МИНИСТЕРСТВО ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ СССР

ИНСТРУКЦИЯ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

ВСН 001-71
МЧМ СССР

Утверждена
Министерством черной металлургии СССР
1 июля 1971 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва—1972

gost.e-ecolog.ru

УДК 624.159.1.04 : 669.162.2(083.96)

«Инструкция по проектированию фундаментов доменных печей» (ВСН 001-71 / МЧМ СССР) разработана совместно институтами Гипромез Минчермета СССР, НИИЖБ и НИИОСП Госстроя СССР.

С вводом в действие настоящей Инструкции с 1.XII 1972 г. утрачивает силу «Инструкция по расчету и проектированию фундаментов доменных печей» (И 201-55 / МСП МХП).

Инструкция по проектированию фундаментов доменных печей. М., Стройиздат, 1972, 64 с. (Министерство черной металлургии СССР).

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящей Инструкцией аннулируется «Инструкция по расчету и проектированию фундаментов доменных печей» И201-55/МСП МХП. Коренной переработке подвергся II раздел Инструкции И 201-55 — на основании предложений Научно-исследовательского института оснований и подземных сооружений Госстроя СССР используемая в Инструкции И 201-55 для статического расчета несущей плиты фундамента теория упругого полупространства заменена теорией деформаций оснований конечной толщины. Соответственно заменены формулы, таблицы и примеры расчета.

В том же разделе на основании научно-технического отчета лаборатории жаростойких бетонов и конструкций Научно-исследовательского института бетона и железобетона Госстроя СССР переработан в соответствии с последними нормативными требованиями расчет жаростойкого массива фундамента на прочность и раскрытие трещин. Соответственно заменены формулы, таблицы и примеры расчета, а также исключены некоторые графики.

Переработан I раздел Инструкции И 201-55 в связи с необходимостью отражения новейших технических решений, предложенных практикой проектирования фундаментов современных доменных печей.

Основные расчетные положения Инструкции, касающиеся несущей плиты, применимы также к фундаментам под дымовые трубы и к другим круглым или многоугольным в плане фундаментам высотных сооружений.

Инструкция переработана начальником строительного отдела Гипромеза инж. Г. Д. Скажеником при участии гл. конструктора строительного отдела Гипромеза Н. Д. Плессеиной, руководителя сектора НИИЖБ д-ра техн. наук А. Ф. Милованова, ст. научн. сотр. НИИЖБ канд. техн. наук Б. А. Альтшулера, руководителя лаборатории НИИОСП д-ра техн. наук проф. К. Е. Егорова и ст. научн. сотр. НИИОСП канд. техн. наук Т. А. Маликовой.

Министерство черной металлургии СССР (Минчермет СССР)	Ведомственные строительные нормы	ВСН 001-71 МЧМ СССР
	Инструкция по проектированию фундаментов доменных печей	Взамен И 201-55 МСП МХП

1. ПРИНЦИПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

1.1. Фундаменты современных доменных печей работают в условиях постоянного воздействия значительных технологических и строительных нагрузок и неравномерного высокотемпературного нагрева.

Усилия, возникающие в фундаменте доменной печи от указанных силовых воздействий при весьма больших его параметрах, вызывают значительные объемные деформации и сложное напряженное состояние сооружения, что требует изыскания особых конструктивных форм и соответствующих материалов фундамента, позволяющих обеспечить нормальные условия его длительной эксплуатации.

Фундамент устраивают из двух частей:

а) нижней несущей части в виде мощной монолитной железобетонной плиты с размерами площади основания, определяемыми грунтовыми условиями;

б) верхней ненесущей части в виде сплошного массива из жаростойкого бетона с установкой у его боковых граней кольцевой арматуры, воспринимающей температурные усилия (приложение I, рис. 8) [1, 2].

При устройстве специальной системы воздушного охлаждения лещади снизу роль жаростойкого массива как термоизолятора несущей плиты, осуществляемой из обычного железобетона, упрощается, так как температурный нагрев массива при этом значительно сокращается.

Внесена Гипромезом Минчермета СССР, НИИЖБ и НИИОСП Госстроя СССР	Утверждена Министерством черной металлургии СССР 1 июля 1971 г.	Срок введения 1 декабря 1972 г.

Однако замена в этом случае жаростойкого бетона массива обычным недопустима, так как из-за постепенного (с разгаром лещади) снижения эффективности отбора тепла, а также вследствие случайного расстройства системы охлаждения сохраняется возможность нагрева массива до температуры выше допустимой для обычного бетона.

1.2. Высота массива фундамента, выполняемого из жаростойкого бетона, определяется термическим расчетом исходя из необходимости обеспечения на верхней поверхности несущей железобетонной плиты фундамента температуры не выше 250°С.

Расчетами установлено, что этому требованию удовлетворяет жаростойкий массив высотой, равной примерно 0,25 его диаметра.

При устройстве воздушного охлаждения лещади высота жаростойкого массива принимается по конструктивным соображениям такой же, но не более 3 *м*.

Если для требуемого снижения отрывающей силы, возникающей в печи от внутреннего давления, высота массива должна превышать 3 *м*, то кожух печи необходимо закреплять анкерующими устройствами по типу воздухонагревателей.

Примечание. Если при эксплуатации доменной печи будет установлено непрерывное нарастание температуры в верхней части несущей плиты фундамента с достижением своего предельного значения, работа доменной печи должна быть прекращена.

1.3. Жаростойкий массив выполняют круглой формы, диаметром, соответствующим размерам горна печи, и заключают в стальную обойму. В качестве обоймы используют кожух печи, удлиняемый до верха несущей плиты.

При наличии донышка и системы воздушного охлаждения лещади снизу устройство обоймы не обязательно.

1.4. Стальная обойма, являющаяся продолжением кожуха доменной печи, должна быть со всех сторон открытой для возможности регулярного осмотра ее и своевременного ремонта, а также для возможности охлаждения боковых поверхностей массива.

1.5. Для предотвращения выхода газов из-под кожуха печи в атмосферу снаружи обоймы жаростойкого массива устанавливают с зазором 100—150 *мм* стальное

кольцо, вбетонированное в нижнюю железобетонную плиту и выступающее над ней на 300—400 *мм*. Зазор заполняют огнеупорной углеродистой массой (набойка).

Для печей с воздушным охлаждением лещади предотвращение выхода газов обеспечивается наличием донышка.

1.6. Для печей без воздушного охлаждения лещади между обоймой и жаростойким массивом устраивается зазор. Такой зазор обеспечивает свободное развитие температурных деформаций массива за счет сжимаемости (податливости) набойки, исключая непосредственную передачу температурных усилий на кожух печи.

Величина температурных деформаций массива при его нагреве находится в прямой зависимости от содержания в массиве кольцевой арматуры.

Ширину зазора (следовательно, толщину набойки), достаточную для компенсации приращения радиуса массива при нагреве, определяют по приращению радиуса массива $r_м$:

$$\Delta r_м = \frac{R_а r_м 0{,}85}{E_а}$$ (где 0,85 — коэффициент условий работы).

Например, при $r_м = 650$ *см* для арматуры класса А-II

$$\Delta r_м = \frac{0{,}85 \cdot 2700 \cdot 650}{2\,100\,000} = 0{,}7 \text{ } см.$$

Сжимаемость набойки под давлением равна приблизительно 6—8%, вследствие чего величина зазора должна быть не менее 75—90 *мм*. С некоторым запасом величину зазора принимают равной 100 *мм*.

Для печей с воздушным охлаждением лещади устройство зазора не обязательно.

1.7. Жаростойкий массив и несущая железобетонная плита фундамента находятся в разных условиях температурного режима.

Во избежание повреждения несущей плиты фундамента при деформациях жаростойкого массива между ними оставляют температурный шов, заполняемый специальным огнеупорным материалом.

Для этой цели применяют жестко-пластичный раствор из кварцевого чистого песка и белой огнеупорной глины (каолин) или графитовую пыль, насыпаемую сло-

ем толщиной 10 *мм* по тщательно затертой поверхности железобетона несущей плиты фундамента.

1.8. Нижняя несущая плита фундамента имеет в плане ступенчатую форму восьмиугольника с консольным развитием подошвы основания.

Размеры плиты и ее армирование определяются статическим и термическим расчетами в соответствии с указаниями настоящей Инструкции.

1.9. Кольцевую арматуру, устанавливаемую у боковой поверхности жаростойкого массива, проектируют в целях уменьшения раскрытия трещин в бетоне из нескольких концентрически расположенных сеток (приложение 1, рис. 9).

Для кольцевой арматуры применяют горячекатаную сталь периодического профиля диаметром 25—32 *мм* класса А-II, а вертикальные стержни сеток готовят из такой же арматуры класса А-II или из круглой арматуры класса А-I диаметром 16—20 *мм*.

Расстояние между вертикальными и горизонтальными стержнями сеток принимают равным 75—200 *мм*, расстояние между сетками в свету — 100—150 *мм*.

Стыки арматуры выполняют сварными.

Допускается применение в качестве арматуры полосовой стали площадью сечения не более 15 $см^2$.

Кольцевую арматуру монтируют при помощи кондукторов из уголков, устанавливаемых на нижнюю несущую плиту фундамента.

1.10. Армирование плиты, определяемое расчетом на действие внешних нагрузок и реактивного давления грунта, осуществляют в виде плоских сварных сеток, устанавливаемых у подошвы плиты в несколько ярусов по площади основания (основная арматура) и у боковых граней (тангенциальная арматура) (приложение 1, рис. 10).

Для арматуры сеток применяют горячекатаную сталь периодического профиля диаметром 32—45 *мм*.

Расстояние между стержнями сеток принимают равным 150—200 *мм*, расстояние между сетками в свету — 150—200 *мм*.

Стыки арматуры выполняют сварными.

Армирование плиты, определяемое расчетом на температурные воздействия, осуществляют в виде кольцевых сварных сеток из арматуры класса А-II, устанавливаемых вертикально в пределах всей высоты плиты.

Указания по кольцевой арматуре аналогичны указаниям п. **1.9.** Следует также руководствоваться п. **2.3** и рис. 9 приложения 1.

У верхней поверхности фундамента ставится конструктивная арматура классов А-II или А-III. Площадь сечения конструктивной арматуры должна составлять 0,05—0,08% площади сечения плиты фундамента. Шаг арматуры не должен превышать 400 *мм*.

1.11. Горизонтальные усилия, передаваемые на плиту фундамента от стальных колонн печи в местах их непосредственного опирания, воспринимаются кольцевой арматурой, устанавливаемой в пределах верхнего уступа плиты.

Эта арматура совмещается с кольцевой арматурой, работающей на температурный перепад по радиусу плиты.

Для увеличения сопротивления бетона местному давлению под башмаками колонн в местах их расположения устанавливают два горизонтальных ряда сеток конструктивной арматуры.

1.12. Конструктивные элементы рабочей площадки печи частично опираются на несущую железобетонную плиту фундамента (при непросадочных плотных грунтах).

Конструктивные решения площадки должны обеспечивать свободный доступ к кожуху печи.

1.13. Для контроля температуры закладываются трубки, в которых размещаются термопары.

Трубки закладываются при отсутствии системы воздушного охлаждения лещади у верхней грани несущей плиты фундамента.

При наличии воздушного охлаждения — в нижней части лещади.

Наблюдение за температурой производят согласно «Требованиям по наблюдению за температурой фундаментов доменных печей» (см. приложение 5).

2. ПРИНЦИПЫ РАСЧЕТА

2.1. Расчет температурных усилий, возникающих в жаростойком массиве и несущей плите фундамента в результате неравномерного распределения температуры в радиальном направлении, производится по методу проф. В. И. Мурашева [3, 4] исходя из следующих положений:

а) массив и плиту фундамента делят по высоте на три отдельных диска, из которых на температурный перепад по радиусу рассчитывается только верхний диск массива и плиты;

б) изменение температурных деформаций массива (плиты) в различных точках их радиуса $\alpha_{б.р}t$ принимается по линейному закону (рис. 1), где $\alpha_{б.р}$ — коэффициент суммарной температурной деформации бетона с учетом температурной усадки ($\alpha_{б.р}=\alpha_{б.t}-\alpha_{б.у}$), принимаемый по табл. 1; t — температура в °С;

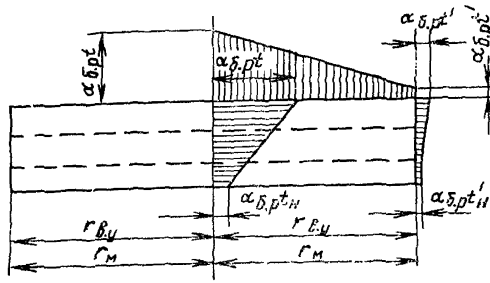


Рис. 1. Расчетная схема распределения свободных температурных деформаций по радиусу и высоте массива (плиты) фундамента

в) величину усилий в кольцевой арматуре находят в зависимости от жесткости массива (плиты) и определяют с учетом пластических деформаций бетона сжатой зоны, а также работы растянутого бетона, расположенного между трещинами;

г) массив и плита фундамента при работе на неравномерный нагрев являются статически неопределимыми конструкциями.

Количество кольцевой арматуры определяют методом последовательных приближений.

2.2. Расчет жаростойкого массива и несущей плиты фундамента на температурный перепад в радиальном направлении производят из условия ограничения раскрытия трещин. При этом необходимо обеспечить выполнение условия

$$M_t \leqslant M, \qquad (1)$$

где M_t — изгибающий момент, возникающий в сечении от неравномерного нагрева;

M — изгибающий момент, который может быть воспринят сечением при достижении арматурой расчетного сопротивления $R_а$.

Величину изгибающего момента M определяют по формуле

$$M = m_t F_а R_а r_0 (1 - 0{,}5\,\xi), \tag{2}$$

где $F_а$ — площадь кольцевой арматуры

$$F_а = \mu b r_0,$$

здесь b — высота диска, в пределах которой размещается арматура $F_а$; принимается равной 100 *см*;

r_0 — расстояние от центра массива или верхнего уступа несущей плиты до центра тяжести кольцевой арматуры:

$$r_0 = r_{\underset{(м)}{в.у}} - a,$$

здесь $r_{\underset{(м)}{в.у}}$ — радиус массива или верхнего уступа несущей плиты фундамента;

a — расстояние от наружной поверхности массива или верхнего уступа плиты до центра тяжести кольцевой арматуры;

$R_а$ — расчетное сопротивление растянутой арматуры при нормальной температуре; принимается по табл. 4 главы СНиП II-В.1-62* (приложение 4);

ξ — относительная высота сжатой зоны сечения, определяемая по формуле:

$$\xi = \frac{1}{1{,}8 + \dfrac{1 + 5L}{10\,\mu\, n_t}}, \tag{3}$$

здесь $L = \dfrac{M}{b r_0^2 R_и^н \gamma_б}$; (4)

$$n_t = \frac{E_а}{E_б\, \beta_б}; \tag{5}$$

$E_а$ — модуль упругости арматурной стали; принимается по табл. 32 главы СНиП II-В.1-62* (приложение 4);

$E_б$ — начальный модуль упругости бетона; определяется по табл. 31 главы СНиП II-В.1-62* или по табл. 4 главы СНиП II-В.7-67 в зависимости от вида бетона (приложение 4);

$\beta_б$ — коэффициент, учитывающий снижение модуля упругости бетона при нагреве; принимается по табл. 1 в зависимости от средней температуры сжатой зоны;

$R_и^н$ — нормативное сопротивление бетона сжатию при изгибе; определяется по табл. 29 СНиП II-В.1-62* (приложение 4);

$\gamma_б$ — коэффициент, учитывающий снижение сопротивления бетона сжатию при изгибе; принимается по табл. 1 в зависимости от средней температуры сжатой зоны;

m_t — коэффициент условий работы, учитывающий возможность повышения напряжения в арматуре при отклонении действительного распределения температуры от расчетного в случае нарушения нормальных условий работы печи, а также при повторном нагреве; значение m_t принимается равным 0,85.

Для удобства пользования в расчетах формулой (3) при определении относительной высоты сжатой зоны сечения ξ произведены преобразования с введением некоторых условных обозначений.

В результате формула (3) приобретает вид:

$$\xi = И - \sqrt{И^2 - 4Л}, \tag{6}$$

где $И = 3{,}6Л + \dfrac{0{,}2Ю}{\mu} + 1$; $Л = \dfrac{E_а}{E_б \beta_б} Ю$;

$$Ю = \frac{R_и^н \gamma_б}{m_t R_а}.$$

Величину изгибающего момента M_t определяют по формуле

$$M_t = \frac{1}{\rho_t} \cdot \frac{r_0^2 (1 - 0{,}5\xi)}{\dfrac{\psi_а}{E_а F_а} + \dfrac{\psi_б}{0{,}5 \xi b r_0 E_б \beta_б}} =$$

$$= \frac{r_0}{\rho_t} \cdot \frac{r_0 (1 - 0{,}5\xi)}{\dfrac{\psi_а}{E_а F_а} + \dfrac{\psi_б}{0{,}5 \xi b r_0 E_б \beta_б}}, \tag{7}$$

где $\psi_б$ — коэффициент, учитывающий неравномерность распределения деформаций у крайнего волокна сжатой зоны на участке между трещинами; принимаемый равным 0,9;

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

$$\frac{1}{\rho_t} = \frac{\alpha_{б.р}\,\Delta t}{2r_0}, \qquad (8)$$

здесь Δt — расчетный температурный перепад от центра диска до кольцевой арматуры, принимаемый равным:

а) *при отсутствии воздушного охлаждения* низа лещади:

$\Delta t = 500°$ *для жаростойкого массива;*

$\Delta t = 250°$ для несущей плиты;

б) *при наличии воздушного охлаждения:*

$\Delta t = 350°$ для жаростойкого массива.

Жаростойкий массив фундамента печи при разгаре лещади может подвергаться нагреву до 1100—1200°С. Однако в связи со снижением жесткости массива за счет образования трещин в растянутой зоне и развития значительных усадочных и пластических деформаций в бетоне сжатой зоны максимальные значения температурных усилий развиваются при более низкой температуре. Согласно п. 4.3 главы СНиП II-В.7-67 для статически неопределимых конструкций, выполненных из жаростойкого бетона на портландцементе, температура, при которой температурные усилия достигают наибольшего значения, принята равной 500°С. При наличии воздушного охлаждения низа лещади расчет кольцевой арматуры несущей плиты не производится, она устанавливается конструктивно при $\mu > 0{,}0015$.

$\alpha_{б.р}$ — коэффициент суммарной температурной деформации бетона; принимается по табл. 1 в зависимости от величины Δt. Для несущей плиты из обычного бетона коэффициент $\alpha_{б.р}$ принимается равным $\alpha_{б.t}$.

$\psi_а$ — коэффициент, учитывающий работу растянутого бетона между трещинами; определяется по формуле

$$\psi_а = 1{,}3 - S\,\frac{M_{б.т}}{M}, \qquad (9)$$

Таблица 1

Значения коэффициентов $\gamma_б$, $\beta_б$, $\alpha_{б.р}$ и $\alpha_{б\,т}$

Номер состава бетона (приложение 4)	Коэффициент	Значение коэффициента при температуре нагрева в °С			
		100	200	300	500
1, 2	$\gamma_б$	0,85	0,7	0,5	—
	$\beta_б$	0,8	0,7	0,4	—
	$\alpha_{б,t}$	2,5	11	11	—
11	$\gamma_б$	1	1	0,9	0,65
	$\beta_б$	1	0,9	0,75	0,5
	$\alpha_{б.р}$	9	8	7	5,5

Примечания: 1. Значения коэффициентов $\alpha_{б.р}$ и $\alpha_{б\,t}$ равны числовым значениям, умноженным на 10^{-6}.

2. Значения коэффициентов $\gamma_б$ и $\beta_б$ определяют по табл. 1: при $\Delta t = 500°$ — для температуры, равной 0,85 Δt, при $\Delta t = 350°$ и 250° — для температуры, равной 0,9 Δt.

здесь S — коэффициент, характеризующий профиль арматуры; принимается равным: для стержней периодического профиля $S = 1{,}1$, для стержней гладкого профиля $S = 1$;

$M_{б.т}$ — момент, воспринимаемый бетонным сечением без учета арматуры растянутой зоны непосредственно перед появлением трещин, относительно оси, нормальной к плоскости изгиба и проходящей через точку приложения равнодействующей усилий в сжатой зоне сечения; определяется по формуле

$$M_{б.т} = 0{,}8\, W_{б.т}\, \gamma_{б.р}\, R^{н}_{р}.$$

Так как

$$W_{б.т} = 0{,}292\, b\, r^{2}_{в.у}, \text{ или } W_{б.т} = 0{,}292\, b\, r^{2}_{м},$$

то

$$M_{б.т} = 0{,}234\, b\, r^{2}_{в.у}\, \gamma_{б.р}\, R^{н}_{р}, \text{ или } M_{б.т} = 0{,}234\, b\, r^{2}_{м}\, \gamma_{б.р}\, R^{н}_{р}, \quad (10)$$

здесь $R^{н}_{р}$ — нормативное сопротивление бетона растяжению; принимается по табл. 29 главы СНиП II-В.1-62* (приложение 4);

$\gamma_{б.р}$ — коэффициент, учитывающий снижение сопротивления бетона растяжению при нагревании; принимается равным 0,75;

$r_{в.у}$ или $r_м$ — см. стр. 8.

Значение $\psi_а$ должно приниматься не более 1.

2.3. В соответствии с принятым линейным характером распределения температурных деформаций в массиве (см. рис. 1) и плите фундамента найденные для верхнего диска сечения кольцевой арматуры для нижележащих дисков принимаются в следующих размерах.

а) При температурном перепаде $\Delta t = 500°$.

Учитывая возможность нагрева верхней поверхности массива до $t = 1000 \div 1200°C$ при разделении массива по высоте на три диска, его средний диск будет нагреваться до температуры, превышающей 500°С, поэтому сечение кольцевой арматуры для него принимается таким же, как и для верхнего диска. Для нижнего диска сечение кольцевой арматуры уменьшается на 30%.

б) При температурных перепадах $\Delta t = 350°$ и 250°.

Найденные для верхнего диска сечения кольцевой арматуры при разделении массива на три диска уменьшаются для среднего на 20% и для нижнего на 50%. Для нижнего диска несущей плиты при $\Delta t = 250°$ сечение кольцевой арматуры

$$F_а' = 0{,}5\, F_а \frac{r}{r_{в.у}},$$

где r — радиус нижнего диска несущей плиты;

$r_{в.у}$ — радиус верхнего уступа плиты (верхнего диска);

$F_а$ — площадь кольцевой арматуры на 1 *м* верхнего диска.

При разделении несущей плиты на горизонтальные диски линии раздела следует совмещать с уступами плиты фундамента (рис. 2).

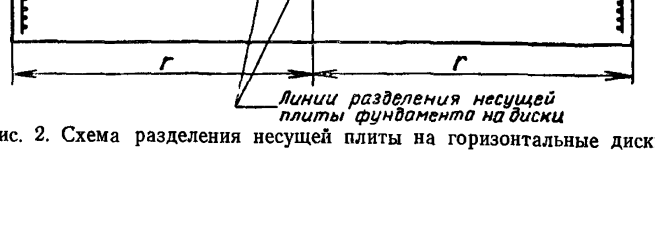


Рис. 2. Схема разделения несущей плиты на горизонтальные диски

2.4. Минимальный процент армирования принимается равным 0,15% ($\mu=0{,}0015$). Для окончательно принятого армирования сечения проверяется ширина раскрытия трещин в соответствии с п. **2.5** настоящего раздела Инструкции.

Площадь сечения вертикальной арматуры принимают равной примерно 25% площади сечения кольцевой арматуры.

2.5. Ширина раскрытия вертикальных трещин от температурных усилий в массиве (плите) определяется по формуле

$$a_{\text{т}} = \psi_{\text{а}} \frac{\sigma_{\text{а}\,t}}{E_{\text{а}}} l_{\text{т}}, \tag{11}$$

где σ_{at} — напряжение в арматуре, вызванное нормативным температурным моментом, принимаемым равным 0,9 его расчетного значения ($M_t' = 0{,}9\,M_t$):

$$\sigma_{\text{а}\,t} = \frac{M_t'}{\mu\, b\, r_0^2 (1 - 0{,}5\xi)}; \tag{12}$$

$l_{\text{т}}$ — расстояние между трещинами; определяется по формуле

$$l_{\text{т}} = k_1 n U \eta, \tag{13}$$

здесь

$$k_1 = \frac{0{,}32 + 1{,}54\,\mu n}{\mu n (1 - 0{,}5\,\xi)} - 2; \tag{14}$$

$$n = \frac{E_{\text{а}}}{E_{\text{б}}}; \quad U = \frac{F_{\text{а}}}{S}.$$

При арматуре одного диаметра

$$U = \frac{d_{\text{а}}}{4},$$

здесь $d_{\text{а}}$ — диаметр арматурного стержня;

S — периметр сечения арматуры по номинальному диаметру без учета выступов ребер периодического профиля;

η — коэффициент, зависящий от вида растянутой арматуры; принимается равным: для стержней периодического профиля $\eta=0{,}7$, для стержней гладкого профиля $\eta=1$.

При определении температурного момента M_t принята минимальная жесткость сечения, отвечающая напря-

жению в арматуре $m_t R_a$. Поэтому полученное значение M_t является минимальным.

Если это значение температурного момента M_t мало отличается от величины момента M, определяемого по формуле (2), то ширина раскрытия трещин определяется в соответствии с найденным значением $M_t' = 0{,}9\ M_t$.

Если же температурный момент M_t более чем на 10% меньше величины M, то для определения ширины раскрытия трещин с достаточной для практики точностью значение температурного момента

$$M_t' = 0{,}5\,(0{,}9\,M_t' + M). \qquad (7а)$$

Значение коэффициента ψ_a, входящего в формулу (11), вычисляется по формуле

$$\psi_a = 1{,}3 - S\,\frac{M_{б.т}}{M_t'}. \qquad (9а)$$

Наибольшая допустимая ширина раскрытия трещин равна 0,4 *мм*.

Для уменьшения ширины раскрытия трещин следует применять по возможности небольшие диаметры арматуры.

2.6. Расчет жаростойкого массива и несущей плиты фундамента на температурный перепад по радиусу по формулам (1)—(10) производят следующим образом:

а) расчет массива и плиты фундамента ведут только для участка верхнего диска высотой 1 *м*, подвергающегося воздействию температурного перепада Δt, принимаемого в соответствии с п. 2.2;

б) для принятых марки и состава бетона и вида арматуры определяют значения $R_и^н$, $R_р^н$, $E_б$, R_a и E_a;

в) задаются коэффициентом армирования сечения $\mu = \frac{F_a}{100 r_0}$, исходя из опыта проектирования, или его минимальным значением, равным 0,0015;

г) по температуре, равной $0{,}85\Delta t$ при $\Delta t = 500°$ и $0{,}9\Delta t$ при $\Delta t = 350$ и 250° определяют значения коэффициентов $\gamma_б$ и $\beta_б$;

д) вычисляют относительную высоту сжатой зоны ξ по формуле (6);

е) определяют величину изгибающего момента M по формуле (2);

ж) определяют значение $M_{б.т}$ по формуле (10) и значение ψ_a по формуле (9);

з) определяют значение $\frac{r_0}{\rho_t}$, пользуясь формулой (8), при этом значение $\alpha_{б.р}$ или $\alpha_{б.т}$ принимают в зависимости от Δt;

и) определяют величину температурного момента M_t по формуле (7);

к) проверяют условие (1).

Если при заданном минимальном армировании сечения условие (1) не удовлетворяется, необходимо увеличить содержание арматуры и при новом значении μ повторить расчет.

Для принятого армирования сечения проверяется ширина раскрытия трещин в соответствии с п. 2.5. Характер армирования жароупорного массива представлен на рис. 9 приложения 1.

2.7. В соответствии с требованиями СНиП II-Б.1-62* расчет оснований фундаментов доменных печей, сложенных нескальными грунтами, производится по второму предельному состоянию (по деформациям).

Расчет оснований по деформациям согласно СНиП II-Б.1-62* производится с использованием теории упругости, если среднее давление под плитой фундамента P от внешних нормативных нагрузок $\Sigma N^н + Q^н_ф + Q^н_{гр}$ не превышает нормативного давления на основание $R^н$, определяемого формулой

$$\left.\begin{aligned} P &= \frac{\Sigma N^н + Q^н_ф + Q^н_{гр}}{F} \leqslant R^н; \\ R^н &= (A\,d + B\,h)\,\gamma_0 + D c^н, \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

где h — глубина заложения фундамента от природного уровня грунта или от планировки срезкой до его подошвы в *м*;

d — диаметр круга, равновеликого по площади многоугольнику, в *м*;

γ_0 — средний объемный вес в *т*/*м*^{3} грунта, залегающего от природного уровня грунта до глубины, на одну четверть диаметра превосходящей уровень заложения фундамента $h + \frac{d}{4}$;

$c^н$ — нормативное удельное сцепление грунта для

глинистых грунтов или нормативный параметр линейности для песков, залегающих ниже подошвы фундамента в пределах одной четверти его диаметра ($\left(\frac{d}{4}\right)$, в *тс/м²*;

A, B, D — безразмерные коэффициенты, зависящие от среднего значения нормативного угла внутреннего трения ($\varphi^н$ в *град*) грунтов, залегающих ниже подошвы фундамента в пределах $\frac{d}{4}$; принимаются по табл. 2;

$Q_ф^н$ — собственный вес фундамента (нормативный) в *тс*;

$Q_{гр}^н$ — вес грунта на обрезах фундамента в *тс*;

Примечание. Нормативные давления при условии полного насыщения водой песков мелких принимаются с учетом коэффициента 0,8, а песков пылеватых — 0,6.

2.8. Нижнюю несущую плиту фундамента рассчитывают на прочность и раскрытие трещин от внешней нагрузки и реактивного давления грунта (статический расчет) и от воздействия температурного перепада по радиусу (термический расчет).

Влияние температурного перепада по высоте плиты учитывается увеличением площади арматуры, определяемой из статического расчета несущей плиты, на 10—15%.

В тех случаях, когда для доменной печи предусматривается устройство воздушного охлаждения низа лещади, температурные воздействия на плиту фундамента не учитываются.

2.9. Статический расчет плиты фундамента нужно производить:

а) По теории упругости с подбором сечений по I и III предельному состоянию железобетонных конструкций (несущая способность и раскрытие трещин).

При этом реактивное давление грунта на плиту находится по теории деформации сжимаемого слоя конечной толщины [10].

Цилиндрическая жесткость плиты находится по формуле

$$B_ц = \frac{(1-0{,}5\xi)H_0^2}{\left(1-\nu_б^2\right)\left(\frac{B\psi_а}{E_а F_а}+\frac{\psi_б}{\nu\xi H_0 E_б}\right)} \qquad (16)$$

с учетом трещин в растянутой зоне бетона и степени выключения его из работы между трещинами, а также с учетом пластических деформаций бетона в сжатой зоне.

Таблица 2

Коэффициенты A, B и D для определения нормативного давления на основание $R^н$ при подошвах фундаментов в виде многоугольника или круга большого диаметра ($d>15$ м)

Нормативные значения угла внутреннего трения $\varphi^н$ в *град*	Коэффициенты к формуле (15)		
	A	B	D
0	0	1	3,37
2	0,03	1,12	3,56
4	0,06	1,26	3,77
6	0,1	1,42	4
8	0,15	1,6	4,25
10	0,2	1,8	4,51
12	0,26	2,02	4,81
14	0,32	2,28	5,12
16	0,39	2,56	5,46
18	0,47	2,9	5,84
20	0,57	3,38	6,25
22	0,68	3,71	6,71
24	0,8	4,21	7,2
26	0,94	4,78	7,75
28	1,11	5,45	8,36
30	1,3	6,2	9
32	1,55	7,19	9,8
34	1,79	8,18	10,64
36	2,11	9,43	11,61
38	2,5	10,98	12,78
40	2,93	12,7	13,95
42	3,46	14,86	15,39
44	4,11	17,7	17,04
45	4,49	18,96	17,96

Примечание. Коэффициенты A, B, D для круглых фундаментов приведены в работе [8].

В связи с изменением высоты и армирования плиты жесткость ее в разных сечениях имеет различное значение, однако для расчета цилиндрическая жесткость плиты по всей ее площади принимается с некоторым приближением постоянной (усредненной).

Усредненную (цилиндрическую) жесткость плиты $B_ц^{уср}$ определяют по формуле

$$B_{\text{ц}}^{\text{уср}} = \frac{\Sigma B_{\text{ц}\,i}\left(d_{\text{н}\,i}^2 - d_{\text{в}\,i}^2\right)}{d^2}, \qquad (17)$$

где $B_{\text{ц}\,i}$ — цилиндрическая жесткость отдельных участков (колец и цилиндра) плиты, определяемая по формуле (16), в *тсм*²;

$d_{\text{н}i}$ — наружный диаметр *i*-го кольца в *м*;

$d_{\text{в}i}$ — внутренний диаметр *i*-го кольца (для цилиндра $d_{\text{в}i}=0$) в *м*;

значения величин ξ, $\psi_{\text{а}}$, $\psi_{\text{б}}$, d в формулах (16) и (17) оговорены ранее;

$\nu_{\text{б}}$ — коэффициент Пуассона для железобетона, равный 0,15;

ν — коэффициент упругости, принимаемый по п. 9.7 СНиП II-В.1-62*.

б) По методу предельного равновесия, предложенному д-ром техн. наук проф. Гвоздевым А. А. [6].

Предельным состоянием любого сечения плиты является возникновение в результате развития кольцевых и радиальных трещин пластических шарниров (цилиндрических шарниров текучести) с постоянным предельным значением изгибающего момента.

Ниже приведены следующие три возможные схемы образования трещин (рис. 3):

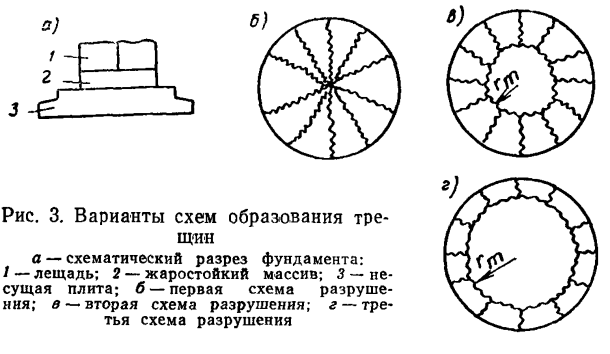


Рис. 3. Варианты схем образования трещин

а — схематический разрез фундамента: *1* — лещадь; *2* — жаростойкий массив; *3* — несущая плита; *б* — первая схема разрушения; *в* — вторая схема разрушения; *г* — третья схема разрушения

1) образование радиальных трещин, идущих от центра плиты к ее периферии (рис. 3,*б*):

2) образование на границе жаростойкого массива кольцевой трещины, а также радиальных трещин, идущих к периферии плиты (рис. 3,*в*);

3) образование трещин, аналогичных указанным в п. 2, но в месте изменения высоты плиты (на границе консоли) (рис. 3,*г*).

Первая схема является частным случаем второй и третьей схем, когда радиус кольцевой трещины обращается в нуль.

Цилиндрическую жесткость плиты определяют по формулам (16) и (17).

Для расчета плиты рекомендуемыми методами необходимо установить ее высоту и площадь, которые определяют предварительным расчетом, исходя из предположения, что эпюра реактивного давления грунта под подошвой плиты является прямолинейной с равномерным распределением давления от внешней нагрузки по всей площади основания. Принятые предварительным расчетом высота плиты, а также высота консоли у ее заделки проверяются на усилия, полученные из окончательного расчета.

2.10. Толщина сжимаемого слоя основания под подошвой фундаментной плиты Z' в соответствии со СНиП II-Б.1-62* определяется из условия:

$$P_{z'} = 0{,}2\,P_{бz'},$$

где $P_{бz'}$ — нормативное природное (бытовое) давление на глубине z' от подошвы фундамента;

$$P_{z'} = (P - P_б)\left[1 - \frac{m_1^3}{\sqrt{(m_1^2+1)^3}}\right], \qquad (18)$$

здесь $P_{z'}$ — дополнительное к природному давление в грунте от нормативных вертикальных нагрузок на глубине z' от подошвы фундамента в *кгс/см²*;

P — среднее давление от $\Sigma N^н + Q_ф^н + Q_{гр}^н$ на уровне подошвы фундамента в *кгс/см²*;

$P_б$ — нормативное природное (бытовое) давление на уровне подошвы фундамента в *кгс/см²*; $P_б = \gamma h_0$ (γ — объемный вес грунта; h_0 — расстояние от природного рельефа или уровня планировки срезкой до подошвы фундамента).

m_1 — безразмерный коэффициент, равный $\frac{z'}{r}$.

С достаточной точностью для круглых фундаментных плит большого диаметра ($d \geqslant 15$ *м*) толщину сжимаемого слоя основания под подошвой плиты фундамента можно принимать:

для глинистых грунтов $z' = \frac{d}{2}$ и (19)

для песчаных грунтов $z' = \frac{d}{3}$. (20)

2.11. Модуль деформаций основания $E_{гр}$ определяется путем испытания грунтов штампами. В некоторых случаях допускается определять модуль деформации по табл. 13 СНиП II-Б.1-62* в зависимости от простейших свойств грунтов.

2.12. Статический расчет плиты фундамента по теории упругости выполняется в следующей последовательности:

А. Находится показатель гибкости плиты по формуле

$$S = 3\,\frac{\left(1-\nu_б^2\right)}{\left(1-\nu_{гр}^2\right)}\cdot\frac{m\,E_{гр}\,r^3}{E_б\,H^3}, \qquad (21)$$

где r — радиус плиты в *м*;

H — наибольшая толщина плиты в *м*;

$E_б$ — модуль упругости железобетона в *тс/м*^{2};

$\nu_б$ — коэффициент Пуассона для железобетона, равный 0,15;

$E_{гр}$ — модуль деформаций грунта в *тс/м*^{2};

$\nu_{гр}$ — коэффициент Пуассона для грунта;

m — коэффициент условий работы основания; под фундаментами круглого очертания в плане с $d \geqslant 15$ *м* $m=2$.

При $0<S<0{,}5$ плита рассчитывается как абсолютно жесткая; при $0{,}5<S<10$ плита рассчитывается как имеющая конечную жесткость; при $S>10$ плита считается абсолютно гибкой и рассчитывается (для фундаментов доменных печей это практически исключено) по особым условиям.

В соответствии с полученным показателем гибкости определяются расчетные усилия в изотропной плите для первого предельного состояния. Исходя из этих усилий, подбирается необходимое количество арматуры (предварительно).

Б. Вновь находится показатель гибкости плиты по формуле

$$S = \frac{m E_{гр} r^3}{\left(1 - \nu_{гр}^2\right) 4 B_{ц}^{уср}}. \qquad (22)$$

В соответствии с полученным (новым) показателем гибкости определяются расчетные усилия в плите:

по расчетным нагрузкам для расчета по первому предельному состоянию;

по нормативным нагрузкам для расчета по третьему предельному состоянию.

В. Выполняется расчет плиты по несущей способности (первое предельное состояние).

Г. Выполняется расчет плиты по раскрытию трещин (третье предельное состояние).

Жесткие ограничения СНиП по допускаемой величине раскрытия трещин требуют повышенного содержания арматуры.

Этому требованию в большинстве случаев удовлетворяет количество арматуры, подобранное по усилиям, определенным предварительно от расчетных нагрузок для первого предельного состояния, несмотря на значительное превышение этих усилий над усилиями от нормативных нагрузок для третьего предельного состояния.

2.13. Расчет абсолютно жесткой плиты ведется на осесимметричную нагрузку:

а) интенсивностью q, равномерно распределенную по кругу с радиусом $r_{кр}$;

б) интенсивностью $q_к$, равномерно распределенную по кольцу с наружным $r_к^н$ и внутренним $r_к^в$ радиусом.

Действительные расстояния от центра плиты до рассматриваемого сечения r_x заменяются приведенными $\rho = \frac{r_x}{r}$. Аналогично вводятся приведенные радиусы для нагрузок по кругу $\alpha = \frac{r_{кр}}{r}$ и по кольцу $\alpha_1 = \frac{r_к^н}{r}$ — наружный радиус, $\alpha_2 = \frac{r_к^в}{r}$ — внутренний радиус.

Реактивные давления под абсолютно жесткой плитой радиуса r, лежащей на сжимаемом основании толщиной z', не зависят от способа приложения осесимметричной нагрузки и могут быть определены по формуле

$$P^р = \bar{p}\, q_{ср}^р, \qquad (23)$$

где $\bar{p}$ — безразмерный коэффициент, определяемый по

табл. 3 для точек плиты с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ в зависимости от отношения $m_1 = \frac{2z'}{d}$;

$q^{\text{р}}_{\text{ср}}$ — среднее давление от расчетных внешних нагрузок на плиту в *тс/м*^{2}, равное $\frac{\Sigma N^{\text{р}}}{F}$ [12].

Изгибающие моменты в абсолютно жесткой плите радиуса r, лежащей на сжимаемом основании толщиной z' и нагруженной нагрузкой интенсивностью $q^{\text{р}}$ (от расчетных внешних нагрузок), равномерно распределенной по кругу радиуса $r_{\text{кр}}$, находятся по формулам:

радиальные $$M_r = r^2 q^{\text{р}} \overline{M}_r, \tag{24}$$

тангенциальные $$M_t = r^2 q^{\text{р}} \overline{M}_t \tag{25}$$

В этих формулах:

$\overline{M}_r$ и $\overline{M}_t$ — безразмерные величины, определяемые по табл. 4—7, для точек плиты с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ в зависимости от отношения $m_1 = \frac{2z'}{d}$ и приведенного радиуса $\alpha = \frac{r_{\text{кр}}}{r}$ круга, по которому действует равномерно распределенная нагрузка интенсивностью $q^{\text{р}}$ [13].

Примечания 1. В случаях когда отношение m_1 меняется в пределах $1 < m_1 < 3$, усилия в жесткой плите можно определить с помощью табл. 7 ($m_1 = \infty$), уменьшая полученные значения в среднем на 15%.

2. Изменение m_1 в интервале $3 < m_1 \leqslant \infty$ на значениях усилий практически не сказывается.

Поперечные силы в абсолютно жесткой плите радиуса r, лежащей на сжимаемом основании толщиной z' и нагруженной нагрузкой интенсивностью $q^{\text{р}}$ (от расчетных внешних нагрузок), равномерно распределенной по кругу радиуса $r_{\text{кр}}$, находятся по формуле

$$Q = -q^{\text{р}} r \overline{Q}, \tag{26}$$

где $\overline{Q}$ — безразмерная величина, определяемая по табл. 8—11, для точек плиты с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ в зависимости от отношения

$m_1 = \frac{2z'}{d}$ и приведенного радиуса $\alpha = \frac{r_{кр}}{r}$ круга, по которому действует равномерно распределенная нагрузка интенсивностью q^p.

Таблица 3

Значения коэффициентов ρ для определения реактивных давлений от грунта под абсолютно жесткими плитами

ρ \ m_1	0,25	0,5	1	1,5	2	3	5	7	10	∞
0	0,931	0,874	0,697	0,596	0,549	0,516	0,504	0,501	0,501	0,5
0,1	0,931	0,873	0,697	0,597	0,551	0,519	0,506	0,504	0,503	0,502
0,2	0,93	0,867	0,698	0,601	0,557	0,526	0,514	0,511	0,511	0,512
0,3	0,928	0,859	0,7	0,609	0,567	0,539	0,528	0,525	0,525	0,524
0,4	0,924	0,848	0,704	0,621	0,584	0,559	0,549	0,547	0,546	0,545
0,5	0,92	0,836	0,713	0,641	0,61	0,589	0,58	0,578	0,578	0,577
0,6	0,911	0,826	0,73	0,674	0,65	0,634	0,627	0,626	0,625	0,625
0,7	0,901	0,824	0,764	0,729	0,716	0,706	0,702	0,701	0,7	0,7
0,8	0,895	0,846	0,839	0,834	0,834	0,834	0,834	0,833	0,833	0,833
0,85	0,901	0,882	0,913	0,931	0,94	0,946	0,948	0,949	0,949	0,949
0,9	0,931	0,964	1,05	1,1	1,123	1,139	1,145	1,146	1,146	1,147
0,95	1,056	1,198	1,391	1,502	1,55	1,582	1,597	1,6	1,6	1,601

Таблица 4

Значения $\overline{M}_r$ и $\overline{M}_t$ для абсолютно жестких плит при $m_1 = 0{,}25$

α \ ρ	0	0,2		0,4		0,6		0,8		1	
	$\overline{M}_r = \overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$
0,1	0,007	0,003	0,005	0,001	0,003	0	0,002	0	0,002	0	0,001
0,2	0,021	0,014	0,018	0,005	0,012	0,001	0,008	0	0,006	0	0,004
0,3	0,037	0,03	0,034	0,013	0,025	0,004	0,017	0	0,012	0	0,009
0,4	0,052	0,046	0,049	0,025	0,039	0,008	0,028	0,001	0,02	0	0,015
0,5	0,064	0,058	0,061	0,04	0,053	0,014	0,039	0,002	0,028	0	0,022
0,6	0,071	0,066	0,069	0,05	0,061	0,023	0,049	0,003	0,036	0	0,027
0,7	0,072	0,069	0,07	0,054	0,064	0,033	0,053	0,006	0,04	0	0,03
0,8	0,064	0,06	0,062	0,051	0,058	0,035	0,05	0,011	0,039	0	0,029
0,9	0,046	0,044	0,045	0,038	0,042	0,028	0,037	0,013	0,031	0	0,023
1	0,016	0,015	0,015	0,013	0,015	0,01	0,013	0,005	0,011	0	0,008

Таблица 5

Значения $\overline{M}_r$ и $\overline{M}_t$ для абсолютно жестких плит при $m_1 = 0{,}5$

α \ ρ	0	0,2		0,4		0,6		0.8		1	
	$\overline{M}_r = \overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$
0,1	0,008	0,003	0,005	0,001	0,003	0	0,002	0	0,002	0	0,001
0,2	0,022	0,014	0,018	0,005	0,012	0,002	0,008	0	0,006	0	0,005
0,3	0,038	0,031	0,035	0,014	0,026	0,004	0,018	0	0,013	0	0,01
0,4	0,054	0,048	0,051	0,027	0,041	0,009	0,029	0,001	0,021	0	0,016
0,5	0,063	0,061	0,064	0,043	0,055	0,016	0,042	0,003	0,03	0	0,023
0,6	0,076	0,07	0,073	0,054	0,065	0,027	0,052	0,005	0,038	0	0,029
0,7	0,078	0,073	0,075	0,06	0,069	0,037	0,058	0,009	0,043	0	0,032
0,8	0,072	0,068	0,07	0,058	0,065	0,04	0,058	0,014	0,044	0	0,032
0,9	0,056	0,054	0,054	0,047	0,051	0,034	0,045	0,017	0,036	0	0,027
1	0,029	0,027	0,027	0,024	0,025	0,018	0,022	0,009	0,018	0	0,013

Таблица 6

Значения $\overline{M}_r$ и $\overline{M}_t$ для абсолютно жестких плит при $m_1=1$

α \ ρ	0	0,2		0,4		0,6		0,8		1	
	$\overline{M}_r=\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$
0,1	0,008	0,003	0,005	0,001	0,003	0	0,002	0	0,002	0	0,001
0,2	0,023	0,015	0,019	0,006	0,013	0,002	0,009	0	0,007	0	0,005
0,3	0,041	0,033	0,037	0,015	0,028	0,005	0,02	0,001	0,014	0	0,011
0,4	0,058	0,051	0,055	0,03	0,045	0,011	0,032	0,002	0,024	0	0,018
0,5	0,073	0,067	0,07	0,047	0,061	0,019	0,046	0,004	0,034	0	0,026
0,6	0,084	0,079	0,081	0,06	0,073	0,031	0,059	0,007	0,044	0	0,033
0,7	0,089	0,084	0,087	0,068	0,079	0,042	0,067	0,011	0,051	0	0,038
0,8	0,087	0,082	0,085	0,07	0,078	0,047	0,068	0,017	0,053	0	0,04
0,9	0,075	0,071	0,073	0,061	0,068	0,043	0,06	0,02	0,049	0	0,036
1	0,051	0,049	0,05	0,042	0,047	0,03	0,041	0,014	0,033	0	0,025

Таблица 7

Значения $\overline{M}_r$ и $\overline{M}_t$ для абсолютно жестких плит при $m_1=\infty$

α \ ρ	0	0,2		0,4		0,6		0,8		1	
	$\overline{M}_r=\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$	$\overline{M}_r$	$\overline{M}_t$
1	0,008	0,004	0,005	0,002	0,004	0,001	0,003	0	0,002	0	0,001
0,2	0,024	0,016	0,02	0,007	0,014	0,003	0,01	0	0,007	0	0,005
0,3	0,043	0,035	0,039	0,017	0,029	0,006	0,021	0,001	0,015	0	0,012
0,4	0,062	0,054	0,058	0,033	0,048	0,012	0,035	0,003	0,026	0	0,02
0,5	0,079	0,072	0,075	0,051	0,066	0,021	0,05	0,005	0,037	0	0,028
0,6	0,092	0,086	0,089	0,066	0,08	0,035	0,065	0,008	0,048	0	0,037
0,7	0,1	0,094	0,097	0,076	0,089	0,047	0,075	0,012	0,057	0	0,043
0,8	0,101	0,095	0,098	0,08	0,091	0,054	0,078	0,019	0,062	0	0,046
0,9	0,093	0,088	0,09	0,074	0,084	0,052	0,073	0,023	0,059	0	0,044
1	0,074	0,07	0,072	0,058	0,066	0,04	0,058	0,018	0,046	0	0,035

Таблица 8

Значения $\overline{Q}$ для абсолютно жестких плит при $m_1=0{,}25$

α \ ρ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,1	0	0,024	0,011	0,006	0,003	0
0,2	0	0,096	0,043	0,022	0,01	0
0,3	0	0,092	0,096	0,05	0,023	0
0,4	0	0,085	0,17	0,089	0,042	0
0,5	0	0,077	0,154	0,139	0,065	0
0,6	0	0,067	0,133	0,2	0,094	0
0,7	0	0,054	0,109	0,164	0,127	0
0,8	0	0,04	0,081	0,123	0,166	0
0,9	0	0,025	0,05	0,076	0,104	0
1	0	0,007	0,014	0,023	0,035	0

Таблица 9

Значения $\bar{Q}$ для абсолютно жестких плит при $m_1=0{,}5$

α \ ρ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,1	0	0,024	0,011	0,006	0,003	0
0,2	0	0,096	0,043	0,023	0,012	0
0,3	0	0,102	0,097	0,052	0,026	0
0,4	0	0,086	0,172	0,093	0,046	0
0,5	0	0,078	0,157	0,145	0,072	0
0,6	0	0,069	0,138	0,208	0,104	0
0,7	0	0,057	0,116	0,176	0,142	0
0,8	0	0,044	0,07	0,138	0,185	0
0,9	0	0,029	0,061	0,094	0,128	0
1	0	0,013	0,028	0,046	0,064	0

Таблица 10

Значения $\bar{Q}$ для абсолютно жестких плит при $m_1=1$

α \ ρ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,1	0	0,024	0,011	0,006	0,003	0
0,2	0	0,097	0,044	0,025	0,013	0
0,3	0	0,094	0,1	0,056	0,03	0
0,4	0	0,089	0,178	0,1	0,054	0
0,5	0	0,083	0,166	0,156	0,083	0
0,6	0	0,075	0,15	0,224	0,12	0
0,7	0	0,066	0,133	0,197	0,164	0
0,8	0	0,056	0,111	0,166	0,214	0
0,9	0	0,044	0,088	0,13	0,164	0
1	0	0,031	0,069	0,09	0,109	0

Таблица 11

Значения $\bar{Q}$ для абсолютно жестких плит при $m_1=\infty$

α \ ρ	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1
0,1	0	0,024	0,011	0,007	0,004	0
0,2	0	0,098	0,046	0,027	0,015	0
0,3	0	0,095	0,103	0,06	0,034	0
0,4	0	0,092	0,183	0,107	0,06	0
0,5	0	0,087	0,174	0,166	0,094	0
0,6	0	0,082	0,162	0,24	0,135	0
0,7	0	0,075	0,149	0,218	0,183	0
0,8	0	0,068	0,133	0,193	0,24	0
0,9	0	0,059	0,115	0,165	0,197	0
1	0	0,049	0,096	0,133	0,15	0

Таблица 12

Значения коэффициентов k_2 для определения $\overline{P'}$

s \ m_1	Значения коэффициента k_2							
	0,1	0,25	0,5	1	2	3	5	∞
0,5	1	0,96	0,88	0,68	0,45	0,38	0,35	0,35
1	1	0,97	0,89	0,71	0,54	0,49	0,48	0,47
2	1	0,98	0,92	0,77	0,65	0,61	0,6	0,6
3	1	0,98	0,93	0,81	0,71	0,69	0,68	0,67
5	1	0,99	0,95	0,86	0,79	0,78	0,77	0,77
10	1	0,99	0,97	0,92	0,88	0,87	0,87	0,87

Таблица 13

Значения коэффициентов $\overline{P'}$ для определения реактивных давлений от грунта под плитами конечной жесткости

ρ \ k_2	Значения $\overline{P'}$								
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0	0,503	0,513	0,531	0,556	0,589	0,633	0,69	0,763	0,859
0,1	0,506	0,516	0,533	0,558	0,591	0,635	0,691	0,763	0,859
0,2	0,513	0,523	0,54	0,564	0,596	0,639	0,694	0,765	0,86
0,3	0,527	0,536	0,552	0,575	0,606	0,677	0,7	0,769	0,862
0,4	0,548	0,557	0,571	0,592	0,621	0,659	0,709	0,774	0,864
0,5	0,58	0,587	0,6	0,618	0,644	0,678	0,723	0,784	0,868
0,6	0,627	0,633	0,643	0,658	0,679	0,707	0,745	0,798	0,874
0,7	0,701	0,705	0,712	0,722	0,736	0,756	0,783	0,824	0,885
0,8	0,833	0,834	0,836	0,838	0,841	0,847	0,857	0,875	0,91
0,85	0,948	0,947	0,944	0,941	0,936	0,932	0,927	0,926	0,936
0,9	1,145	1,14	1,132	1,12	1,103	1,081	1,054	1,022	0,988
0,95	1,597	1,586	1,566	1,537	1,496	1,442	1,369	1,272	1,138

Изгибающие моменты и поперечные силы в абсолютно жесткой плите, лежащей на сжимаемом основании толщиной z' и нагруженной нагрузкой интенсивностью q^p (от расчетных внешних нагрузок), равномерно распределенной по кольцу с радиусами $r_к^н$ и $r_к^в$, определяются как разность соответствующих усилий от нагрузок, действующих по кругам с приведенными радиусами $\alpha_1 = \frac{r_к^н}{r}$ и $\alpha_2 = \frac{r_к^в}{r}$.

2.14. Расчет плиты конечной жесткости, лежащей на сжимаемом слое конечной толщины, производится по теории упругости.

Определение расчетных усилий в плите (M_r, M_t и Q) от равномерно распределенной нагрузки по кругу и кольцу выполняется с применением к основанию теории упругого полупространства в соответствии с приложением 6 путем решения системы шести уравнений.

В этот расчет вводится увеличенный модуль деформаций основания $E^{у}_{гр}$, определяемый из условия равенства средней осадки нагруженной площади поверхности полупространства и упругого слоя конечной толщины по формуле

$$E^{у}_{гр} = m E_{гр} \frac{\omega'_{ср}}{\omega_{ср}}, \qquad (27)$$

где $E_{гр}$ — модуль деформации, определяемый согласно указаниям п. 2.11;

$\omega_{ср}$ — коэффициент, определяемый для круга по приложению 7, в зависимости от отношения толщины z' сжимаемого слоя грунта к радиусу плиты r, т. е. от $\frac{z'}{r}$;

m — коэффициент условий работы основания; под фундаментами круглого очертания в плане с диаметром >15 *м* $m=2$;

$\omega'_{ср}$ — тот же коэффициент при бесконечной толщине сжимаемого слоя грунта, т. е. при $\frac{z'}{r}=\infty$ (см. приложение 7).

Реактивное давление под плитой конечной жесткости радиуса r, лежащей на сжимаемом основании толщиной z' и нагруженной равномерно распределенной нагрузкой интенсивностью $q^{р}_{ср}$ (от расчетных внешних нагрузок), определяется по формуле

$$p^{р} = \overline{P}' q^{р}_{ср}, \qquad (28)$$

где $\overline{P}'$ — безразмерная величина, определяемая по табл. 13 для точек плиты с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ в зависимости от параметра k_2, который, в свою очередь, находится по табл. 12 в зависимости от показателя гибкости плиты S и отношения $m_1 = \frac{2z'}{d}$.

2.15. Статический расчет плиты по методу предельного равновесия выполняется следующим образом. Распределение реактивного давления грунта принимается в соответствии с эпюрой, полученной по теории упругости из расчета плиты, лежащей на сжимаемом основании конечной толщины, по формулам (23) и (28).

Криволинейная эпюра в целях упрощения расчета заменяется эквивалентной ступенчатой эпюрой с различной интенсивностью реактивных давлений в пределах средней и крайних зон. При этом в пределах каждой из двух зон плиты распределение давления грунта принимают равномерным (рис. 4).

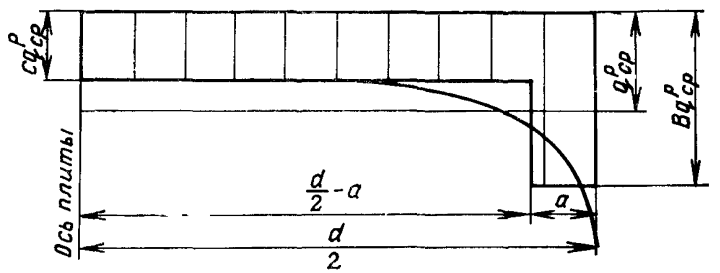


Рис. 4. Эпюра реактивных давлений грунта при расчете фундаментных плит по методу предельного равновесия

Ординаты реактивного давления крайних и средних зон плиты обозначаются соответственно через Bq^{p}_{cp} и cq^{p}_{cp}(где $q^{p}_{cp} = \frac{\Sigma N^{p}}{F}$ в $тс/м^2$) и из условия равновесия плиты определяется ширина каждой зоны:

$$\frac{q^{p}_{cp}\,\pi\,d^2}{4} = \frac{c\,q^{p}_{cp}\,\pi\,(d-2a)^2}{4} + \frac{b\,q^{p}_{cp}\,\pi\,[d^2-(d-2a)^2]}{4},$$

откуда

$$(d-2a) = d\sqrt{\frac{b-1}{b-c}} = d\,k_3 = 2\,r\,k_3, \qquad (29)$$

где k_3 — величина $\sqrt{\frac{b-1}{b-c}}$,

$(d-2a)$ — диаметр средней зоны с равномерно распределенным давлением, равным cq^{p}_{cp}, в *м*;

d — наружный диаметр несущей плиты в *м*.

Длина крайней зоны

$$a = \frac{d\,(1 - k_3)}{r} = r\,(1 - k_3). \qquad (30)$$

В ступенчатой эпюре реактивного давления ордината средней зоны $cq^{\text{р}}_{\text{ср}}$ принимается равной давлению, найденному в центре плиты.

В крайних зонах с учетом местных пластических деформаций под краями фундамента (см. СНиП II-Б.1-62*, пп. 5.10 и 5.14) интенсивность реактивного давления принимается равной давлению, полученному в точках плиты, находящихся на расстоянии 0,95 ρ от центра плиты, но не более $R_{\text{н}}$ по формуле (15).

С образованием пластических шарниров в кольцевом и радиальном сечениях плита фундамента переходит в состояние предельного равновесия под действием внешних сил (активных и реактивных) и внутренних сил — предельных усилий текучести в арматуре.

Расчетные формулы для нахождения усилий в плите при различных схемах ее разрушения определены из условия равновесия внешних и внутренних сил.

Величину предельных моментов (погонных) $Tz = F_a R_a z$ определяют по следующим формулам.

1. Для разрушения плиты от излома ее посередине — образование радиальных трещин, идущих от центра плиты к ее периферии ($r_{\text{т}}=0$):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{\frac{q^{\text{р}}_{\text{ср}}}{3}\left[(c-b)\,k_3^3 r^3 + b r^3\right] - q_0\,\frac{r_0^3}{3} - \right.$$

$$\left. - \frac{q_{\text{э}}}{3}\,(r^3 - r_0^3) - P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2\right\}. \qquad (31)$$

2. Для разрушения плиты по образованной на границе жаростойкого массива кольцевой трещине и идущим от нее к периферии радиальным трещинам ($r_{\text{т}}=r_0$):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{\frac{q^{\text{р}}_{\text{ср}}}{6}\left[(c-b)\,(k_3 r)^2\,(2k_3 r - 3r_0) + c\,r_0^3 + \right.\right.$$

$$\left. + b r^2\,(2r - 3r_0)\right] - \frac{q_{\text{э}}}{6}\left[r^2\,(2r - 3r_0) + r_0^3\right] -$$

$$\left. - P_1 r_1\,(r_1 - r_0) - P_2 r_2\,(r_2 - r_0)\right\}. \qquad (32)$$

3. Для разрушения плиты по образованной на границе ее консоли кольцевой трещине и идущим от нее к периферии радиальным трещинам ($r_{\text{т}}=r_{\text{к}}$):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{ \frac{q_{ср}^{р}}{6}\left[(c-b)(k_3 r)^2 (2k_3 r - 3r_к) + c r_к^3 + \right.\right.$$

$$\left. + b r^2 (2r - 3r_к)\right] - \frac{q_э}{6}\left[r^2 (2r - 3r_к) + r_к^3\right] -$$

$$\left. - P_2 r_2 (r_2 - r_к)\right\}. \qquad (33)$$

Указанные обозначения приняты для конструкции плиты фундамента, представленной на рис. 5.

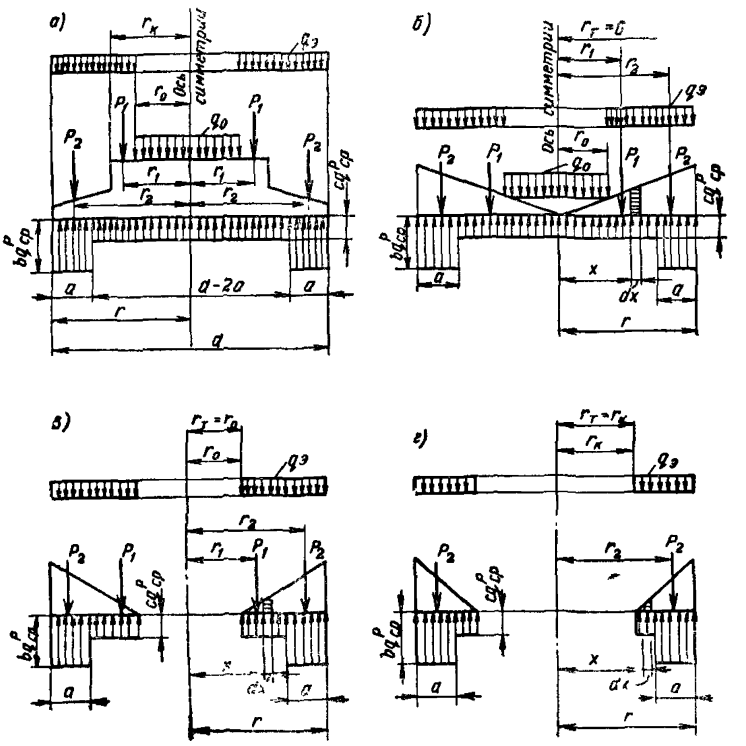


Рис. 5. Схематический разрез плиты фундамента доменной печи и схемы при расчете по методу предельного равновесия:

а — схематический разрез плиты фундамента с нагрузками; *б* — первая схема разрушения; *в* — вторая схема разрушения; *г* — третья схема разрушения

Через T обозначено усилие текучести в арматуре $F_а$ (радиальной или кольцевой) на единицу длины трещины (кольцевой или радиальной); при этом принято, что $T_r = T_t = T$; z — плечо внутренней пары; n — коэффициент перегрузки.

2.16. Определяемую статическим расчетом тангенциальную и радиальную арматуру заменяют для удобства армирования плиты плоскими сварными сетками, располагаемыми в двух взаимно перпендикулярных направлениях (приложение 1, рис. 10).

На рис. 6 представлена схема разбивки железобетонной плиты на зоны.

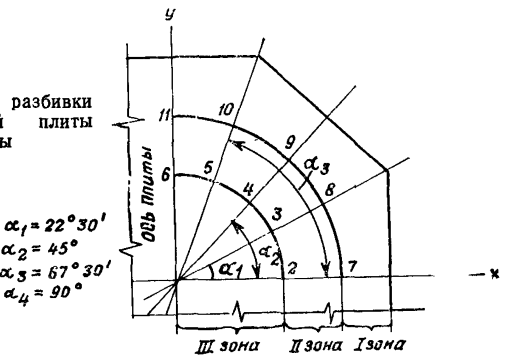


Рис. 6. Схема разбивки железобетонной плиты на зоны

Совмещая в этом случае рабочее направление арматуры сеток с осями координат, а их начало — с центром плиты фундамента, величины усилий, действующих в направлениях x и y укладки арматуры сеток, для любой точки определяют по следующим формулам.

Изгибающие моменты:

$$\left.\begin{aligned} M_x &= M_r \cos^2\alpha + M_t \sin^2\alpha; \\ M_y &= M_r \sin^2\alpha + M_t \cos^2\alpha. \end{aligned}\right\} \quad (34)$$

При $M_r = M_t = Tz$ получаем:

$$\left.\begin{aligned} M_x &= Tz(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha) = Tz; \\ M_y &= Tz(\sin^2\alpha + \cos^2\alpha) = Tz. \end{aligned}\right\} \quad (35)$$

Перерезывающие силы:

$$\left.\begin{aligned} Q_x &= Q_r \cos^2\alpha; \\ Q_y &= Q_r \sin^2\alpha. \end{aligned}\right\} \quad (36)$$

Возможно армирование по зонам со следующей разбивкой (рис. 7)

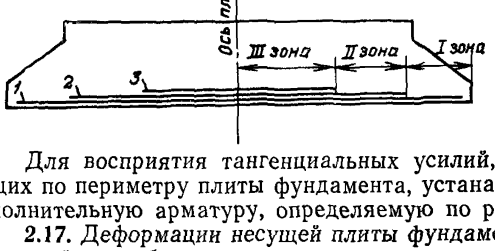
Пример армирования железобетонной плиты приведен в приложении 1.

I зона — от наружного края плиты до границы консоли;

II зона — от границы консоли до границы жаростойкого массива;

III зона — от границы жаростойкого массива до центра плиты.

Рис. 7. Схема армирования железобетонной плиты фундамента
1 — арматура I зоны; *2* — арматура II зоны; *3* — арматура III зоны



Для восприятия тангенциальных усилий, действующих по периметру плиты фундамента, устанавливают дополнительную арматуру, определяемую по расчету.

2.17. *Деформации несущей плиты фундамента* под нагрузкой от собственного веса в результате упругой податливости грунтов основания происходят одновременно с возведением плиты, благодаря чему возникающие в ней напряжения от собственного веса незначительны и ими практически можно пренебречь.

Вследствие этого при определении усилий в плите от внешней нагрузки и реактивного давления грунта собственный вес плиты не учитывают.

2.18. Ширина раскрытия вертикальных трещин в несущей плите от усилий, вызванных внешней статической нагрузкой (реактивным давлением грунта), определяется как для изгибаемых железобетонных элементов, в соответствии с указаниями СНиП II-В.1-62*.

Раскрытие трещин должно определяться при площади арматуры, полученной из статического расчета (без учета увеличения ее на 15%), так как данным расчетом не учитывается дополнительное раскрытие трещин, вызываемое температурным перепадом по высоте (см. п. **2.8**).

Наибольшая допустимая ширина раскрытия трещин равна 0,3 *мм*.

2.19. При проектировании фундамента доменной печи должна быть проверена расчетом величина его осадки, для чего необходимо руководствоваться указаниями СНиП II-Б.1-62*.

Средняя осадка фундамента, лежащего на сжимаемом основании толщиной z', определяется в соответствии с указаниями работы [9] по формуле (37). Этот метод является обобщением приема вычисления осадок, приведенного в СНиП II-Б.1-62*:

$$\Delta = \left[P\, d \sum_{i=1}^{i=n} \frac{K_i - K_{i-1}}{m\, E_i} \right] G, \qquad (37)$$

где P — среднее давление без вычета бытового под плитой фундамента в *кгс/см²*:

$$P = \frac{\Sigma N^{н} + Q^{н}_{ф} + Q^{н}_{гр}}{F}.$$

E_i — модуль деформации i-го слоя грунта в *кгс/см²*;

K_i — безразмерный коэффициент для i-го слоя грунта, который вычислен в зависимости от отношения $\frac{2z'}{d}$ и приведен в табл. 14;

Таблица 14

Значения коэффициентов K_i для определения осадок фундаментов

$\frac{2\,z_1}{d}$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	1,6	1,8
K	0	0,045	0,09	0,135	0,179	0,233	0,266	0,308	0,348	0,382
$\frac{2\,z_1}{d}$	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
K	0,437	0,461	0,482	0,501	0,517	0,532	0,546	0,558	0,568	0,579

G — поправочный коэффициент, учитывающий концентрацию напряжений в сжимаемом слое грунта; значения этого коэффициента даны в табл. 15.

m — коэффициент условий работы основания; под фундаментами круглого очертания в плане с диаметром >15 *м* $m=2$.

Средняя осадка фундамента, лежащего на сжимаемом основании толщиной z', может быть также определена в соответствии с указаниями работы [10] по упрощенной формуле:

$$\Delta = \frac{d\,P\,(1 - \nu^2_{гр})}{E_{ср}}\, V, \qquad (38)$$

Таблица 15

Значения коэффициентов G для определения осадок фундаментов

$0 < \frac{2z'}{d} \leqslant 0{,}5$	$G = 1{,}5$
$0{,}5 < \frac{2z'}{d} \leqslant 1$	$G = 1{,}4$
$1 < \frac{2z'}{d} \leqslant 2$	$G = 1{,}3$
$2 < \frac{2z'}{d} \leqslant 3$	$G = 1{,}2$
$3 < \frac{2z'}{d} \leqslant 5$	$G = 1{,}1$

где $E_{ср}$ — средний модуль деформации в *кгс/см²* грунтов, находящихся в пределах сжимаемой толщи основания z', вычисляемый по формуле

$$E_{ср} = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} m E_i h_i}{\Sigma h_i};$$

V — безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 16 в зависимости от отношения $m_1 = \frac{2z'}{d}$ для двух возможных вариантов условий на нижней границе сжимаемой толщи;

m — коэффициент условий работы основания; под фундаментами круглого очертания в плане с диаметром >15 *м* $m = 2$.

Первые значения коэффициента V относятся к случаю, когда сжимаемый слой грунта лежит на гладкой несжимаемой части основания. Вторые значения V' даны для случая полного прилипания сжимаемого слоя к несжимаемой части основания.

По-видимому, второй вариант граничных условий ближе к действительной работе основания. Однако первый вариант дает некоторый запас прочности конструкции.

Исходя из величины расчетной осадки фундамента устанавливают глубину его заложения, о чем в проекте должны быть даны соответствующие указания.

Таблица 16

Значения коэффициентов V и V' для определения осадок фундаментов по формуле (38)

m_1	V	V'
0,25	0,11	0,09
0,5	0,21	0,18
1	0,36	0,32
1,5	0,46	0,42
2	0,52	0,48
3	0,6	0,57
5	0,67	0,65
7	0,7	0,69
10	0,73	0,72
	0,79	0,79

Крен фундамента в соответствии с указаниями работы [11] определяется по формуле

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{2\left(1-\nu_{\text{гр}}^2\right)\Sigma N^{\text{н}} e}{d^3 E_{\text{ср}} W}, \qquad (39)$$

где $\Sigma N^{\text{н}}$ — полная односторонняя вертикальная расчетная нагрузка на основание в *кгс*;

$E_{\text{ср}}$ — средний модуль деформации в *кгс/см*^{2} грунтов, находящихся в пределах сжимаемой толщи основания z';

W — параметр, определяемый по табл. 17, в зависимости от отношения $\frac{2z'}{d}$;

e — расстояние от точки приложения нагрузок $\Sigma N^{\text{н}}$ до центра фундамента в *см*.

Таблица 17

Значения параметров W для определения крена фундаментов

$\frac{2z'}{d}$	0,25	0,5	1	2	∞
W	0,95	0,57	0,4	0,34	1/3=0,33

Осадки и крен фундамента, вычисленные по формулам (37)—(39), не должны превышать соответственно 30 *см* и 0,004 (см. СНиП II-Б.1-62*).

Если вычисленные осадки и крен фундаментов превышают допустимые величины, необходимо устройство свайных оснований. Расчет следует производить как для фундаментов на естественном основании с модулем деформации грунтов, находящихся ниже острия сваи.

3. МАТЕРИАЛЫ

3.1. Для выполнения несущей плиты фундамента доменной печи применяют обычный тяжелый бетон марки не ниже 200 на портландцементе марки не ниже 400 с заполнителями, отвечающими требованиям к составам 1 и 2 «Инструкции по технологии приготовления и применению жаростойких бетонов» (СН 156-67). Стройиздат, 1967 (см. также приложение 4).

3.2. Для жаростойкого массива фундаментов доменных печей применяют жаростойкий бетон марки 300 на портландцементе с шамотной тонкомолотой добавкой и с шамотным (мелким и крупным) заполнителем (состав 11, в указанной в предыдущем пункте Инструкции, а также в приложении 4).

Марка портландцемента должна быть не ниже 400.

Тонкость помола добавки должна быть такой, чтобы через сито № 009 (4900 *отв/см*^{2}) проходило не менее 70% материала.

В качестве мелкого и крупного шамотных заполнителей (песок и щебень) используют бой шамотных изделий, обладающих прочностью не ниже 150 *кгс/см*^{2}, из которого должны быть удалены посторонние примеси, ошлакованные и остеклованные части.

Примерный состав жаростойкого бетона и расход материалов в *кг* на 1 *м*^{3}

портландцемент	350
тонкомолотый шамот	120
шамотный песок	650
» щебень	750

При подборе состава жаростойкого бетона, его приготовлении и укладке руководствуются «Инструкцией по технологии приготовления и применению жаростойких бетонов» (СН 156-67). Стройиздат, 1967 (а также приложением 4).

3.3. Для набоек в фундаментах доменных печей применяют огнеупорную углеродистую массу по ЧМТУ 3596-53. «Масса углеродистая».

3.4. Для горизонтального шва между несущей железобетонной плитой фундамента и жаростойким массивом применяют жестко-пластичный раствор следующего состава (по объему): кварцевый чистый песок крупностью до 2 *мм* — 80—85%; огнеупорная глина — 20—15%.

3.5. Кольцевую арматуру жаростойкого массива и несущей плиты следует выполнять из арматурной стали класса А-II.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Общий вид и характер армирования фундамента печи объемом 3200 $м^3$

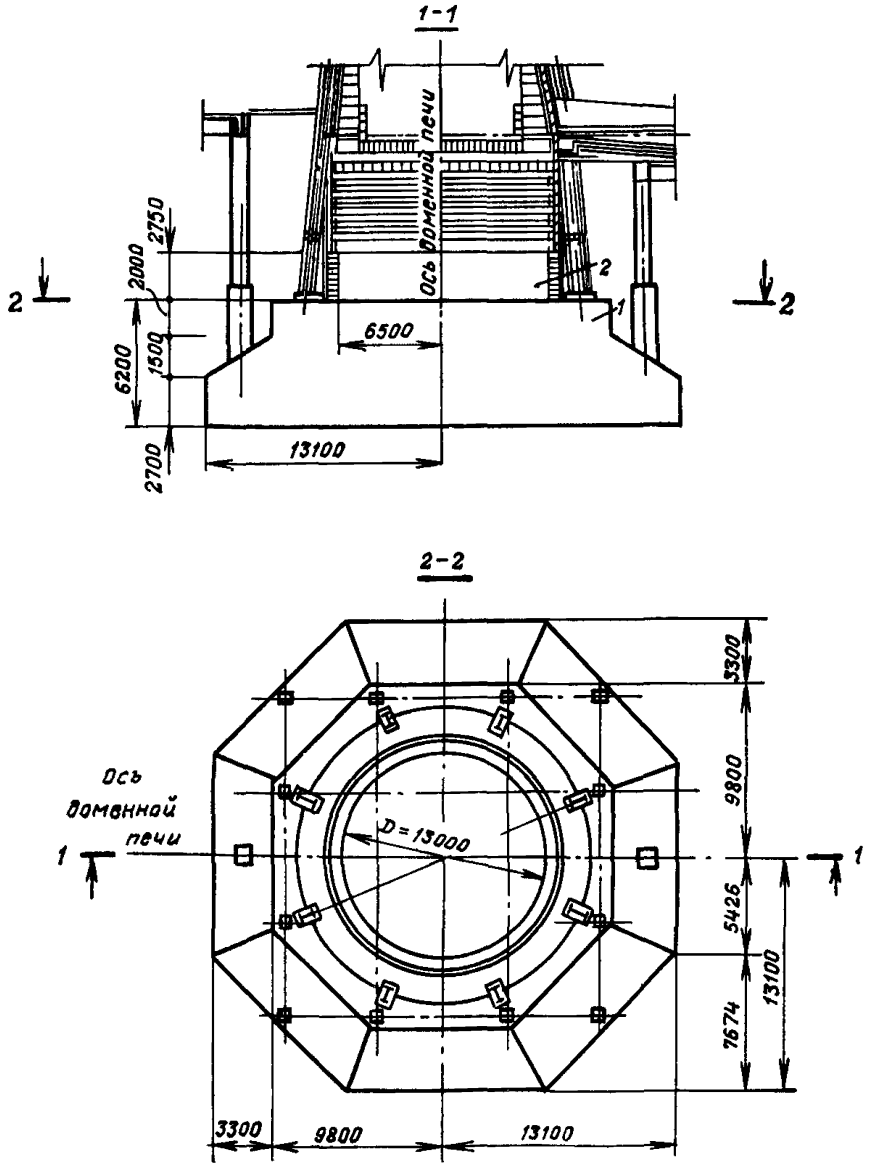


Рис. 8. Разрез и план фундамента доменной печи объемом 3200 $м^3$
1 — несущая железобетонная плита; *2* — массив из жаростойкого бетона

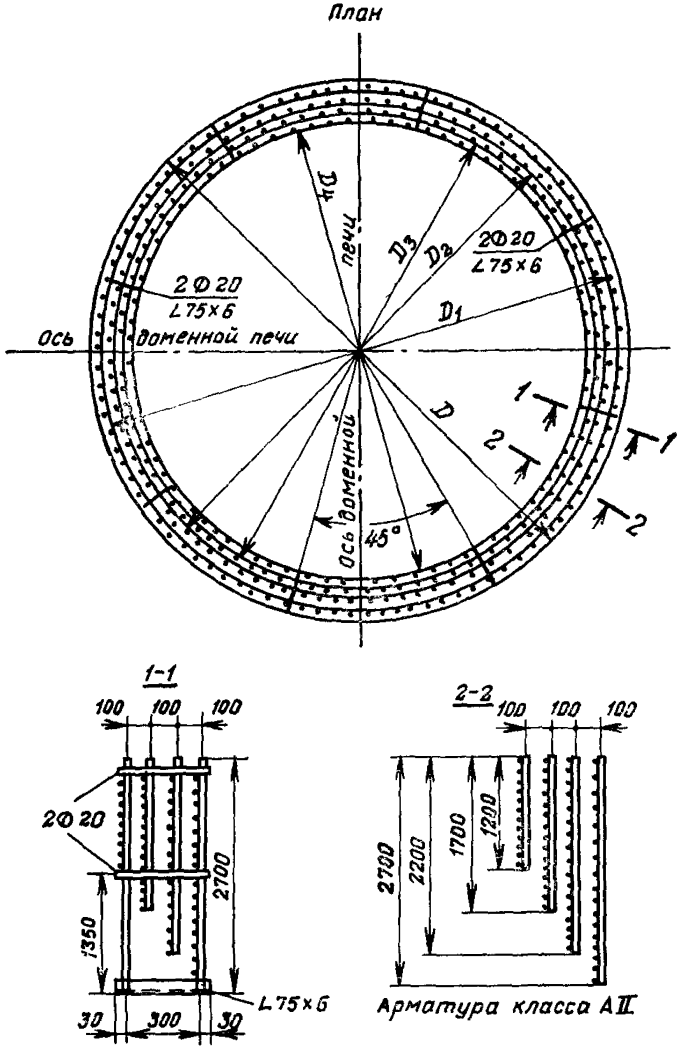


Рис. 9. Характер армирования жаростойкого массива

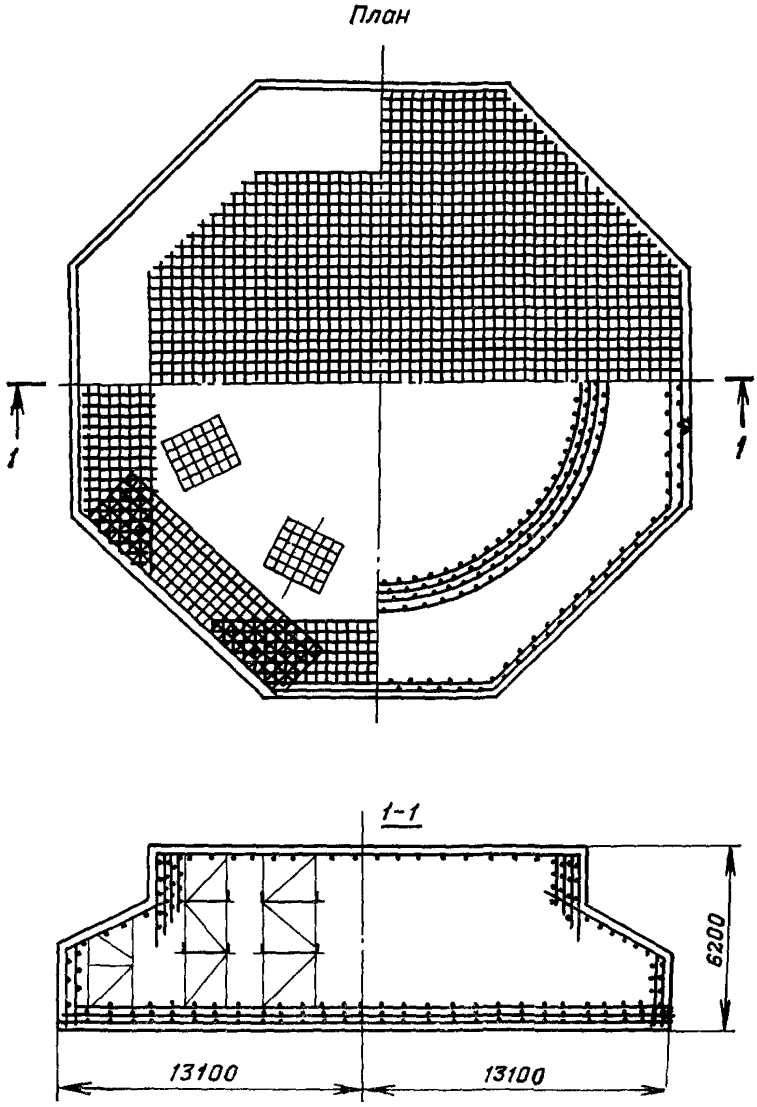


Рис. 10. Характер армирования несущей плиты фундамента (не изображена дополнительная арматура по периметру подошвы плиты, воспринимающая тангенциальные усилия)

Примеры расчетов жаростойкого массива и несущей плиты фундамента доменной печи на температурный перепад по радиусу

Пример 1. Расчет жаростойкого железобетонного массива фундамента. Воздушное охлаждение лещади снизу не предусмотрено.

Требуется определить площадь кольцевой арматуры на 1 *м* верхнего диска массива.

Задано: $r=670$ *см*, $r_0=645$ *см*. Бетон — жаростойкий, марки 300 на портландцементе с шамотными заполнителями, состав 11. Кольцевая арматура из стали класса А-II. Температурный перепад $\Delta t=500°$.

Из приложения 4 определяем:

$$E_б = 0{,}18 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2; \quad R_р^н = 21 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_и^н = 260 \text{ кгс/см}^2; \quad R_а = 2700 \text{ кгс/см}^2;$$

$$E_а = 2{,}1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2.$$

Коэффициент армирования принимаем равным 0,00425.

Для температуры, равной 0,85: $\Delta t = 0{,}85 \cdot 500 = 425°$, по табл. 1 определяем значения $\gamma_б$ и $\beta_б$: $\gamma_б = 0{,}74$; $\beta_б = 0{,}6$.

Относительную высоту сжатой зоны ξ определяем по формуле (6), предварительно вычислив значения коэффициентов *Ю*, *Л* и *И*

$$Ю = \frac{R_и^н \gamma_б}{m_t R_а} = \frac{260 \cdot 0{,}74}{0{,}85 \cdot 2700} = 0{,}084;$$

$$Л = \frac{E_а Ю}{E_б \beta_б} = \frac{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}084}{0{,}18 \cdot 10^6 \cdot 0{,}6} = 1{,}63;$$

$$И = 3{,}6 Л + \frac{0{,}2\ Ю}{\mu} + 1 = 3{,}6 \cdot 1{,}63 + \frac{0{,}2 \cdot 0{,}084}{0{,}00425} + 1 = 10{,}82;$$

$$\xi = И - \sqrt{И^2 - 4\ Л} = 10{,}82 - \sqrt{10{,}82^2 - 4 \cdot 1{,}63} = 0{,}3.$$

Изгибающий момент M определяем по формуле (2):

$$M = m_t \mu b\ r_0 R_а r_0\ (1 - 0{,}5\ \xi) = 0{,}85 \cdot 0{,}00425 \cdot 100 \cdot 645 \cdot 2700 \times$$
$$\times 645\ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}3) = 344{,}9 \cdot 10^6 \text{ кгс·см} = 3449 \text{ тс·м}.$$

Значение $M_{б.т}$ определяем по формуле (10) и значение $\psi_а$ — по формуле (9):

$$M_{б.т} = 0{,}234\ b r^2 \gamma_{б.р}\ R_р^н = 0{,}234 \cdot 100 \cdot 670^2 \cdot 0{,}75 \cdot 21 = 165{,}4 \times$$
$$\times 10^6 \text{ кгс·см} = 1654 \text{ тс·м};$$

$$\psi_а = 1{,}3 - S\ \frac{M_{б.т}}{M} = 1{,}3 - 1{,}1\ \frac{1654}{3449} = 0{,}77.$$

Вычисляем значение $\frac{r_0}{\rho_t}$, пользуясь формулой (8).

Для этого первоначально определяем по табл. 1 значение коэффициента $\alpha_{б.р}$ при $t=500°C$:

$$\alpha_{б.р} = 5{,}5 \cdot 10^{-6} \ 1/град.$$

$$\frac{r_0}{\rho_t} = 0{,}5 \ \alpha_{б.р} \ \Delta t = 0{,}5 \cdot 5{,}5 \cdot 10^{-6} \cdot 500 = 1375 \cdot 10^{-6}.$$

Температурный момент M_t определяем по формуле (7):

$$M_t = \frac{r_0}{\rho_t} \cdot \frac{r_0 \ (1 - 0{,}5 \ \xi)}{\frac{\psi_а}{E_а \mu \ b r_0} + \frac{\psi_б}{0{,}5 \ \xi \ b \ r_0 \ E_б \ \beta_б}} =$$

$$= 1375 \cdot 10^{-6} \ \frac{645 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}3)}{\frac{0{,}77}{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}00425 \cdot 100 \cdot 645} +} =$$

$$+ \frac{0{,}9}{0{,}5 \cdot 0{,}3 \cdot 100 \cdot 645 \cdot 0{,}18 \cdot 10^6 \cdot 0{,}6} =$$

$$= 1375 \ \frac{548{,}25}{0{,}001338 + 0{,}000861} = 342{,}8 \cdot 10^6 \ кгс \cdot см = 3428 \ тс \cdot м.$$

Проверяем условие по формуле (1):

$$M_t = 3428 \ тс \cdot м < M = 3449 \ тс \cdot м.$$

Определяем ширину раскрытия трещин.

Так как значение M_t отличается от M всего на

$$\frac{M - M_t}{M} \ 100 = \frac{3449 - 3428}{3449} \ 100 = 0{,}6\%,$$

$\sigma_{а\,t}$ определяем в зависимости от $M'_t = 0{,}9 \ M_t$:

$$\sigma_{а\,t} = \frac{0{,}9 \ M_t}{\mu \ b r_0^2 \ (1 - 0{,}5 \ \xi)} = \frac{0{,}9 \cdot 342\,800\,000}{0{,}00425 \cdot 100 \cdot 645^2 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}3)} =$$

$$= 2053 \ кгс/см^2;$$

$$\psi_а = 1{,}3 - S \ \frac{M_{б.т}}{0{,}9 \ M_t} = 1{,}3 - 1{,}1 \ \frac{1654}{0{,}9 \cdot 3428} = 0{,}71.$$

При арматуре диаметром 28 *мм*

$$U = \frac{d}{4} = \frac{28}{4} = 7 \ мм; \quad n = \frac{2{,}1 \cdot 10^6}{0{,}18 \cdot 10^6} = 11{,}7;$$

$$k_1 = \frac{0{,}32 + 1{,}54 \ \mu \ n}{\mu \ n \ (1 - 0{,}5 \ \xi)} - 2 = \frac{0{,}32 + 1{,}54 \cdot 0{,}00425 \cdot 11{,}7}{0{,}00425 \cdot 11{,}7 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}3)} - 2 =$$

$$= 9{,}38 - 2 = 7{,}38;$$

$$= k_1 \ n \ U \ \eta = 7{,}38 \cdot 11{,}7 \cdot 7 \cdot 0{,}7 = 423 \ мм;$$

$$a_т = \psi_а \frac{\sigma_{at}}{E_а} l_т = 0{,}71 \frac{2053}{2{,}1 \cdot 10^6} 423 = 0{,}3 \text{ мм} < 0{,}4 \text{ мм}.$$

Пример 2. Расчет несущей плиты фундамента.

Воздушное охлаждение лещади снизу не предусмотрено.

Требуется определить площадь кольцевой арматуры на 1 *м* верхнего диска плиты.

Задано: Радиус вписанной в многоугольник верхней части плиты окружности $r = 917$ *см*, $r_0 = 812$ *см*.

Бетон обычный марки 200; кольцевая арматура из стали класса А-II.

Температурный перепад $\Delta t = 250°$.

Из приложения 4 определяем:

$$E_б = 0{,}265 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2; \quad R_р^н = 16 \text{ кгс/см}^2;$$

$$R_и^н = 180 \text{ кгс/см}^2; \quad E_а = 2{,}1 \cdot 10^6 \text{ кгс/см}^2.$$

$$R_а = 2700 \text{ кгс/см}^2;$$

Значение коэффициента армирования принимаем равным 0,004.

Для температуры, равной $0{,}9\ \Delta t = 0{,}9 \cdot 250 = 225°$, по табл. 1 определяем значения $\gamma_б$, $\beta_б$: $\gamma_б = 0{,}65$; $\beta_б = 0{,}63$.

Относительную высоту сжатой зоны ξ определяем по формуле (6), предварительно вычислив значения коэффициентов *Ю*, *Л* и *И*:

$$Ю = \frac{R_и^н \gamma_б}{m_t R_а} = \frac{180 \cdot 0{,}65}{0{,}85 \cdot 2700} = 0{,}051;$$

$$Л = \frac{E_а Ю}{E_б \beta_б} = \frac{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}051}{0{,}265 \cdot 10^6 \cdot 0{,}63} = 0{,}64;$$

$$И = 3{,}6 Л + \frac{0{,}2 Ю}{\mu} + 1 = 3{,}6 \cdot 0{,}64 + \frac{0{,}2 \cdot 0{,}051}{0{,}004} + 1 = 2{,}3 + 2{,}55 + 1 = 5{,}85;$$

$$\xi = И - \sqrt{И^2 - 4Л} = 5{,}85 - \sqrt{5{,}85^2 - 4 \cdot 0{,}64} = 0{,}22.$$

Изгибающий момент M определяется по формуле (2):

$$M = m_t \mu b R_а r_0^2 (1 - 0{,}5 \xi) = 0{,}85 \cdot 0{,}004 \cdot 100 \cdot 812 \cdot 2700 \times 812 (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}22) = 538{,}7 \cdot 10^6 \text{ кгс·см} = 5387 \text{ тс·м}.$$

Значение $M_{б.т}$ определяем по формуле (10) и значение $\psi_а$ — по формуле (9):

$$M_{б.т} = 0{,}234 b r^2 \gamma_{б.р} R_р^н = 0{,}234 \cdot 100 \cdot 917^2 \cdot 0{,}75 \cdot 16 = 236{,}1 \times 10^6 \text{ кгс·см} = 2361 \text{ тс·м};$$

$$\psi_а = 1{,}3 - S \frac{M_{б.т}}{M} = 1{,}3 - 1{,}1 \frac{2361}{5387} = 0{,}82.$$

Значение $\frac{r_0}{\rho_t}$ вычисляем пользуясь формулой (8). Для этого первоначально по табл. 1 определяем значение коэффициента $\alpha_{б.t}$

$$\alpha_{б.t} = 11 \cdot 10^{-6} \ 1/град;$$

$$\frac{r_0}{\rho_t} = 0{,}5 \ \alpha_{б.t} \ \Delta t = 0{,}5 \cdot 11 \cdot 10^{-6} \cdot 250 = 1375 \cdot 10^{-6}.$$

Температурный момент определям по формуле (7):

$$M_t = \frac{r_0}{\rho_t} \cdot \frac{r_0 (1 - 0{,}5 \ \xi)}{\dfrac{\psi_а}{E_а \ \mu \ b r_0} + \dfrac{\psi_б}{0{,}5 \ \xi \ b r_0 E_б \ \beta_б}} = 1375 \cdot 10^{-6} \times$$

$$\times \frac{812 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}22)}{\dfrac{0{,}82}{2{,}1 \cdot 10^6 \cdot 0{,}004 \cdot 100 \cdot 812} + \dfrac{0{,}9}{0{,}5 \cdot 0{,}22 \cdot 100 \cdot 812 \cdot 0{,}265 \cdot 10^6 \cdot 0{,}63}} =$$

$$= 1375 \frac{722{,}68}{0{,}0012 + 0{,}0006} = 552 \cdot 10^6 \ кгс \cdot см = 5520 \ тс \cdot м.$$

Проверяем условие по формуле (1):

$$M_t = 5520 \ тс \cdot м \approx 5387 \ тс \cdot м.$$

Для проверки ширины раскрытия трещин по формуле (12) определяем значения $\sigma_{а t}$ и $\psi_а$ по формулам соответственно (13) и (9). При этом, поскольку M_t почти равно M, значение $\sigma_{а t}$ определяем в зависимости от $M_t' = 0{,}9 \ M_t$:

$$\sigma_{а \ t} = \frac{0{,}9 \ M_t}{\mu \ b \ r_0^2 (1 - 0{,}5 \ \xi)} = \frac{0{,}9 \cdot 552 \ 000 \ 000}{0{,}004 \cdot 100 \cdot 812^2 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}22)} =$$

$$= 2116 \ кгс/см^2;$$

$$\psi_а = 1{,}3 - S \ \frac{M_{б.т}}{M_t'} = 1{,}3 - 1{,}1 \ \frac{2361}{0{,}9 \cdot 5520} = 1{,}3 - 0{,}52 = 0{,}78;$$

При арматуре $\varnothing$ 32 *мм*:

$$U = \frac{d}{4} = \frac{32}{4} = 8 \ мм; \quad n = \frac{2{,}1 \cdot 10^6}{0{,}265 \cdot 10^6} = 7{,}98;$$

$$K_1 = \frac{0{,}32 + 1{,}54 \ \mu \ n}{\mu \ n \ (1 - 0{,}5 \ \xi)} - 2 = \frac{0{,}32 + 1{,}54 \cdot 0{,}004 \cdot 7{,}98}{0{,}004 \cdot 7{,}98 \ (1 - 0{,}5 \cdot 0{,}22)} - 2 =$$

$$= 10{,}99;$$

$$l_т = K_1 \ n \ U \ \eta = 10{,}99 \cdot 7{,}98 \cdot 8 \cdot 0{,}7 = 491 \ мм;$$

$$a_т = \psi_а \ \frac{\sigma_{а \ t}}{E_а} \ l_т = 0{,}78 \ \frac{2116}{2{,}1 \cdot 10^6} \ 491 = 0{,}39 \ мм < 0{,}4 \ мм.$$

Пример расчета несущей плиты фундамента под доменную печь

I. Исходные данные

1. Геометрические размеры фундаментной плиты и расположение нагрузок даны на рис. 11.

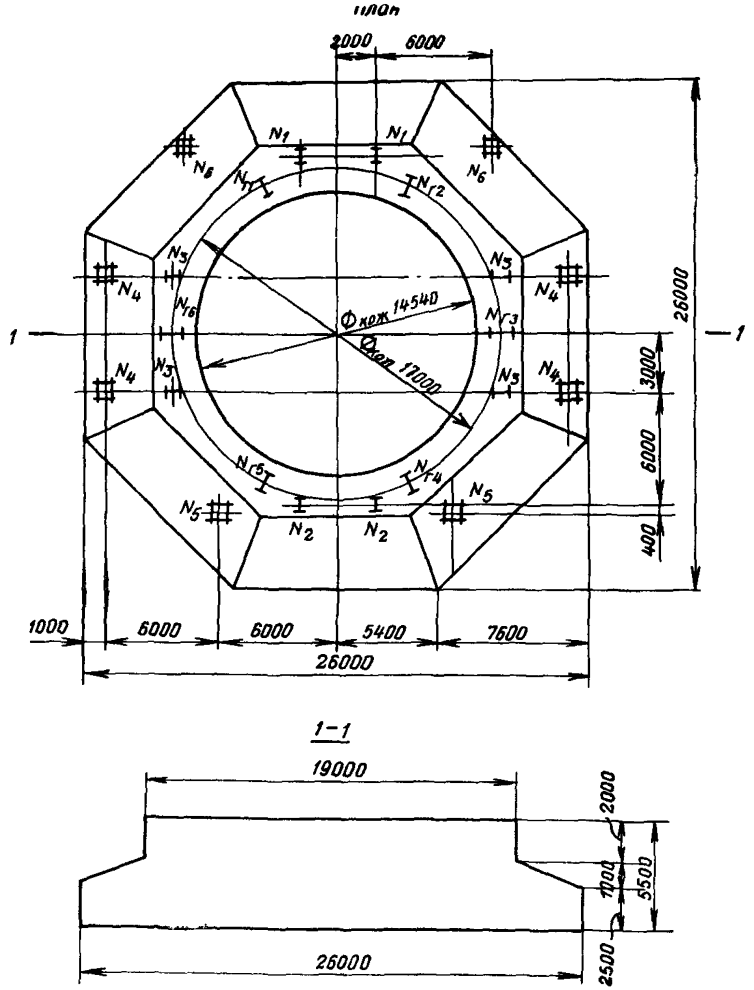


Рис. 11. Схема фундамента доменной печи

2. Нагрузки, действующие на фундаментную плиту, приведены в таблицах.

Обозначение нагрузки	Состав и наименование нагрузок	Нормативная нагрузка в *тс*	Коэффициент перегрузки	Расчетная нагрузка: суммарная в *тс*	Расчетная нагрузка: распределенная в *тс/м²*
q_0	Материалы и шихта . .	18 610	1,2	22 332	—
	Вес кожуха	1 800	1,1	1 980	—
	Вес жаростойкого бетона	938	1,2	1 126	—
	Итого, через лещадь . .	21 348		25 438	155
$q_э$	Эксплуатационная нагрузка на пол литейного двора и поддоменника в пределах площади основания фундамента	987	1,2	1 184	3
$N_г$	Через колонны горна .	7 220	1,15	8 300	—
N_1, N_2, N_3	Через колонны рабочей площадки	950	1,15	1 092	—
	Итого P_1	8 170		9 392	—
N_4, N_5, N_6,	Через колонны рабочей площадки. Итого P_2 . .	1 116	1,15	1 285	—
	Всего	$\Sigma N^н = 31\,621$		$\Sigma N^р = 37\,299$	—
$Q_ф$	Собственный вес фундамента	5 906	1,1	6 500	—

Нагрузка	N_1	N_2	N_3	N_4	N_5	N_6	$N_{г1}$, $N_{г2}$	$N_{г3}$, $N_{г6}$	$N_{г4}$, $N_{г5}$
Нормативная . . .	130	57	144	104	139	211	1305	1087	1217
Расчетная	149	67	165	120	159	243	1500	1250	1400

Все нагрузки приняты по заданию на проектирование доменной печи объемом 3200 $м^3$.

3. Расчетные характеристики материалов. Основание фундамента сложено из плотных мелкозернистых песков с включением гравия:

$$\nu_{гр} = 0{,}3; \quad \gamma = 1{,}8\ т/м^3; \quad \varphi^н = 36°;$$

$$C^н = 0{,}4\ тс/м^2; \quad E_{гр} = 3800\ тс/м^2.$$

Бетон марки 300:

$$R_и = 160\ кгс/см^2; \quad R_и^н = 260\ кгс/см^2; \quad R_р = 10{,}5\ кгс/см^2;$$

$$R_р^н = 21\ кгс/см^2; \quad \nu_б = 0{,}15; \quad E_б = 3{,}15 \cdot 10^5\ кгс/см^2.$$

Арматура класса А-II:

$$R_а = 2700\ кгс/см^2; \quad E_а = 2{,}1 \cdot 10^6\ кгс/см^2.$$

II. Расчет основания несущей плиты фундамента

1. **Проверка нормативного давления на основание.** Расчет ведем по указаниям п. 2.7 Инструкции[1]:

$$P \leqslant R^н$$

$$P = \frac{\Sigma N^н + Q_ф^н + Q_{гр}^н}{F} = \frac{31\,621 + 5906 + 1136}{560{,}5} = \frac{38\,663}{560{,}5} =$$

$$= 68{,}4\ тс/м^2;$$

$$h = 5{,}5\ м;$$

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 560{,}5}{3{,}14}} \approx 26{,}72\ м = 2672\ см.$$

По табл. 2 «Инструкции» для $\varphi^н = 36°$ находим:

$$A = 2{,}11; \quad B = 9{,}43; \quad D = 11{,}61; \quad m = 1;$$

$$R^н = 1\ \{[2{,}11 \cdot 26{,}72 + 9{,}43 \cdot 5{,}5]\ 1{,}8 + 11{,}61 \cdot 0{,}4\} = 199{,}5\ тс/м^2;$$

$$68{,}4\ тс/м^2 < 199{,}5\ тс/м^2.$$

2. Проверка осадки фундамента. Расчет ведем по указаниям п. 2.19 Инструкции. Для вычисления осадки воспользуемся упрощенной формулой (38):

$$\Delta = \frac{d\,p(1 - \nu_{гр}^2)}{E_{ср}} V.$$

В нашем случае основание сложено из однородного грунта, поэтому $E_{ср} = mE_{гр}$. Согласно указаниям п. 2.12 Инструкции, принимаем $m = 2$.

$$E_{ср} = m\,E_{гр} = 2 \cdot 3800\ тс/м^2 = 7600\ тс/м^2 = 760\ кгс/см^2,$$

где p — среднее давление под плитой фундамента, вычисленное ранее (см. $p = 68{,}4\ тс/м^2 = 6{,}8\ кгс/см^2$).

---

[1] Здесь и далее имеется в виду настоящая «Инструкция по расчету и проектированию фундаментов доменных печей».

Значение коэффициента V определяем по табл. 16, в зависимости от $m_1 = \frac{2z'}{d}$.

Согласно п. 2.10 Инструкции $z' = \frac{d}{3}$, следовательно:

$$m = \frac{2z'}{d} = \frac{2d}{3d} = 0{,}667; \quad V = 0{,}258;$$

$$\Delta = \frac{2672 \cdot 6{,}8 \ (1 - 0{,}3^2)}{760} \ 0{,}258 = 5{,}61 \ см < 30 \ см.$$

Осадка допустимая.

III. Расчет несущей плиты фундамента

Для упрощения расчета восьмиугольная плита фундамента заменяется эквивалентной по площади круглой ($d = 26{,}72$ м).

Вычисляем расстояния колонн от центра плиты:

$N_{г1} \div N_{г6}$	$r = 8{,}5$ м	I кольцо;
N_3	$r = 9{,}014$ м	
$N_1 N_2$	$r = 9{,}22$ м	
N_5	$r = 11{,}15$ м	II кольцо.
N_6	$r = 12{,}343$ м	
N_4	$r = 12{,}37$ м	

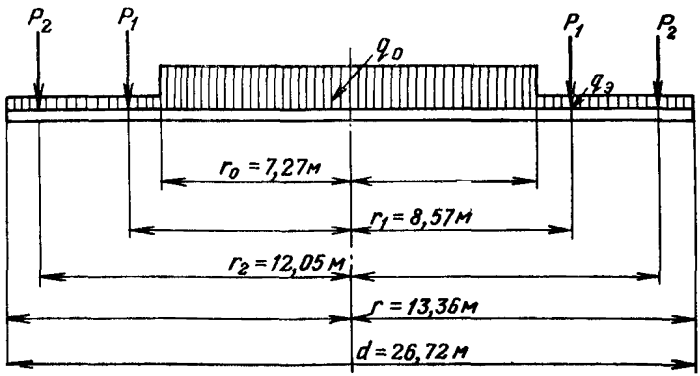


Таблица нагрузок

Нагрузки	$q_э$	q_0	P_1	P_2
Расчетные	3 т/м²	155 т/м²	174,5 т/м	17 т/м
Нормативные	2,5 т/м²	130 т/м²	152 т/м	14,8 т/м

Рис. 12. Схема приведенных нагрузок для расчета фундамента доменной печи

Сгруппируем все сосредоточенные нагрузки от колонн в два кольца и вычислим усредненные радиусы колец по формуле

$$r_к = \frac{\Sigma\, r_i\, N_i}{\Sigma\, N_i}.$$

Нагрузку принимаем равномерно распределенной по этим кольцам. В результате вычислений имеем:

$$r_к^{I} = 8{,}57\ м; \qquad l_к^{I} = 8{,}57 \cdot 2 \cdot 3{,}14 = 53{,}82\ м;$$

$$r_к^{II} = 12{,}05\ м; \qquad l_к^{II} = 12{,}05 \cdot 2 \cdot 3{,}14 = 75{,}67\ м;$$

$$P_1 = \frac{\Sigma\, N}{l_к^{I}} = 175{,}4\ тс/м; \qquad P_2 = 17\ тс/м.$$

Окончательно расчетная схема фундаментной плиты представлена на рис. 12.

Собственный вес плиты, согласно п. 2.17 Инструкции, в расчетную схему не включается.

Все вычисления проведены для расчетных нагрузок. При переходе к нормативным используем коэффициенты перехода:

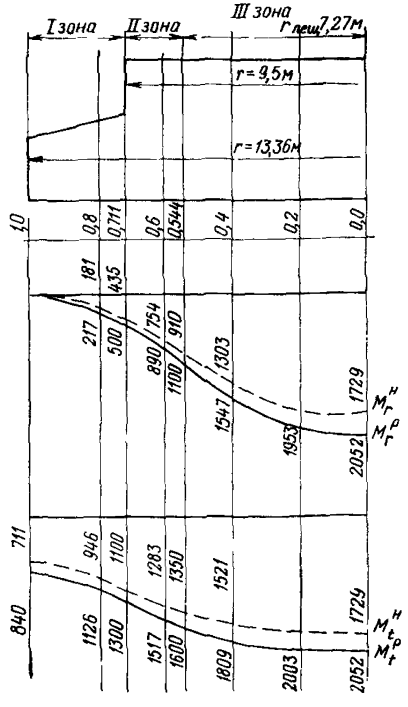


Рис. 13. Эпюры суммарных значений M_r и M_t, вычисленные по таблицам для абсолютно жесткой плиты

для q_0 $k_1 = \frac{21\,348}{25\,438} = 0{,}879;$

для P_1 $k_3 = \frac{8170}{9392} = 0{,}87;$

для q_9 $k_2 = \frac{987}{1184} = 0{,}835;$

для P_2 $k_4 = \frac{1116}{1285} = 0{,}87.$

В первом приближении принимаем плиту за изотропное тело. Вычисляем показатель гибкости плиты по формуле (21) п. 2.12. Инструкции.

$$S = 3\,\frac{1-\nu_б^2}{1-\nu_{гр}^2} \cdot \frac{m\,E_{гр}}{E_б} \times \times \frac{r_{пл}^3}{H^3},$$

где H — максимальная высота плиты; $H = 5{,}5\ м$;

$$S = 3\,\frac{1-0{,}15^2}{1-0{,}3^2} \cdot \frac{7600}{3\,150\,000} \times \times \frac{13{,}36^3}{5{,}5^3} = 0{,}111 < 0{,}5.$$

Следовательно, в первом приближении плиту рассчитываем как абсолютно жесткую. Определение усилий производим по указаниям п. 2.13. Инструкции.

На первом этапе расчета достаточно вычислить только значения радиальных M_r и тангенциальных M_t моментов.

Суммарные эпюры M_r и M_t, полученные от сложения соответствующих эпюр для отдельных загружений, приведены на рис. 13.

По вычисленным моментам подберем требуемую арматуру.

Подбор ведем по СНиП II-В.1-62* и таблицам «Инструкции по проектированию железобетонных конструкций».

Для отдельных зон получаем:

$$F^{I}_{а.\ тр} = 158\ см^2,\ F^{II}_{а.\ тр} = 118\ см^2;\ F^{III}_{а.\ тр} = 152\ см^2.$$

Армирование принимаем постоянным для всех трех зон в виде двух рядов сеток из арматуры $\varnothing$ 36 AII и одного ряда сетки из арматуры $\varnothing$ 40 AII. Шаг стержней в сетках принимаем равным 200 *мм* в обоих направлениях. Площадь сечения арматуры при этом будет равна $F_а = 164{,}6\ см^2/пог.\ м.$

Задавшись арматурой, вычислим новый показатель гибкости с учетом трещин в плите по указаниям п. 2.12. Инструкции.

Цилиндрические жесткости отдельных сечений плиты определим по формуле (16):

$$B_ц = \frac{B}{100\ (1-\nu_б^2)} = \frac{(1-0{,}5\ \xi)\ H_0^2}{(1-\nu_б^2)\left(\frac{b\ \psi_а}{F_а E_а} + \frac{\psi_б}{\nu\ \xi\ H_0 E_б}\right)};$$

Подставляя постоянные значения для каждого случая:

$\nu_б = 0{,}15$; $\psi_б = 0{,}9$; $E_а = 2{,}1 \cdot 10^6$; $E_б = 3{,}15 \cdot 10^5$; $\nu = 0{,}15$, получим:

$$B_ц = \frac{(1-0{,}5\ \xi)\ H_0^2}{0{,}9775\left(\frac{100\ \psi_а}{2{,}1 \cdot 10^6\ F_а} + \frac{0{,}9}{0{,}15\ \xi\ H_0 \cdot 3{,}15 \cdot 10^5}\right)} =$$

$$= \frac{(1-0{,}5\ \xi)\ H_0^2 \cdot 10^5}{\frac{4{,}655\ \psi_а}{F_а} + \frac{1{,}862}{\xi\ H_0}}.$$

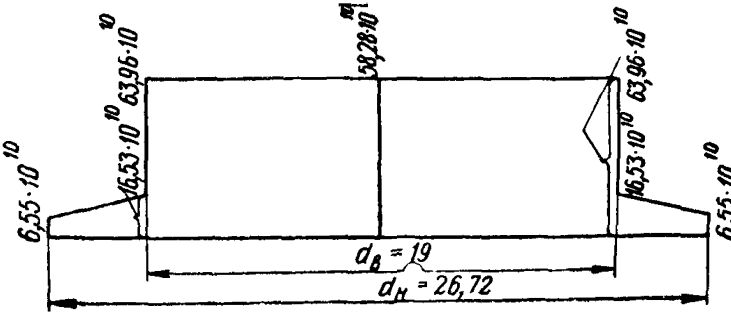
После вычислений получаем:

$$B_{ц1} = 6{,}55 \cdot 10^{10};\qquad B_{ц2а} = 63{,}96 \cdot 10^{10};$$

$$B_{ц2} = 16{,}53 \cdot 10^{10};\qquad B_{ц3} = 58{,}28 \cdot 10^{10}.$$

Построим эпюру значений цилиндрических жесткостей, откладывая их значения по диаметру фундаментной плиты:

Эпюра значений цилиндрических жесткостей



Усредненную цилиндрическую жесткость плиты определяем по формуле (17) Инструкции как высоту цилиндра, эквивалентного по объему эпюре значений $B_{цi}$. Для этого разбиваем эпюру на кольцо и средний цилиндр. Значение $B_ц$ на этих участках принимаем среднее арифметическое:

$$B_ц^{уср} = \frac{\Sigma\, B_{ц\,i}\ (d_{н\,i}^2 - d_{в\,i}^2)}{d_{пл}^2} =$$

$$= \frac{\frac{6{,}55 + 16{,}53}{2}\ (26{,}72^2 - 19^2) + \frac{63{,}96 + 58{,}28}{2}\ 19^2}{26{,}72^2} \times$$

$$\times\ 10^{10} = 36{,}61 \cdot 10^{10}\ кгс \cdot см^2.$$

Имея значение усредненной цилиндрической жесткости плиты, вычислим показатель гибкости по формуле (22) Инструкции:

$$S = \frac{m\ E_{гр}\ r^3}{(1 - \nu_{гр}^2)\ 4\ B_ц^{уср}} = \frac{2 \cdot 380 \cdot 1336^3}{(1 - 0{,}3^2)\ 4 \cdot 36{,}61 \cdot 10^{10}} = 1{,}36.$$

Проверяем условие (см. п. 2.12 Инструкции):

$$0{,}5 < S = 1{,}36 < 10.$$

Значит, плиту следует рассчитывать как имеющую конечную жесткость.

Определение усилий в такой плите, согласно п. 2.14 Инструкции, ведем по приложению 6.

В расчет вводим увеличенный модуль упругости грунта по формуле (27) Инструкции:

$$E_{гр}^{у} = m\,E_{гр}\ \frac{\omega'_{гр}}{\omega_{ср}},$$

где $mE_{гр} = 760\ кгс/см^2$ (см. стр. 47 расчета).

Значения $\omega'_{ср}$ и $\omega_{ср}$ определяем по приложению 7:

$$m_1 = \frac{z'}{r} = \frac{d}{3} \cdot \frac{1}{r} = \frac{2}{3} = 0{,}666;$$

(согласно п. 214 Инструкции);

$$\omega'_{ср} = 0{,}85.$$

По интерполяции для $m_1 = 0{,}666$, $\omega_{ср} = 0{,}2776$;

$$E_{гр}^{у} = 760\ \frac{0{,}85}{0{,}2776} = 2327\ кгс/см^2.$$

Соответственно увеличенный показатель гибкости будет равен:

$$S^{у} = S\ \frac{\omega_{ср}}{\omega_{ср}} = 1{,}36\ \frac{0{,}85}{0{,}2776} = 4{,}164.$$

Приступаем к определению изгибающих моментов и поперечных сил

Схему нагрузок представляем в следующем виде.

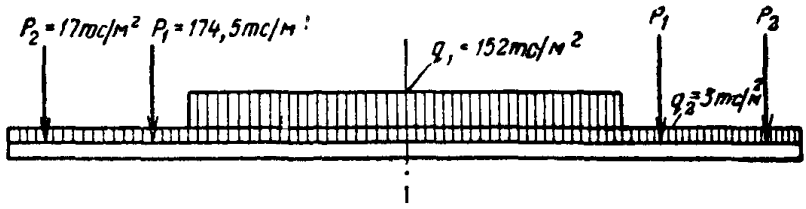
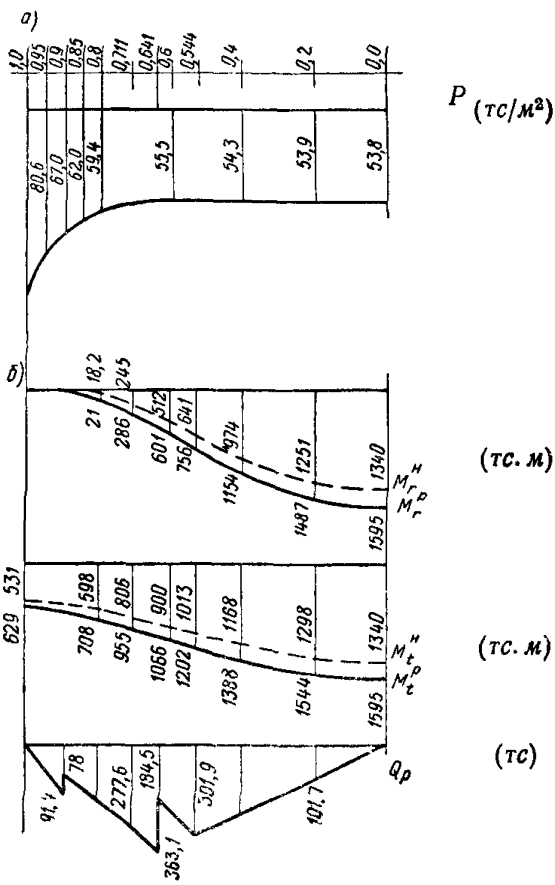


Рис. 14. Эпюры реактивного давления грунта и эпюры расчетных усилий в плите

а — эпюра реактивного давления грунта; *б* — эпюра расчетных усилий в плите



Вычисления значений M_r, M_t и Q от загружений q_1, P_1 и P_2 велики по объему, но совершенно несложны и без труда могут быть выполнены по указаниям приложения 6.

Решение системы из шести уравнений при этом рекомендуется выполнять на счетно-решающих машинах.

Эпюры расчетных усилий приведены на рис. 14.

По вычисленным усилиям M_r, M_t и Q необходимо проверить предварительно назначенные геометрические размеры и армирование плиты на прочность и на раскрытие трещин. Проверку производим по общим формулам СНиП II-В.1-62*.

Так как $$x = \frac{R_a F_a}{R_и b} = \frac{2700 \cdot 164{,}62}{160 \cdot 100} = 27{,}76 < 2a' = 2 \cdot 32 = 64\ см,$$

то прочность сечения проверяем по формуле

$$M \leqslant R_a F_a (H_0 - a') = 2700 \cdot 164{,}62 (H_0 - 32).$$

Сечение *I—I*:

$$M = 629 \text{ тс·м} < 774 \text{ тс·м};$$

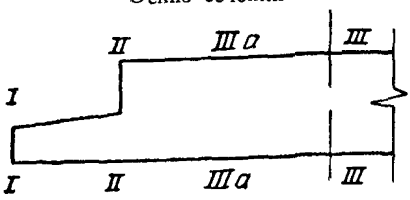
Сечение *II—II*:

$$M = 955 \text{ тс·м} < 1210 \text{ тс·м};$$

Сечение *III—III*:

$$M = 1595 \text{ тс·м} < 2090 \text{ тс·м}.$$

Эскиз сечений



Проверим необходимость расчета на поперечную силу по условию

$$Q \leqslant R_p\, b\, H_0.$$

Сечение *II—II*:

$$Q = 277{,}6 \text{ тс} < 10{,}5 \cdot 100 \cdot 318 = 333\,900 \text{ кгс} = 333{,}9 \text{ тс}.$$

Сечение *IIIa—IIIa*:

$$Q = 363{,}1 \text{ тс} < 10{,}5 \cdot 100 \cdot 518 = 543\,900 \text{ кгс} = 543{,}9 \text{ тс}.$$

Следовательно, поперечная арматура по расчету не требуется.

Ширину раскрытия трещин проверяем от действия нормативных моментов по формулам СНиП II-В.1-62*. После выкладок получаем следующую картину:

Сечение *I—I*:

$$a_{тр} = 0{,}027 < 0{,}03.$$

Сечение *II—II*:

$$a_{тр} = 0{,}029 < 0{,}03.$$

Сечение *III—III*:

$$a_{тр} = 0{,}031 \approx 0{,}03.$$

Следовательно, площадь арматуры подобрана правильно. Однако необходима проверка несущей способности плиты по методу предельного равновесия.

Расчет по методу предельного равновесия. Эпюру реактивного давления грунта принимаем из предыдущего расчета (см. рис. 14). Заменяем криволинейную эпюру ступенчатой по указаниям п. 2.15 Инструкции.

Из предыдущего расчета имеем:

$$q^p_{ср} = 66{,}6 \text{ тс/м}^2; \quad q^p_{ср}\, c = 53{,}8 \text{ тс/м}^2; \quad c = \frac{53{,}8}{66{,}6} = 0{,}8076;$$

$$q^p_{ср}\, B = 80{,}6 \text{ тс/м}^2; \quad b = \frac{80{,}6}{66{,}6} = 1{,}2096;$$

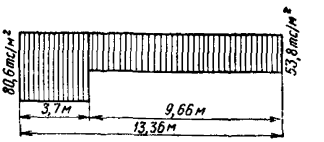
$$c - b = 0{,}8076 - 1{,}2096 = -0{,}402;$$

$$k_в = \sqrt{\frac{b-1}{b-c}} = \sqrt{\frac{1{,}2096-1}{1{,}2096-0{,}8076}} = \sqrt{\frac{0{,}2096}{0{,}402}} = 0{,}722.$$

Ширина средней зоны:
$d - 2a = d\,k_3 = 26{,}72 \cdot 0{,}722 = 19{,}32$ *м*.

Ширина крайней зоны:

$$a = \frac{26{,}72 - 19{,}32}{2} = 3{,}7 \text{ м}.$$



Первая схема разрушения. Величину предельного значения момента определяем по формуле (31):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{\frac{q_{ср}^{р}}{3}\left[(c-b)\,k_3^3 r^3 + b r^3\right] - \frac{q_0 r_0^3}{3} - \frac{q_э}{3}\,(r^3 - r_0^3) - P_1 r_1^2 - P_2 r_2^2\right\} = \frac{1}{13{,}36}\left\{\frac{66{,}6}{6}\left[(-0{,}402)\;2 \cdot 0{,}722^3 \cdot 13{,}36^3 + 2 \times \right.\right.$$

$$\times 1{,}2096 \cdot 13{,}36^3\Big] - \frac{155 \cdot 7{,}27^3}{3} - \frac{3}{3}\,(13{,}36^3 - 7{,}27^3) - 174{,}5 \times$$

$$\left.\left. \times 8{,}57^2 - 17 \cdot 12{,}05^2\right\} = 1414 \text{ тс} \cdot \text{м/м}.\right.$$

Вторая схема разрушения. Величину предельного значения момента определяем по формуле (32):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{\frac{q_{ср}^{р}}{6}\left[(c-b)\,(k_3 r)^2\,(2 k_3 r - 3 r_0) + c r_0^3 + \right.\right.$$

$$+ b r^2\,(2r - 3r_0)\Big] - \frac{q_э}{6}\left[r^2\,(2r - 3r_0) + r_0^3\right] - P_1 r_1\,(r_1 - r_0) -$$

$$\left.\left. - P_2 r_2\,(r_2 - r_0)\right\} = \frac{1}{13{,}36}\left\{\frac{66{,}6}{6}\left[(-0{,}402)\;0{,}722^2 \cdot 13{,}36^2 \times \right.\right.$$

$$\times (2 \cdot 0{,}722 \cdot 13{,}36 - 3 \cdot 7{,}27) + 0{,}8076 \cdot 7{,}27^3 + 1{,}2096 \cdot 13{,}36^2\,(2 \times$$

$$\times 13{,}36 - 3 \cdot 7{,}27)\Big] - \frac{3}{6}\left[13{,}36^2\,(2 \cdot 13{,}36 - 3 \cdot 7{,}27) + 7{,}27^3\right] -$$

$$\left.\left. - 174{,}5 \cdot 8{,}57\,(8{,}57 - 7{,}27) - 17\,(12{,}05 - 7{,}27)\;12{,}05\right\} =\right.$$

$$= 950{,}8 \text{ тс} \cdot \text{м/м}.$$

Третья схема разрушения. Величину предельного значения момента определяем по формуле (33):

$$T z = \frac{n}{r}\left\{\frac{q_{ср}^{р}}{6}\left[(c-b)\,(k_3 r)^2\,(2 k_3 r - 3 r_к) + c r_к^3 + \right.\right.$$

$$+ b r^2\,(2r - 3r_к)\Big] - \frac{q_э}{6}\left[r^2\,(2r - 3r_к) + r_к^3\right] - P_2 r_2 \times$$

$$\left.\left. \times (r_2 - r_к)\right\} = \frac{1}{13{,}36}\left\{\frac{66{,}6}{6}\left[(-0{,}402)\;0{,}722^2 \cdot 13{,}36^2\,(2 \cdot 0{,}722 \times \right.\right.$$

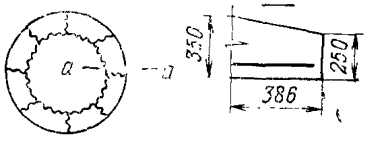
$$\times 13{,}36 - 3 \cdot 9{,}5) + 0{,}8076 \cdot 9{,}5^3 +$$

$$+ 1{,}2096 \cdot 13{,}36^2 \,(2 \cdot 13{,}36 - 3 \cdot 9{,}5)] - \frac{3}{6}\,[13{,}36^2\,(2 \cdot 13{,}36 -$$

$$- 3 \cdot 9{,}5) + 9{,}5^3] - 17 \cdot 12{,}05\,(12{,}05 - 9{,}5)\Big\} = 482{,}9\ тс \cdot м/м.$$

По полученным моментам подберем арматуру.

Количество арматуры, необходимой для предотвращения разрыва трещины на длину консоли (см. третью схему разрушения), равно:



$$H_{ср} = \frac{350 + 250}{2} = 300\ см;$$

$$H_{0\ ср} = 300 - 32 = 268\ см;$$

$$M = T\,z\,l = 483 \times$$

$$\times 3{,}86 = 1860\ тс \cdot м;$$

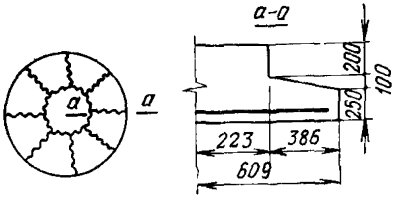
$$A_0 = \frac{M}{b\,H_0^2\,R_и} = \frac{186\,000\,000}{386 \cdot 268^2 \cdot 160} = 0{,}042; \quad \gamma = 0{,}9785;$$

$$F_{a_1} = \frac{M}{\gamma\,H_0\,R_a} = \frac{186\,000\,000}{0{,}9785 \cdot 268 \cdot 2700} = 262{,}5\ см^2.$$

На 1 *м* консоли:

$$\frac{262{,}5}{3{,}86} = 68{,}1\ см^2/м < 164{,}6\ см^2$$

Количество арматуры, необходимой для предотвращения разрыва трещины до границы жароупорного массива (см. вторую схему разрушения), равно:



Рассматриваем изгиб таврового сечения с полкой в растянутой зоне, т. е. расчет ведем как для прямоугольного сечения с $b = 223$ *см*.

$$M = T\,z\,l = 951 \cdot 6{,}09 = 5790\ тс \cdot м;$$

$$H_0 = 550 - 32 = 518\ см;$$

$$A_0 = \frac{579\,000\,000}{223 \cdot 518^2 \cdot 160} = 0{,}0605; \quad \gamma = 0{,}9688;$$

$$F_{a2} = \frac{579\,000\,000}{0{,}9688 \cdot 518 \cdot 2700} = 428\ см^2.$$

Так как в консольной части трещины уже уложено 262,5 $см^2$ арматуры, на оставшемся участке трещины длиной 223 *см* укладываем:

$$428 - 262{,}5 = 165{,}5\ см^2, \quad \text{или} \quad \frac{165{,}5}{2{,}23} = 74{,}2\ см^2/м < 164{,}6\ см^2/м.$$

Количество арматуры, необходимой для предотвращения разрыва трещины поперек всей плиты (см. первую схему разрушения) равно:

$$M = T\,z\,l = 1414 \cdot 13{,}36 = 18\,900\ тс \cdot м;\ h_0 = 518\ см;$$

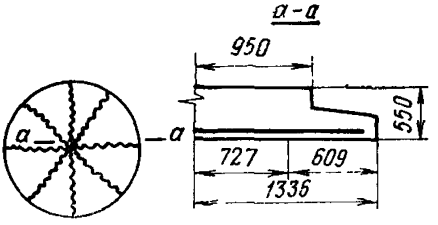
$$A_0 = \frac{1\,890\,000\,000}{950 \cdot 518^2 \cdot 160} = 0{,}0464;\ \gamma = 0{,}976;$$

$$F_a = \frac{1\,890\,000\,000}{0{,}976 \cdot 518 \cdot 2700} = 1382\ см^2.$$

Учитывая, что на участке до жаростойкого массива уже уложено 428 $см^2$ арматуры, на оставшемся участке трещины длиной 727 $см$ укладываем:

$$1382 - 428 = 954\ см^2,\ \text{или}\ \frac{954}{7{,}27} = 131\ см^2/м < 164{,}6\ см^2/м.$$

Как видно, полученные площади арматуры меньше принятых по расчету в упругой стадии (из условия предельного раскрытия трещин). Следовательно, прочность сечений обеспечена.



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Основные нормативные и расчетные данные для обычных и жаростойких бетонов и арматуры

Нормативные сопротивления и начальные модули упругости бетона (из табл. 29 и 31 СНиП II-В.1-62* и табл. 4 СНиП II-В.7-67)

Напряженное состояние, модуль упругости	Бетон	Обозначение	Нормативное сопротивление и начальный модуль упругости в $кгс/см^2$ при проектной марке бетона по прочности на сжатие				
			150	200	250	300	400
Сжатие осевое (призменная прочность)	Обычный и жаростойкий	$R^н_{пр}$	115	145	175	210	280
Сжатие при изгибе	То же	$R^н_и$	140	180	215	260	350
Растяжение	»	$R^н_р$	13	16	18	21	25
Начальный модуль упругости	Обычный	$E_б$	230 000	265 000	—	315 000	350 000
	Жаростойкий	$E_б$	130 000	150 000	165 000	180 000	200 000

Нормативные и расчетные сопротивления и модули упругости арматуры (из табл. 4 и 32 СНиП II-В.1-62*)

Арматура	Нормативное сопротивление $R^н_а$ в $кгс/см^2$	Расчетное сопротивление $R_а$ в $кгс/см^2$	Модуль упругости $E_а$ в $кгс/см^2$
Сталь горячекатаная круглая (гладкая) класса А-I	2400	2100	2 100 000
Сталь горячекатаная периодического профиля класса А-II . .	3000	2700	2 100 000
То же, класса А-III	4000	3400	2 000 000

Основные данные тяжелых обычных и жаростойких бетонов (из табл. 1 Инструкции СН 156-67)

№ состава	Исходный материал, применяемый в бетоне			Максимальная температура применения бетона в °С	Максимальная (возможная) марка бетона на сжатие	Остаточная прочность на сжатие после нагрева до 800°С	Величина огневой усадки после нагрева до $t_{макс}$ в %	Температура деформации под нагрузкой 2 кгс/см² в °С		Огнеупорность в °С		Термическая стойкость (800°С) в водных теплосменах	Объемный вес бетона в высушенном состоянии в кг/м³
	вяжущее	тонкомолотая добавка	заполнитель					4%-ной	разрушения	связки	бетона		
1	Портландцемент	Не применяется	Гранит, доломит, плотный известняк, сиенит, природный песок[1]	200*	500	—	—	—	—	—	—	—	2300
2	Портландцемент	То же	Андезит, базальт, диабаз, диорит[2]	350	400	—	—	—	—	—	—	—	2300
11	Портландцемент	Шамотная класса Б	Шамот класса Б	1000	300	30	—0,6	1150	1250	1300	1550	15	1800

[1] В тяжелом обычном бетоне природный песок применяют в качестве мелкого заполнителя.

[2] Диорит не должен содержать структурно-свободного кварца.

* Согласно примечанию 2 к п. 1.2 СНиП II-В.7-67 железобетонные конструкции фундаментов, находящихся в грунте и постоянно нагретых в течение всего срока эксплуатации, допускается предусматривать из обычного тяжелого бетона при температуре до 300°С.

Требования по наблюдению за температурой фундаментов доменных печей

1. При проектировании доменных печей в проектах фундаментов предусматривают закладку в тело фундамента труб и установку термопар. Для каждой термопары закладывают отдельную трубу соответствующей длины с открытым концом внутрь фундамента; при этом трубы, располагаемые по одному радиусу, сваривают одну с другой. У выхода труб из фундамента должны быть запроектированы колодцы сечением, обеспечивающим свободный доступ к концам труб.

2. Закладку труб и установку термопар производят строительно-монтажные организации, осуществляющие строительство доменных печей, при участии треста Проектмонтажприбор.

3. Закладку труб и установку термопар производят одновременно с бетонированием фундаментов.

Поставку термопар для строящихся печей к началу бетонирования фундаментов обеспечивает трест Энергочермет.

4. Комиссия по приемке доменных печей в эксплуатацию проверяет выполнение работ по установке термопар, о чем составляется акт.

5. Начальники доменных цехов заводов обеспечивают с первых дней ввода в действие печей систематическое наблюдение за температурой фундаментов; в случае обнаружения неисправностей в термопарах, сети и приборах принимаются меры к их устранению в кратчайший срок.

6. Результаты наблюдений за температурным режимом фундаментов обрабатывают, и данные обработки заносят в специальный *журнал согласно прилагаемой форме.*

ФОРМА ЖУРНАЛА

Доменная печь №

Дата задувки « » 197 г.

Схема расположения термопар (план и разрез)

Для всех вновь строящихся доменных печей

Дата замера температуры	Материал термопары и номер ее по схеме	Температура в °С	Примечание (указать, каким прибором измерялась температура)

Начальник доменного цеха ———— (подпись)

Исполнитель ———— (подпись)

«——»————197—г.

Определение расчетных усилий (M_r, M_t и Q) в плите конечной жесткости (принято по работе [7])

Расчет плиты конечной жесткости ($0{,}5 \leqslant S \leqslant 10$), нагруженной нагрузкой, равномерно распределенной по кругу радиуса $r_{кр}$, меньшего, чем радиус плиты r, или по кольцу производится следующим образом.

1. Решается система уравнений, приведенная в табл. 18.

Таблица 18

№ уравнения	a_0	a_2	a_4	a_6	a_8	a_{10}	Свободные члены в правой части уравнений
1	1	0,5	0,3333	0,25	0,2	0,1667	C_0
2	K_0	K_2	K_4	K_6	K_8	K_{10}	$C_2 + T_2$
3	L_0	—1	1	0,3333	0,2	0,1429	$C_4 + T_4$
4	—0,2	L_2	—1	1	0,3333	0,2	T_6
5	—0,1429	—0,2	L_4	—1	1	0,3333	T_8
6	—0,1111	—0,1429	—0,2	L_6	—1	1	T_{10}

Величины K_{2i} и L_{2i} определяются следующими равенствами:

$$\left.\begin{aligned} K_0 &= -1{,}0000 - 0{,}67857\ \varphi; & K_6 &= 0{,}2000 - 0{,}04911\ \varphi; \\ K_2 &= 1{,}0000 - 0{,}18452\ \varphi; & K_8 &= 0{,}1429 - 0{,}03190\ \varphi; \\ K_4 &= 0{,}3333 - 0{,}08532\ \varphi; & K_{10} &= 0{,}1111 - 0{,}02239\ \varphi; \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} L_0 &= -0{,}3333 + 0{,}22222\ \varphi; & L_4 &= -0{,}3333 + 0{,}01161\ \varphi; \\ L_2 &= -0{,}3333 + 0{,}03556\ \varphi; & L_6 &= -0{,}3333 + 0{,}00516\ \varphi; \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

Значения величин C_{2i} и T_{2i}, входящих в свободные члены, зависят от характера нагрузки.

А. При равномерно распределенной нагрузке q^p (в $тс/м^2$) по кругу приведенного радиуса $\alpha = \frac{r_{кр}}{r}$ значения величин C_{2i} и T_{2i} следующие:

$$C_0 = q^p\ \alpha^2;\ C_2 = \varphi\ q^p\ \alpha^2\ (\ln \alpha + 0{,}1786\ \alpha^2 - 0{,}8571);$$
$$C_4 = 0{,}2222\ \varphi\ q^p;\ T_{2\,i} = \tau_{2\,i}\ \varphi\ q^p\ . \quad (3)$$

Значения величин τ_{2i} определяются из табл. 19.

Таблица 19

Величины τ_{2i} для определения свободных членов уравнений при равномерно распределенной нагрузке q^p (в $тс/м^2$)

α	τ_2	τ_4	τ_6	τ_8	τ_{10}
0,1	0,0017	—0,0909	—0,4675	0,7391	—0,3955
0,2	—0,0005	0,043	—0,6993	0,9564	—0,4741
0,3	—0,0005	0,0299	—0,2374	0,0346	0,0594
0,4	0,0001	—0,0084	0,1198	—0,5061	0,3241
0,5	0,0001	—0,0071	0,079	—0,2305	0,1072
0,6	0	—0,0002	—0,0004	0,0178	—0,05
0,7	0	0,001	—0,0119	0,0437	0,0466
0,8	0	0,0002	0,0029	0,0105	—0,0108
0,9	0	0	—0,0002	0,0008	—0,0008
1	0	0	0	0	0

Б. При равномерно распределенной нагрузке P^p (в $тс/м$) по окружности приведенного радиуса $\alpha = \frac{r_к}{r}$ значения величин C_{2i} и T_{2i} следующие:

$$C_0 = 2\,\alpha\,\frac{P^p}{r};\quad C_2 = \varphi\,\frac{P^p}{r}\,\alpha\,[0{,}7143\,(\alpha^2-1)+2\ln\alpha];$$

$$C_4 = 0;\quad T_{2i} = \rho_{2i}\,\varphi\,\frac{P^p}{r}. \qquad (4)$$

Значения величин ρ_{2i} определяются по табл. 20.

Таблица 20

Величины ρ_{2i} для определения свободных членов уравнений при равномерно распределенной силовой нагрузке

α	ρ_2	ρ_4	ρ_6	ρ_8	ρ_{10}
0,1	0,0077	1,3767	—3,0379	3,374	—1,3932
0,2	—0,0455	1,1909	—1,5387	1,1754	—0,3688
0,3	—0,0128	0,0629	2,1894	—3,4475	1,6292
0,4	0,0209	—0,5665	3,349	—4,2428	1,8031
0,5	0,0106	—0,2477	0,9425	—0,2865	—0,156
0,6	—0,0066	0,1833	—1,2156	2,6433	—1,4305
0,7	—0,004	0,1045	—0,5893	1,0117	—0,4004
0,8	0,0013	—0,0352	0,2328	—0,5419	0,4095
0,9	0,0004	—0,01	0,063	—0,1373	0,0946
1	0	0	0	0	0

В. При моментной нагрузке m (в $тс$), равномерно распределенной по окружности приведенного радиуса $\alpha = \frac{r_к}{r}$, значения величин C_{2i} и T_{2i} следующие:

$$C_0 = 0;\ C_2 = \varphi\ \frac{m}{r^2}\ (2 + 1{,}4286\ \alpha^2);\ C_4 = 0;$$

$$T_{2\,i} = \sigma_{2\,i}\ \varphi\ \frac{m}{r^2}\ . \qquad (5)$$

Значения величин σ_{2i} определяются по табл. 21.

Таблица 21

Величины σ_{2i} для определения свободных членов уравнений при равномерно распределенной моментной нагрузке

α	σ_2	σ_4	σ_6	σ_8	σ_{10}
0,1	—1,006	— 7,665	22,814	—28,361	12,385
0,2	0,188	—14,567	40,85	—49,281	21,154
0,3	0,573	—11,593	22,236	—26,432	10,232
0,4	0,03	0,793	—19,185	33,558	—16,972
0,5	—0,238	6,03	—32,565	46,719	—21,516
0,6	—0,056	1,195	— 3,675	— 1,881	3,459
0,7	0,083	— 2,258	13,697	—27,154	15,002
0,8	0,009	— 0,211	1,003	— 0,981	— 0,567
0,9	—0,011	0,304	1,93	4,206	— 2,901
1	0	0	0	0	0

За положительное направление внешних изгибающих моментов принимается такое, при котором они стремятся изогнуть внутреннюю часть плиты выпуклостью вверх.

Необходимо помнить, что формулы (3)—(5) для определения величин C_{2i} (так же как и формулы для определения величин B_i, см. ниже) относятся к случаю железобетонных плит ($\nu_1 = 1/6$). Величины τ_{2i}, ρ_{2i}, σ_{2i} не зависят от коэффициента Пуассона; следовательно, табл. 19—21 приведены для расчета плит из любого материала.

Не рекомендуется производить интерполирование по табл. 19—21; значения α следует округлять при расчете до первого знака после запятой.

При сложной нагрузке в системе табл. 18 левые части следует оставить неизменными; в качестве свободных членов уравнений нужно взять суммы свободных членов уравнений, соответствующих каждой из составляющих нагрузок. Можно также для наглядности составлять и решать систему для каждой отдельной нагрузки порознь с последующим суммированием результатов.

Нагрузка q^p (в $т/см^2$), равномерно распределенная по кольцу, рассматривается как сложная нагрузка, состоящая из положительной нагрузки q^p по кругу приведенного радиуса α_1 и отрицательной — q^p по кругу приведенного радиуса α_2 ($\alpha_1 > \alpha_2$).

2. Для определения в точке с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ изгибающих моментов в радиальном направлении M_r следует воспользоваться формулой

$$M_r = r^2 \left[(B_0 - 0{,}2917\ A) + B_1\ \frac{1}{\rho^2} + B_2 \ln \rho + 0{,}1979\ (a_0 - q^p) \times \right.$$

$$\times \rho^2 + 0{,}0538\ a_2\ \rho^4 + 0{,}0249\ a_4\ \rho^6 + 0{,}0143\ a_6\ \rho^8 + 0{,}0093\ a_8\ \rho^{10} + \\ + 0{,}0065\ a_{10}\ \rho^{12}\Big]. \qquad (6)$$

В этой формуле, как и в дальнейших, следует принимать $q^p = 0$ во всех случаях, когда нагрузка q^p (в *тс/м*^{2}) отсутствует; $q^p = 0$ также и при вычислении моментов для области, свободной от этой нагрузки при ее распределении по кругу приведенного радиуса α.

Величина A определяется равенством

$$A = 0{,}67857\ a_0 + 0{,}18452\ a_2 + 0{,}08532\ a_4 + 0{,}04911\ a_6 + \\ + 0{,}03190\ a_8 + 0{,}02239\ a_{10}. \qquad (7)$$

Значения B_i следующие.

В случае нагрузки q^p (в *тс/м*^{2}) по кругу приведенного радиуса α:

под нагрузкой $(0 \leqslant \rho \leqslant \alpha)$

$$B_0 = (0{,}25 - 0{,}2917 \ln \alpha - 0{,}0521\ \alpha^2)\ q^p\ \alpha^2;$$

$$B_1 = B_2 = 0; \qquad (8)$$

вне нагрузки $(\alpha \leqslant \rho \leqslant 1)$

$$B_0 = -0{,}0521\ q^p\ \alpha^4;\quad B_1 = -B_0;\quad B_2 = -0{,}2912\ q^p\ \alpha^2. \qquad (9)$$

В случае нагрузки P^p (в *тс/м*) по окружности приведенного радиуса α:

внутри окружности нагрузки $(0 \leqslant \rho \leqslant \alpha)$

$$B_0 = [0{,}2083\ (1 - \alpha^2) - 0{,}5833 \ln \alpha]\ \frac{P^p}{r}\ \alpha;\quad B_1 = B_2 = 0; \qquad (10)$$

вне окружности нагрузки $(\alpha \leqslant \rho \leqslant 1)$

$$B_0 = -0{,}2083\ \frac{P^p}{r}\ \alpha^3;\quad B_1 = -B_0;\quad B_2 = -0{,}5833\ \frac{P^p}{r}\ \alpha. \qquad (11)$$

В случае нагрузки m (в *тс*) по окружности приведенного радиуса α:

внутри окружности нагрузки $(0 \leqslant \rho \leqslant \alpha)$

$$B_0 = -(0{,}5833 + 0{,}4167\ \alpha^2)\ \frac{m}{r^2};\quad B_1 = B_2 = 0; \qquad (12)$$

вне окружности нагрузки $(\alpha \leqslant \rho \leqslant 1)$

$$B_0 = -0{,}4167\ \frac{m}{r^2}\ \alpha^2;\quad B_1 = -B_0;\quad B_2 = 0. \qquad (13)$$

Значения натуральных логарифмов приведены в табл. 22.

Таблица 22

Значения натуральных логарифмов

ρ	$\ln \rho$	ρ	$\ln \rho$
0,1	—2,3026	0,6	—0,5108
0,2	—1,6094	0,7	—0,3567
0,3	—1,204	0,8	—0,2231
0,4	—0,9163	0,9	—0,1054
0,5	—0,6932	1	0

3. Тангенциальные моменты в точке с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ вычисляются по формуле

$$M_t = r^2 \left[D_0 - 0{,}2917\ A + D_1 \frac{1}{\rho^2} + D_2 \ln \rho + 0{,}0938\ (a_0 - q^p)\ \rho^2 + \right.$$
$$+ 0{,}0191\ a_2\ \rho^4 + 0{,}0075\ a_4\ \rho^6 + 0{,}0039\ a_6\ \rho^8 + 0{,}0024\ a_8\ \rho^{10} +$$
$$\left. + 0{,}0016\ a_{10}\ \rho^{12} \right]. \qquad (14)$$

Для нагрузки q^p (в $тс/м^2$):

при $0 \leqslant \rho \leqslant \alpha$

$$D_0 = B_0; \quad D_1 = D_2 = 0; \qquad (15)$$

при $\alpha \leqslant \rho \leqslant 1$

$$D_0 = (0{,}2083 - 0{,}0521\ \alpha^2)\ q^p\ \alpha^2; \quad D_1 = -\ B_1; \quad D_2 = B_2. \qquad (16)$$

Для нагрузки P^p (в $тс/м$):

при $0 \leqslant \rho \leqslant \alpha$

$$D_0 = B_0; \quad D_1 = D_2 = 0 \qquad (17)$$

при $\alpha \leqslant \rho \leqslant 1$

$$D_0 = (0{,}4167 - 0{,}2083\ \alpha^2)\ \frac{P^p}{r}\ \alpha; \quad D_1 = -\ B_1; \quad D_2 = B_2. \qquad (18)$$

Для нагрузки m (в $тс$):

при $0 \leqslant \rho \leqslant \alpha$

$$D_0 = B_0; \quad D_1 = D_2 = 0; \qquad (19)$$

при $\alpha \leqslant \rho \leqslant 1$

$$D_0 = -\ 0{,}4156\ \alpha^2\ \frac{m}{r^2}; \quad D_1 = -\ B_1; \quad B_2 = 0. \qquad (20)$$

4. Поперечные силы в точке с приведенным радиусом $\rho = \frac{r_x}{r}$ вычисляются по формуле

$$Q = r \left[\frac{G}{\rho} + 0{,}5\ (a_0 - q^p)\ \rho + 0{,}25\ a_2\ \rho^3 + 0{,}1667\ a_4\ \rho^5 + 0{,}125\ a_6\ \rho^7 + \right.$$
$$\left. + 0{,}1\ a_8\ \rho^9 + 0{,}0833\ a_{10}\ \rho^{11} \right], \qquad (21)$$

причем для нагрузки q^p (в $тс/м^2$):

при $0 \leqslant \rho \leqslant \alpha$

$$G = 0; \qquad (22)$$

при $\alpha \leqslant \rho \leqslant 1$

$$G = -\ 0{,}5\ q^p\ \alpha^2. \qquad (23)$$

Для нагрузки P^p (в $тс/м$):

при $0 \leqslant \rho \leqslant \alpha$

$$G = 0; \qquad (24)$$

при $\alpha \leqslant \rho \leqslant 1$

$$G = -\ \frac{P^p}{r}\ \alpha. \qquad (25)$$

Для нагрузки m (в $тс$) при $0 \leqslant \rho \leqslant 1$

$$G = 0. \qquad (26)$$

Вычисление эпюр при сложной нагрузке также ведется по формулам (6), (14), (21). Для определения значений B, D, G суммируются формулы для этих величин, соответствующие каждой из составляющих нагрузок. При этом каждому из колец, на которые нагрузки разбивают плиту, будут соответствовать различные уравнения величин M_r, M_t и Q.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Значение коэффициента $\omega_{ср}$ для круглых плит в зависимости от приведенной мощности сжимаемого слоя грунта (z'/r)

$\frac{z'}{r}$	0	0,25	0,5	0,75	1	1,5	2	2,5
Круглая плита	0	0,12	0,22	0,31	0,38	0,5	0,58	0,63

Продолжение

$\frac{z'}{r}$	3	4	5	7	10	20	50	∞
Круглая плита	0,66	0,7	0,72	0,75	0,78	0,81	0,83	0,85

Примечание. Значения коэффициентов приняты по табл. 5 работы [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Скаженик Г. Д. Современные фундаменты доменных печей. В бюллетене технико-экономической информации № 5. Изд. Института технико-экономической информации Академии наук СССР, 1956.

2. Скаженик Г. Д. Глава III. Здания и сооружения доменных цехов. В кн. «Проектирование зданий и сооружений металлургических заводов», Госстройиздат, 1963.

3. Мурашев В. И., Немировский Я. М. Принципы расчета и проектирования фундаментов доменных печей. В кн. «Исследования по жароупорному бетону и железобетону», Госстройиздат, 1954.

4. Немировский Я. М., Альтшулер Б. А. Экспериментальное исследование работы железобетонных дисков на температурный перепад по радиусу. В кн. «Исследования по жароупорному бетону и железобетону», Госстройиздат, 1954.

5. Немировский Я. М. Расчет плит на упругом основании с учетом жесткости конструкции и по методу предельного равновесия. В сборнике трудов МИСИ им. Куйбышева № 14 (материалы совещания от 14—15 мая 1953 г.). Госстройиздат, 1956.

6. Гвоздев А. А. Обоснование § 33 «Норм проектирования железобетонных конструкций». «Строительная промышленность» № 3, 1939.

7. Горбунов-Посадов М. И. Расчет конструкции на упругом основании, Стройиздат, 1953.

8. Егоров К. Е., Шилова О. Д. Определение нормативного давления на грунты основания под круглым фундаментом. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1968, № 2.

9. Егоров К. Е. К вопросу деформации основания конечной толщины. В сб. трудов НИИ оснований и подземных сооружений, № 34. Госстройиздат, 1958.

10. Егоров К. Е. О деформациях основания конечной толщины. «Основания, фундаменты и механика грунтов», 1961, № 1.

11. Егоров К. Е. Контактная задача для упорного слоя при действии внецентренной вертикальной силы на круглый жесткий штамп. Доклады Академии наук СССР, т. 133, вып. № 4, 1960.

12. Егоров К. Е., Серебряный Р. В. Определение усилий в жестком круглом фундаменте. В сб. трудов НИИ оснований и подземных сооружений, № 53. Госстройиздат, 1963.

13. Егоров К. Е. Расчет основания под круглой фундаментной плитой конечной жесткости. Труды VII Международного конгресса по механике грунтов и фундаментостроению, 1969.

14. СНиП II-В.1-62* «Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования».

15. СНиП II-В.7-67 «Бетонные и железобетонные конструкции, предназначенные для работы в условиях воздействия повышенных и высоких температур. Нормы проектирования».

16. СН 156-67 «Инструкция по технологии приготовления и применению жаростойких бетонов».

17. СНиП II-Б.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования».

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 1
1. Принципы проектирования 2
2. Принципы расчета 6
3. Материалы 36
Приложение 1. Общий вид и характер армирования фундамента печи объемом 3200 $м^3$ 37
Приложение 2. Примеры расчетов жаростойкого массива и несущей плиты фундамента доменной печи на температурный перепад по радиусу 40
Приложение 3. Пример расчета несущей плиты фундамента под доменную печь 44
I. Исходные данные 44
II. Расчет основания несущей плиты фундамента . . . 46
III. Расчет несущей плиты фундамента 47
Приложение 4. Основные нормативные и расчетные данные для обычных и жаростойких бетонов и арматуры . . . 55
Приложение 5. Требования по наблюдению за температурой фундаментов доменных печей 57
Приложение 6. Определение расчетных усилий (M_r, M_t и Q) в плите конечной жесткости (принято по работе [7]) . . 58
Приложение 7. Значение коэффициента $\omega_{ср}$ для круглых плит в зависимости от приведенной мощности сжимаемого слоя грунта (z'/r) 63
Литература 64

Министерство черной металлургии СССР

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ФУНДАМЕНТОВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, 9

* * *

Редактор издательства *Л. М. Осенко*
Технический редактор *Ю. Л. Циханкова*
Корректор *Е. А. Степанова*

Сдано в набор 29/V 1972 г. Подписано к печати 15/XI 1972 г.
Бумага типографская № 2 Формат 84×108$^1/_{32}$ — 1 бум. л.
3,36 усл. печ. л. (уч.-изд. 3,9 л.)
Тираж 7.500 экз. Изд. № XII—3691 Зак. № 278 Цена 20 коп.

типография Главполиграфпрома Государственного комитета Совета Министров СССР по делам издательств, полиграфии и книжной торговли
г. Подольск, ул. Кирова, 25

gost.e-ecolog.ru