемещения подошвы фундамента (расчетные схемы черт.I5б,в). Неизвестные момент и распор ($X_I = M_{30}$, $X_2 = H_{30}$) в обоих случаях определяются из решения системы уравнений совместности углов поворота и перемещения сопрягаемых элементов.

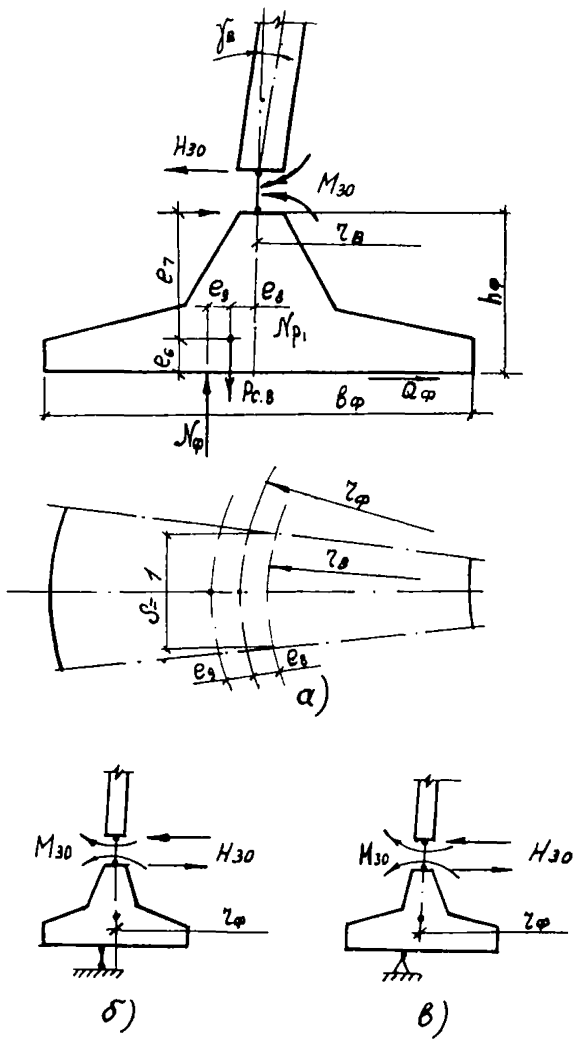
$$x_1 \delta_{11} + x_2 \delta_{12} + \Delta_1 = 0,$$
$$x_1 \delta_{21} + x_2 \delta_{22} + \Delta_2 = 0, \qquad (93)$$

где $\delta_{11} = \delta_{11}^{в} + \delta_{11}^{ф}$; $\delta_{12} = \delta_{12}^{в} - \delta_{12}^{ф}$; $\delta_{21} = \delta_{12}$; $\delta_{22} = \delta_{22}^{в} + \delta_{22}^{ф}$.

При свободном радиальном перемещении фундамента по основанию, коэффициенты при неизвестных и свободные члены уравнений, характеризующие работу фундаментного кольца (с индексом "ф"), определяются выражениями

$$\delta_{11}^{ф} = \frac{r_ф^2 n_3}{\left(c_1 r_ф^2 + 1\right)}; \quad c_1 = J_0 K_ф / E_ф J_ф; \quad n_3 = B_0 / E_ф J_ф; \qquad (94)$$
$$\delta_{12}^{ф} = -\delta_{11}^{ф} e_1; \quad \delta_{22}^{ф} = r_ф^2 \rho_ф^2 n_3 + \delta_{11}^{ф} e_7^2 \quad \rho_ф^2 = J_ф / F_ф$$
$$\Delta_1 = \Delta_1^{в} + \Delta_1^{ф}; \quad \Delta_1^{в} = \delta_{11}^{в} N_{P1} tg\gamma_в;$$
$$\Delta_1^{ф} = -\delta_{11}^{ф}\left[N_{P1} e_в + \left(N_{P1} + P_{св}\right) e_9\right];$$
$$\Delta_2 = \Delta_2^{в} + \Delta_2^{ф}; \quad \Delta_2^{в} = \delta_{22}^{в} N_{P1} tg\gamma_в; \quad \Delta_2^{ф} = -\Delta_1^{ф} e_7;$$

Схема сопряжения ствола трубы с фундаментом



а) усилия в основной системе и принятые обозначения;
б,в) расчетные схемы.

Черт.I5

где E_φ – модуль упругости материала фундамента;

J_φ – момент инерции вертикального сечения кольца фундамента относительно горизонтальной оси, проходящей через центр тяжести сечения;

r_φ – радиус окружности, проходящей через центры тяжести вертикальных сечений фундамента;

J_o – главный момент инерции горизонтальной площадки участка основания фундамента, ограниченного двумя вертикальными радиальными сечениями, размещенными друг от друга на единичном расстоянии по окружности радиуса r_φ ;

$P_{cб}$ – вес участка фундамента, ограниченного вертикальными радиальными сечениями;

K_o – коэффициент постели основания;

F_φ – площадь вертикального сечения фундамента.

При отсутствии радиальных перемещений фундамента по основанию коэффициента при неизвестных и свободные члены уравнений определяются выражениями

$$\delta_{11}^{\varphi} = r_\varphi^2 c_2 n_3 \Big/ (c_1 e_2 r_\varphi^2 + 1); \quad c_2 = \rho_\varphi^2 \Big/ (e_6^2 + \rho_\varphi^2);$$

$$\delta_{12}^{\varphi} = -\delta_{11}^{\varphi}(e_6 + e_7); \quad \delta_{22}^{\varphi} = -\delta_{12}^{\varphi}(e_6 + e_7); \qquad (95)$$

$$\Delta_1^{\varphi} = -\delta_{11}^{\varphi}(N_{p1} e_3 + N_{p1} e_9 + P_{cв} \cdot e_9);$$

$$\Delta_1 = \Delta_1^{в} + \Delta_1^{\varphi}; \quad \Delta_2 = \Delta_2^{в} + \Delta_2^{\varphi}; \quad \Delta_2^{\varphi} = \Delta_1^{\varphi}(e_6 + e_7);$$

3.52. Распределение усилий в стенке ствола трубы вдоль линейных образующих ее поверхности определяется по формулам

$$M_{xм}^{в} = M_{oм}^{в} \eta_3 + (N_{p1} \sin\gamma_в + H_{10} \cos\gamma_в) S_в \eta_2 ;$$

$$M_{xм}^{н} = M_{oм}^{н} \eta_3 - (N_{p2} \sin\gamma_н + H_{20} \cos\gamma_н) S_н \eta_2 ;$$

$$N_{xк}^{в} = N_o^{в} + 2 r_в \left[M_{oм}^{в} \eta_4 + S_в (N_{p2} \sin\gamma_в + H_{20} \cos\gamma_в) \eta_1 \right] \Big/ S_в^2 ; \qquad (96)$$

$$N_{xк}^{н} = N_o^{н} + 2 r_н \left[M_{oм}^{н} \eta_4 - S_н (N_{p2} \sin\gamma_н + H_{20} \cos\gamma_н) \eta_1 \right] \Big/ S_н^2 ;$$

$$M^{в}_{ом} = M_{10} \pm M^{в}_{о} \; ; \quad M^{н}_{ом} = M_{20} \pm M^{н}_{о} \; ;$$

$$\eta_1 = e^{-\xi} \cos\xi \; ; \quad \eta_2 = e^{-\xi} \sin\xi \; ;$$

$$\eta_3 = \eta_1 + \eta_2 \; ; \quad \eta_4 = \eta_1 - \eta_2 \; ; \qquad (97)$$

$$\xi = x/S_0 \quad \text{или} \quad \xi = x/S_н \; ,$$

где $M^{в}_{о}$, $M^{н}_{о}$ – меридиональные моменты в основной системе;

$N^{в}_{о}$, $N^{н}_{о}$ – кольцевые силы в основной системе;

$M^{в}_{хм}$, $M^{н}_{хм}$ – меридиональные моменты в расчетных сечениях;

$N^{в}_{хк}$, $N^{н}_{хк}$ – кольцевые силы в расчетных сечениях;

$\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4$ – гиперболотригонометрические функции;

x – текущая координата.

3.53. Усилия в кольцевом ребре определяются формулами

$$N^{р}_{к} = -\eta_р N_\eta \; ; \quad M^{р} = \eta_р M_{кр} \; ,$$

где $N^{р}_{к}$ – кольцевые силы в ребре;

$M^{р}$ – изгибающий момент в ребре;

N_η – сумма сил распора (за положительное принято направление внутрь кольца);

$M_{кр}$ – суммарный крутящий момент от всех сил и моментов, действующих на участок ребра единичной длины, относительно центра тяжести его вертикального сечения.

3.54. Усилия в кольцевом фундаменте определяются формулами

$$N^{ф}_{к} = \eta_ф N_\eta \; ; \quad M^{ф} = \eta_ф M_{кр} / (c_1 \eta^2_ф + 1), \qquad (98)$$

$$\bar{N}^{ф}_{к} = M_{кр} \eta_ф c_2 e_б F_ф / (c_1 c_2 \eta^2_ф + 1) J_ф \; ,$$

$$\bar{M}^{ф} = \eta_ф c_2 M^{ф}_{кр} / (c_1 c_2 \eta^2_ф + 1) \; , \qquad (99)$$

где $N^{ф}_{к}$, $\bar{N}^{ф}_{к}$ – нормальные кольцевые силы;

$M^{ф}$, $\bar{M}^{ф}$ – изгибающие моменты.

Формулы (98) применяются при свободном радиальном перемещении фундамента по основанию, а формулы (99) при отсутствии таких перемещений.

Определение дополнительных усилий в местах сопряжения различных элементов трубы при температурном воздействии

3.55. Пространственная работа ствола трубы от изменения температурного перепада и средней температуры учитывается при расчете труб в тех же случаях, что при действии внешних нагрузок.

3.55.1. Краевые температурные моменты M_{IO} и поперечные силы H_{IO} в зоне сопряжения ствола трубы с кольцевым ребром, выполняемым обычно в местах резкого изменения уклона и толщины ствола, определяются из решения канонических уравнений (88), свободные члены которых определяются как перемещения в основной системе от воздействия температуры по формулам

$$\Delta_{1t} = \Delta^{в}_{1t} + \Delta^{н}_{1t}; \quad \Delta^{в}_{1t} = \frac{\alpha_{вt} \cdot \Delta t_в S_в B_в}{h_в};$$

$$\Delta^{р}_{1t} = \frac{\alpha_{вt}\, \Delta t_р\, r_р^2\, n_1 \cdot B_в}{B_р};$$

$$\Delta_{2t} = \Delta^{в}_{2t} + \Delta^{р}_{2t}; \quad \Delta^{в}_{2t} = \left(\frac{\alpha_{вt}\, \Delta t_в S_в \cos\chi_к B_в}{2h_в} + \alpha_{вt} \cdot t^{в}_{o} \cdot r_в B_в\right);$$

$$\Delta^{р}_{2t} = -\left(\frac{\alpha_{вt}\, \Delta t_р \cdot r_р^2 e_1 n_1 B_в}{B_р} + \alpha_{вt} \cdot t^{р}_{o} \cdot r_р B_в\right); \qquad (100)$$

$$\Delta_{3t} = \Delta^{н}_{3t} + \Delta^{р}_{3t}; \quad \Delta^{н}_{3t} = \frac{\alpha_{вt} \cdot \Delta t_н S_н B_в}{h_н};$$

$$\Delta^{р}_{3t} = \frac{\alpha_{вt} \cdot \Delta t_р\, r_р^2\, n_1 B_в}{B_р};$$

$$\Delta_{4t} = \Delta^{н}_{4t} + \Delta^{р}_{4t}; \quad \Delta^{н}_{4t} = -\left(\frac{\alpha_{вt}\, \Delta t_н \cdot S_н \cos\chi_н n_2 B_в}{2h_н} + \alpha_{вt}\, t^{н}_{o}\, r_н B_в\right);$$

$$\Delta^{р}_{4t} = \left(\frac{\alpha_{вt}\, \Delta t_р\, r_р^2 e_2 n_1 B_в}{B_р} + \alpha_{вt}\, t^{р}_{o}\, r_р \cdot B_в\right).$$

3.55.2. В зоне сопряжения ствола трубы с кольцевым фундаментом (черт.15а) краевые температурные усилия находят при решении системы уравнений (91). При этом величины свободных членов определяют так же, как и в предыдущем случае.

3.56. По полученным при решении уравнений (88), приведенных в п.3.50, краевым моментам M_{IO} и поперечным силам H_{IO} определяют значения M_{ℓ}, характеризующие распределение момента вдоль образующей, начиная от плоскости сопряжения с фундаментной плитой

или ребром, или от места перелома и изменения толщины, и далее вверх (или вниз от ребра и места перелома при M_{20} и H_{20}) по формуле

$$M_{\xi} = M_{10}\eta_3 + SH_{10}\eta_2 ,$$

где η_3 и η_2 – гиперболотригонометрические функции (табл.6).

3.57. Значения суммарного температурного момента M_{tc} определяют по формуле

$$M_{tc} = M_t + M_{\xi t} + M_{\xi} ,$$

где M_t – температурный изгибающий момент в стволе трубы вдали от зон сопряжения, принятый в результате расчетов по п.3.28;

$M_{\xi t}$ – температурный изгибающий момент, определяемый по формуле

$$M_{\xi t} = - M_t \cdot \eta_3 .$$

Особенности расчета железобетонных дымовых труб с монолитной футеровкой

3.58. Определение усилий в статически неопределимых конструкциях от воздействия температуры должно производиться по формулам строительной механики с принятием действительной жесткости сечений, методом последовательных приближений до тех пор, пока величина усилия, полученная в последнем приближении, будет отличаться от усилий предыдущего приближения не более, чем на 5%.

3.59. Усилия, действующие в сечениях двухслойных дымовых труб (железобетонный ствол с футеровкой из монолитного бетона, уложенного вплотную к стволу) следует определять с учетом веса футеровочного слоя. Температурные усилия в железобетонном стволе также следует определять с учетом теплозащитных свойств футеровки. При определении же напряжений в железобетонном стволе от этих усилий в расчет следует принимать только площадь сечения бетона ствола и арматуры без учета площади сечения бетона футеровки.

3.60. При расчете двухслойных железобетонных дымовых труб необходимо учитывать изменения механических и упругопластических свойств бетона и арматуры в зависимости от температуры воздействия. Расчетные схемы должны быть установлены в соответствии с условиями действительной работы в предельном состоянии, с учетом, в необходимых случаях, пластических свойств бетона и арматуры, наличия трещин в растянутом бетоне, а также влияния усадки и ползучести бетона как при нормальной температуре, так и при воздействии повышенных и высоких температур.

Расчеты должны выполняться в соответствии со СНиП по специально разработанным программам с применением машинных методов расчета.

4. РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ ПОД ТРУБЫ

4.I. Расчет естественного основания под фундамент трубы следует выполнять в соответствии со СНиП 2.02.0I-83.

Расчет оснований, сложенных нескальными грунтами, производится по второй группе предельных состояний (по деформациям). Расчет оснований, сложенных скальными грунтами, производится по первой группе предельных состояний (по несущей способности).

4.2. Расчет свайного основания под фундамент трубы следует выполнять в соответствии со СНиП 2.02.03-85 на свайные фундаменты.

4.3. Фундаменты дымовых труб следует рассчитывать в соответствии с руководством по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций (М, Стройиздат, I975 г.), а также СНиП 2.03.0I-84.

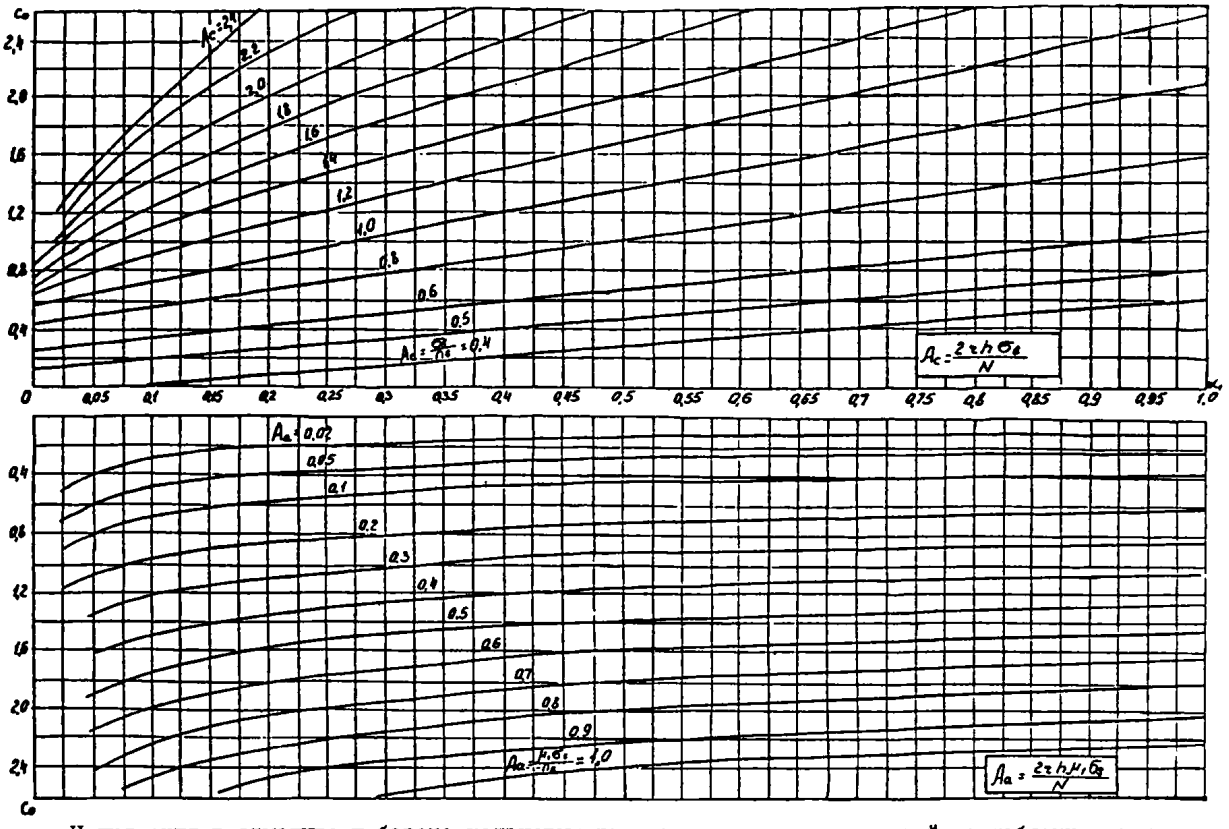
При расчете фундаментных плит следует также учитывать рекомендации, изложенные в руководстве по проектированию плитных фундаментов каркасных зданий и сооружений башенного типа (М, Стройиздат, I984).

4.4. Расчет температурных полей при подземном вводе газоходов следует выполнять в соответствии с указаниями по тепловому расчету конструкций тепловых агрегатов.

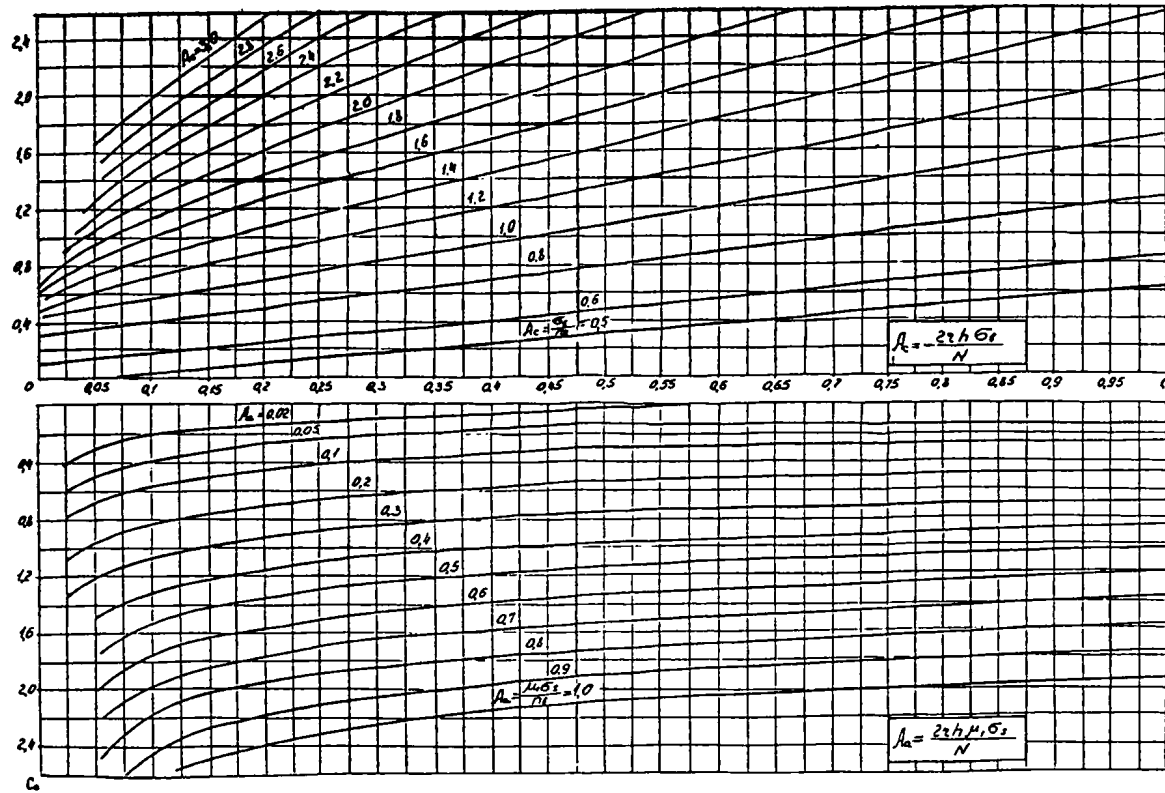
C.66 BCH 286-90

ПРИЛОЖЕНИЕ
Обязательное

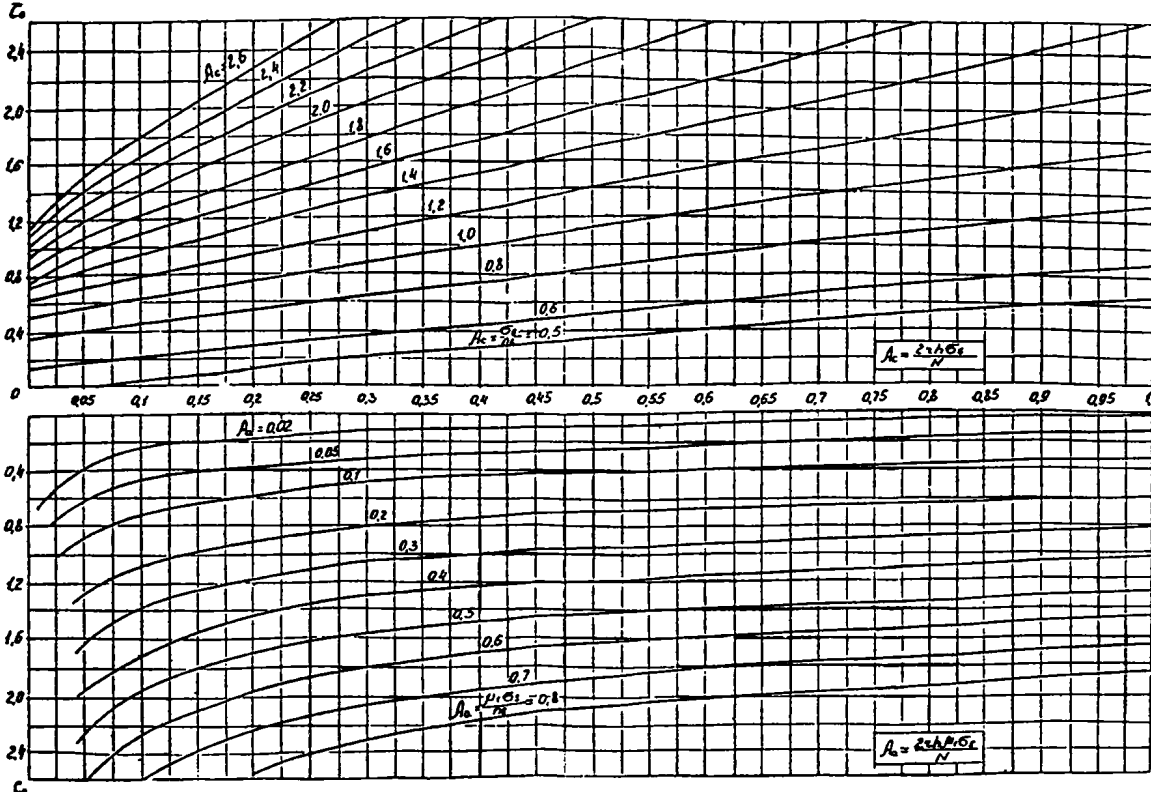
НАПРЯЖЕНИЯ В АРМАТУРЕ И БЕТОНЕ КОЛЬЦЕВЫХ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ СЕЧЕНИЙ



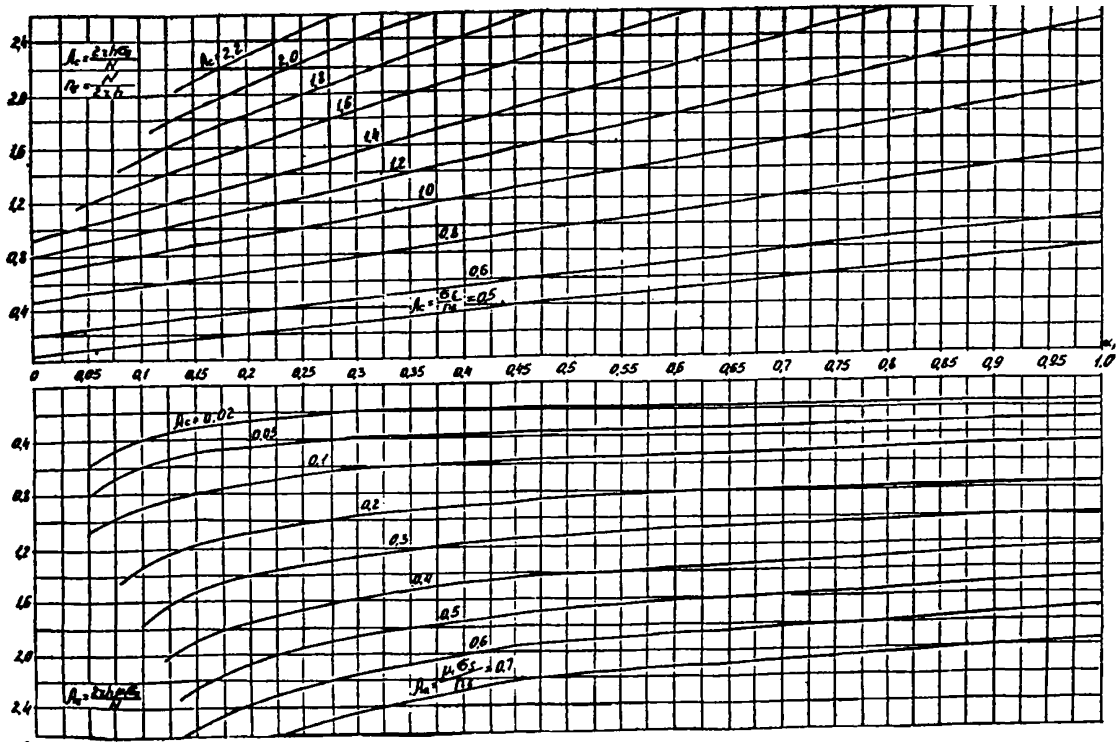
Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных одним проемом в сжатой зоне $\theta = 25^0$



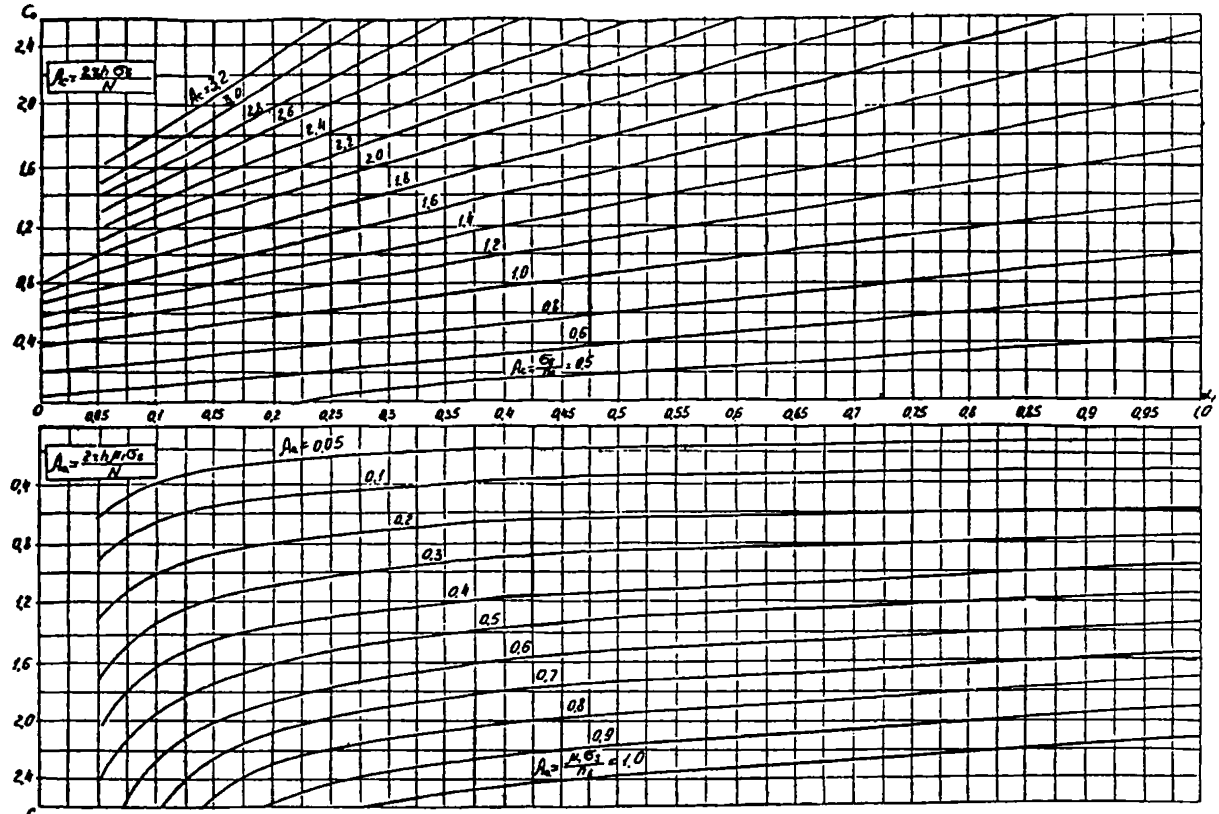
Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных одним проемом в сжатой зоне $\Theta = 35^0$



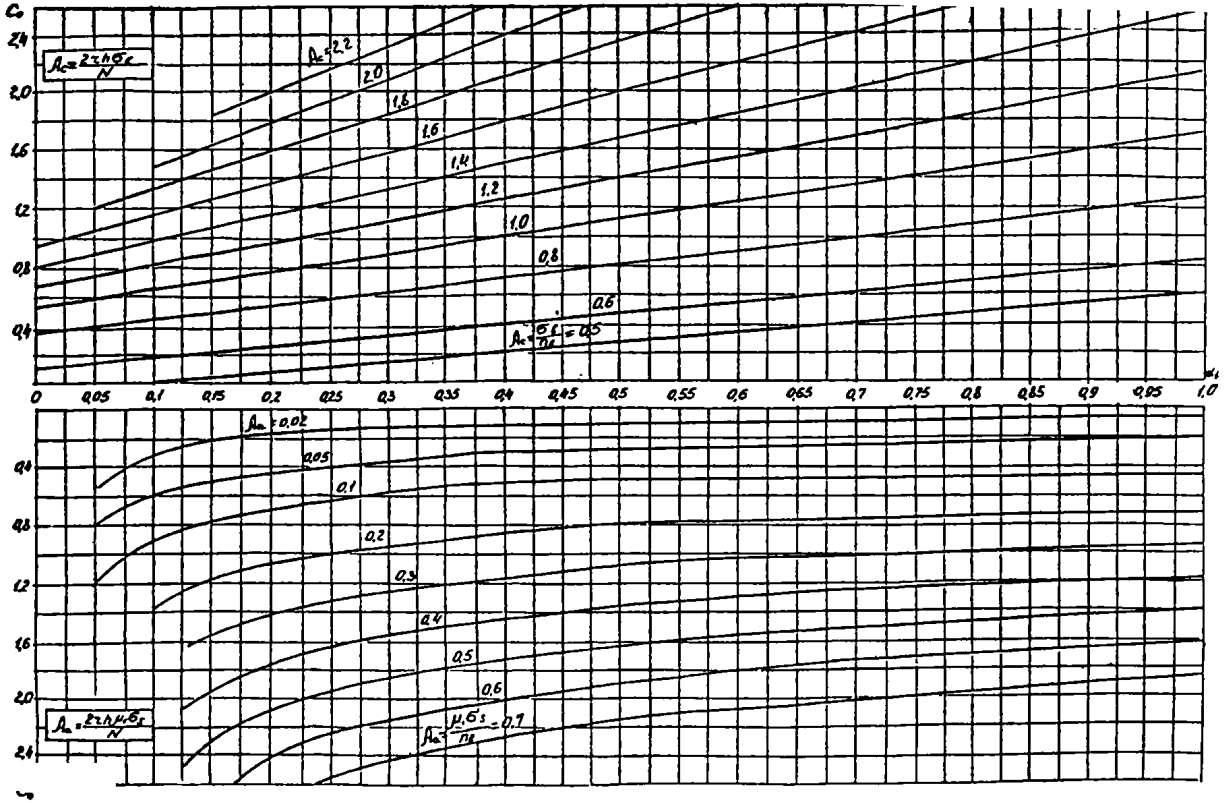
Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных двумя проёмами в сжатой зоне $\theta = 20^0$ $\varphi = 45^0$



Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных двумя проемами в сжатой зоне $\Theta = 25^0$ $\varphi = 45^0$



Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных двумя проемами в сжатой зоне $\theta = 20^0$ $\varphi = 60^0$



Напряжения в арматуре и бетоне кольцевых внецентренно сжатых сечений, ослабленных двумя проемами в сжатой зоне $\theta = 25^{\circ}$ $\varphi = 60^{\circ}$

gost.e-ecolog.ru