

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**КАЗАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АРХИТЕКТУРНО-  
СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Кафедра оснований, фундаментов, динамики сооружений  
и инженерной геологии

**РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ  
ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**Методические указания**

к выполнению практических занятий для студентов  
строительных специальностей и направлений подготовки  
08.03.01, 08.05.01

Казань  
2015

УДК 624.15  
ББК 38.79  
Н90

Н90 Расчет оснований фундаментов при сейсмических воздействиях: Методические указания к выполнению практических занятий для студентов строительных специальностей и направлений подготовки 08.03.01, 08.05.01 / Сост. Д.М. Нуриева. – Казань: Изд-во Казанск. гос. архитект.-строит. ун-та, 2015. – 20 с.

Печатается по решению Редакционно-издательского совета Казанского государственного архитектурно-строительного университета

В методических указаниях приведены положения нормативного метода расчета оснований фундаментов при сейсмических воздействиях. Рассмотрены примеры расчета оснований фундаментов мелкого заложения при действии особого сочетания нагрузок.

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры механики КГАСУ

**Д.Е. Страхов**

УДК 624.15  
ББК 38.79

© Казанский государственный  
архитектурно-строительный  
университет, 2015

© Нуриева Д.М., 2015

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение . . . . .	4
Особенности проектирования и расчета сейсмостойких оснований и фундаментов . . . . .	5
Основные положения расчета основания фундамента при сейсмических воздействиях . . . . .	6
Примеры расчета . . . . .	14
Исходные данные для решения задачи . . . . .	19
Список литературы . . . . .	20

## ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно на земном шаре проходит свыше 300 тысяч землетрясений, большинство из которых, к счастью, имеет небольшую силу или проявляется в ненаселенных районах. Однако некоторые очаги сильных землетрясений располагаются близко к населенным пунктам. В этом случае происходят большие повреждения и обрушения недостаточно прочных сооружений. Часто следствием землетрясений являются большие пожары, потери от которых могут быть не меньше, чем непосредственно от самих землетрясений.

Число человеческих жертв при землетрясениях может достигать колоссальных размеров. Так, при землетрясении 1556 г. в провинции Шанси (Китай) погибло около 830 тыс. человек; землетрясение в Калькутте (Индия) 11 октября 1737 г. унесло жизни свыше 300 тыс. человек. В числе разрушительных землетрясений последних лет можно отметить землетрясения в Спитаке (1988 г.), на Курилах (1994 г.), в Кобе (Япония, 1995 г.), в Нефтегорске (1995 г.), в городах Измит (Турция, 1999 г.), Бхудж (Индия, 2001 г.), Бам (Иран, 2003 г.), у берегов побережья индонезийской провинции Ачех (Южная Азия, 2004 г.), в Пакистане (2005 г.), в провинции Сычуань (Китай, 2008 г.), на о. Гаити (2010 г.), у берегов Японии (2011 г.)

В России более 30% территории являются сейсмоопасными с расчетной интенсивностью землетрясений 7–9 баллов. К сейсмоопасным районам относятся территории в Забайкалье, в районах Северного Кавказа, на Сахалине, у побережья Черного моря и др. Проблема коснулась и Татарстана. Согласно карте ОСР-97 сейсмоопасность составляет 6–7 баллов. Главная причина повышения сейсмической опасности на территории Татарстана связана с активной разработкой месторождений нефти и развитием карстовых процессов. В связи с этим весьма актуальной является разработка антисейсмических мероприятий, в состав которых входит проектирование сооружений, обладающих высокими технико-экономическими показателями и способных воспринимать землетрясения ожидаемой интенсивности с минимальным ущербом. Решение данной задачи невозможно без обеспечения сейсмостойкости оснований и фундаментов. В настоящее время, согласно действующим российским нормам проектирования, обеспечение сейсмостойкости грунтового основания включает определение передающихся на фундамент нагрузок при особом (с учетом сейсмических воздействий) сочетании и последующий расчет на эти нагрузки несущей способности основания и фундамента с учетом сил инерции, возникающих в грунте при сейсмических колебаниях, и их влияние на несущую способность грунта.

В методических указаниях приводятся сведения о нормативном методе расчета оснований фундаментов с учетом сейсмических воздействий. Методические указания могут быть использованы при изучении дисциплин «Основания и фундаменты», «Сейсмостойкое строительство», «Динамические методы расчета зданий и сооружений».

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЕТА СЕЙСМОСТОЙКИХ ОСНОВАНИЙ И ФУНДАМЕНТОВ**

Сейсмостойкостью называется способность конструкции не разрушаться, не терять устойчивость формы и не опрокидываться при действии помимо обычных нагрузок сейсмических (инерционных) сил, возникающих при землетрясении.

Фундаменты в этих условиях играют двоякую роль. Во-первых, они передают на сооружение колебания грунта, то есть являются источником колебаний строительных конструкций, а возникающие при этом силы инерции и создают так называемую сейсмическую нагрузку. Во-вторых, фундаменты, являясь частью сооружения, должны воспринимать без разрушения сейсмическую нагрузку и передавать ее на основание, обеспечивая общую устойчивость и прочность системы «сооружение – основание». В соответствии с этим действующие нормы проектирования [1,2] предусматривают при проектировании грунтовых оснований с учетом сейсмических воздействий выполнение расчета на особое сочетание нагрузок. При этом предварительные размеры фундаментов допускается определять расчетом основания по деформациям на обычное основное сочетание нагрузок (без учета сейсмических воздействий).

Расчет оснований по несущей способности производится для обеспечения прочности скальных и устойчивости нескальных грунтов, а также для исключения сдвига фундамента по подошве и его опрокидывания. Выполнение этого расчета обеспечивает сохранность строительных конструкций, выход которых из строя угрожает обрушением здания или его частей. В то же время допускаются повреждения элементов конструкции, не угрожающие безопасности людей и сохранности оборудования. Поэтому деформации основания могут превышать предельные значения и при особом сочетании нагрузок с учетом сейсмических воздействий не рассчитываются.

Расчет оснований с учетом сейсмических воздействий должен выполняться для площадок с расчетной сейсмичностью 7, 8, 9 баллов. В районах сейсмичностью менее 7 баллов основания следует проектировать без учета сейсмических воздействий.

Глубину заложения фундаментов в грунтах I и II категории по сейсмическим свойствам принимают такой же, как и для несейсмоопасных районов. При грунтах III категории рекомендуется предусматривать мероприятия по улучшению строительных свойств грунтов основания до начала строительства. Нельзя использовать в качестве оснований сейсмостойких сооружений без проведения предпостроечных мероприятий водонасыщенные грунты, способные к виброразжижению. Для зданий высотой более 5 этажей рекомендуется устройство подвальных этажей.

При строительстве в сейсмических районах применяются как фундаменты мелкого заложения на естественном или искусственном основании, так и свайные фундаменты. Ниже рассматриваются основные положения расчета фундаментов мелкого заложения.

## ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТА ОСНОВАНИЯ ФУНДАМЕНТА ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Расчет основания фундамента с учетом сейсмических воздействий включает в себя:

1) расчет несущей способности основания по I группе предельных состояний на действие вертикальной составляющей внецентренной нагрузки, передаваемой фундаментом на грунт при особом сочетании нагрузок;

2) расчет фундамента на сдвиг по подошве от действия горизонтальной нагрузки при особом сочетании нагрузок.

1. Расчет несущей способности основания выполняют на действие вертикальной составляющей внецентренной нагрузки, передаваемой фундаментом на грунт, исходя из условия:

$$N_a \leq \gamma_{c,eq} \frac{N_{u,eq}}{\gamma_n}, \quad (1)$$

где  $N_a$  – вертикальная составляющая расчетной внецентренной нагрузки в особом сочетании;

$\gamma_{c,eq}$  – сейсмический коэффициент условий работы, принимаемый равным 1,0; 0,8; 0,6 соответственно для грунтов I, II и III категорий по сейсмическим свойствам;

$\gamma_n$  – коэффициент надежности по назначению сооружения, принимаемый равным 1,2; 1,15 и 1,10 соответственно для сооружений I, II и III уровней ответственности;

$N_{u,eq}$  – вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания при одностороннем выпоре грунта вследствие сейсмического воздействия, определяемая в зависимости от соотношения между эксцентриситетами  $e_a$  и  $e_u$ :

$$\text{при } e_a \leq e_u \quad N_{u,eq} = 0,5bl(p_b + p_o); \quad (2)$$

$$\text{при } e_a > e_u \quad N_{u,eq} = 0,5bl(p_b + p'_o) = \frac{b p_b}{(1 + 6e_a/b)}. \quad (3)$$

Здесь эксцентриситет расчетной нагрузки  $e_a$  и эксцентриситет эпюры предельного давления  $e_u$  определяются по формулам:

$$e_a = \frac{M_a}{N_a}, \quad e_u = \frac{b(p_b - p_o)}{6(p_b + p_o)}, \quad (4)$$

где  $N_a$  и  $M_a$  – вертикальная составляющая расчетной нагрузки и момент, приведенные к подошве фундамента при особом сочетании нагрузок (с учетом сейсмических воздействий); определяются по формулам:

$$N_a = N_I^s + N_I^\phi + N_I^{2p} = N_I^s + \gamma_{mt} b l d; \quad (5)$$

$$M_a = M_I^S \pm Q_I^S h, \quad (6)$$

где  $N_I^S$ ,  $M_I^S$ ,  $Q_I^S$  – вертикальная сила, изгибающий момент и поперечная сила, передающиеся на обрез фундамента в расчетном направлении при особом сочетании нагрузок;

$N_I^{\phi}$  – нагрузка от веса фундамента;

$N_I^{zp}$  – нагрузка от веса грунта на уступах фундамента;

$\gamma_{mt}$  – осредненный удельный вес материала тела фундамента и грунта на уступах фундамента; в расчетах может приниматься равным 20 кН/м<sup>3</sup>;

$b$  – размер подошвы фундамента в направлении действия момента  $M_I^S$ ;

$l$  – размер подошвы фундамента в направлении, перпендикулярном расчетному;

$d$  – глубина заложения подошвы фундамента;

$h$  – высота фундамента.

В формулах (2), (3), (4)  $p_o$  и  $p_b$ , – ординаты эпюры предельного давления под краями подошвы фундамента (рис. 2), определяемые по формулам:

$$p_o = \xi_q F_1 \gamma'_I d + \xi_c (F_1 - 1) \frac{c_I}{\operatorname{tg} \varphi_I}, \quad (7)$$

$$p_b = p_o + \xi_\gamma \gamma_I b (F_2 - k_{eq} F_3), \quad (8)$$

где  $\xi_q, \xi_\gamma, \xi_c$  – коэффициенты формы, зависящие от соотношения сторон подошвы прямоугольного фундамента; определяются при условии  $1 \geq \frac{b}{l} \geq 0,2$  по формулам:

$$\xi_q = 1 + 1,5 b/l, \quad \xi_c = 1 + 0,3 b/l, \quad \xi_\gamma = 1 - 0,25 b/l; \quad (9)$$

при  $\frac{b}{l} > 1$  коэффициенты принимаются:  $\xi_q = 2,5$ ,  $\xi_c = 1,3$ ,  $\xi_\gamma = 0,75$ ;

при  $\frac{b}{l} < 0,2$  (в случае ленточного фундамента):  $\xi_q = \xi_c = \xi_\gamma = 1,0$ ;

$\gamma'_I$  и  $\gamma_I$  – соответственно расчетные значения удельного веса грунта, находящегося выше и ниже подошвы фундамента;

$\varphi_I$  и  $c_I$  – расчетные значения угла внутреннего трения и удельного сцепления несущего слоя грунта;

$d$  – глубина заложения фундамента;

$k_{eq}$  – коэффициент сейсмичности, принимаемый равным 0,1; 0,2 и 0,4 при сейсмичности площадок строительства 7, 8 и 9 баллов соответственно;

$F_1, F_2, F_3$  – коэффициенты, определяемые в зависимости от расчетного угла внутреннего трения  $\varphi_I$  несущего слоя грунта по графику на рис.1.

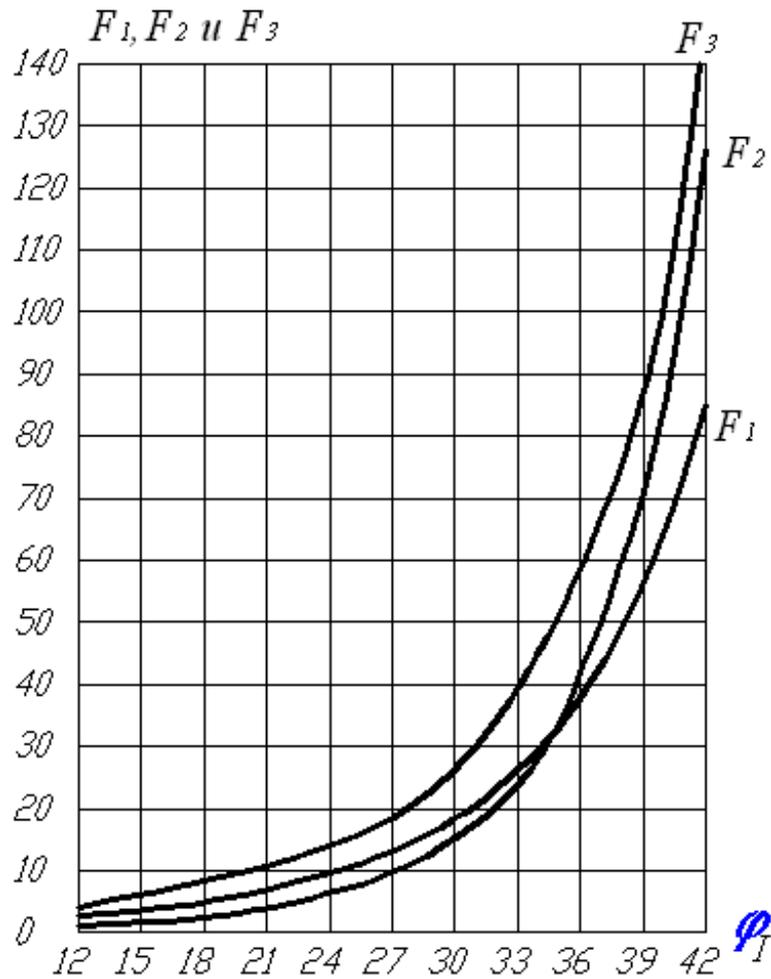


Рис. 1. Графики для определения коэффициентов  $F_1, F_2, F_3$

В формуле (3) при  $e_a > e_u$  учитывается не вся эпюра предельного давления, а лишь усеченная ее часть, показанная на рис. 2 пунктиром. Максимальная ордината  $p_b$  этой усеченной эпюры совпадает с исходной, а минимальная  $p'_o$  имеет меньшее значение, чем  $p_0$ , и вычисляется по формуле:

$$p'_o = \frac{(1 - 6e_a / b)}{(1 + 6e_a / b)} p_b \quad (10)$$

В формуле (8) при  $F_2 < k_{eq} F_3$  следует принимать  $p_b = p_o$ . В этом случае эпюра предельного давления принимает прямоугольный вид (рис. 3).

При расчете оснований и фундаментов на особое сочетание нагрузок с учетом сейсмических воздействий допускается *частичный отрыв* подошвы фундамента от грунта при выполнении следующих условий:

- эксцентриситет  $e_a$  расчетной нагрузки не превышает одной трети ширины фундамента  $b$  в плоскости действия опрокидывающего момента, то есть выполняется условие:

$$e_a \leq \frac{1}{3} b; \quad (11)$$

- максимальное краевое давление под подошвой фундамента, вычисленное с учетом его неполного контакта с грунтом, не превышает краевой ординаты эпюры предельного сопротивления основания. То есть:

$$p_{\max} = \frac{2N_a}{3l(b/2 - e_a)} \leq p_b, \quad (12)$$

где значение  $p_b$  определяют по формуле (8), но для фундамента, имеющего условную ширину  $b_c = 1,5(b - 2e_a)$ . Критерием отрыва является выполнение условия  $e_a > b/6$ . Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления несущего слоя грунта в этом случае определяется по формуле:

$$N_{u,eq} = 0,5b_c l p_b. \quad (13)$$

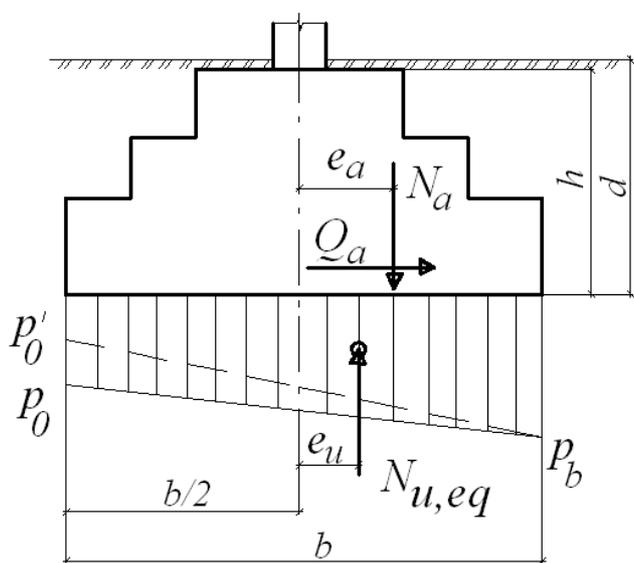


Рис. 2  
Расчетная схема основания и фундамента при полном опирании подошвы фундамента на грунт

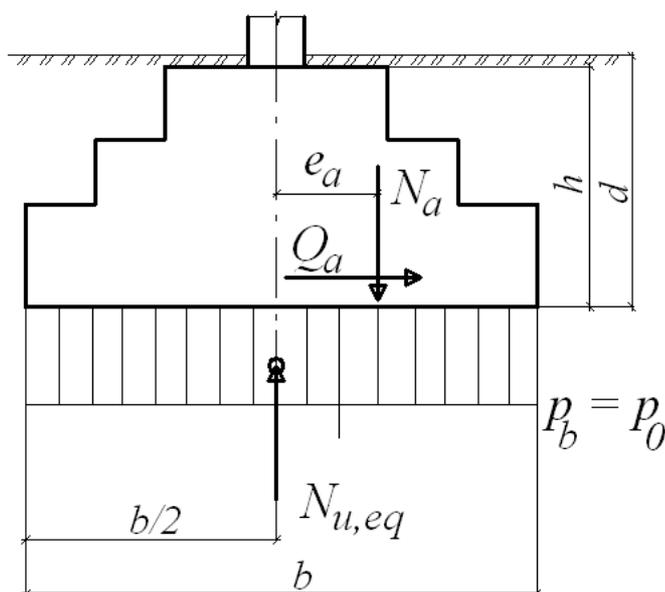


Рис. 3  
Эпюра предельного давления под подошвой фундамента при условии  $F_2 < k_{eq} F_3$

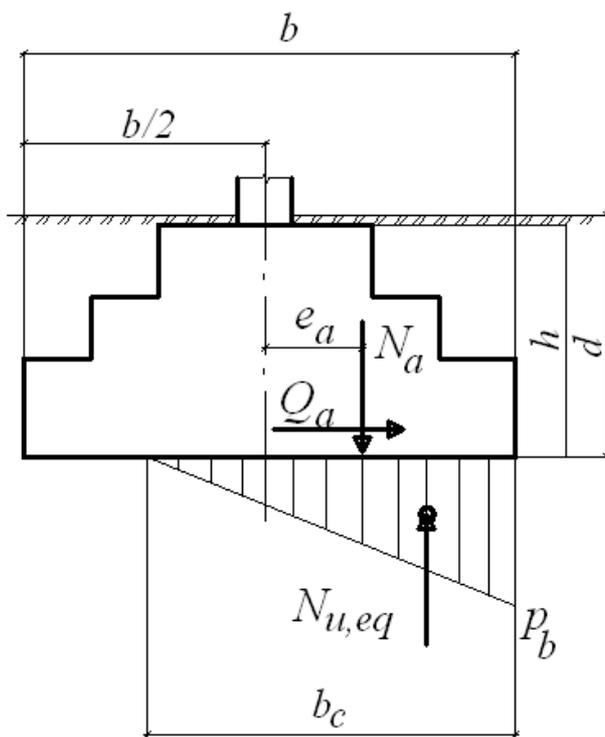


Рис. 4  
 Расчетная схема  
 основания и фундамента  
 при частичном отрыве

2. Расчет фундамента на сдвиг при действии сейсмической нагрузки производится исходя из условия:

$$Q_a \leq \frac{\gamma_{c,eq}}{\gamma_n} [N_a \operatorname{tg}(\varphi_I - \Delta\varphi_I) + c_I A], \quad (14)$$

где  $Q_a$  – горизонтальная составляющая нагрузки на уровне подошвы фундамента, принимается  $Q_a = Q_I^S$ ;

$A$  – площадь подошвы фундамента;

$\varphi_I$  – расчетные значения угла внутреннего трения без учета сеймики;

$\Delta\varphi_I$  – снижение расчетного угла внутреннего трения, принимаемое в зависимости от расчетной сейсмичности строительной площадки. При сейсмичности 7 баллов  $\Delta\varphi_I = 2^\circ$ ; 8 баллов –  $\Delta\varphi_I = 4^\circ$ ; 9 баллов –  $\Delta\varphi_I = 7^\circ$ .

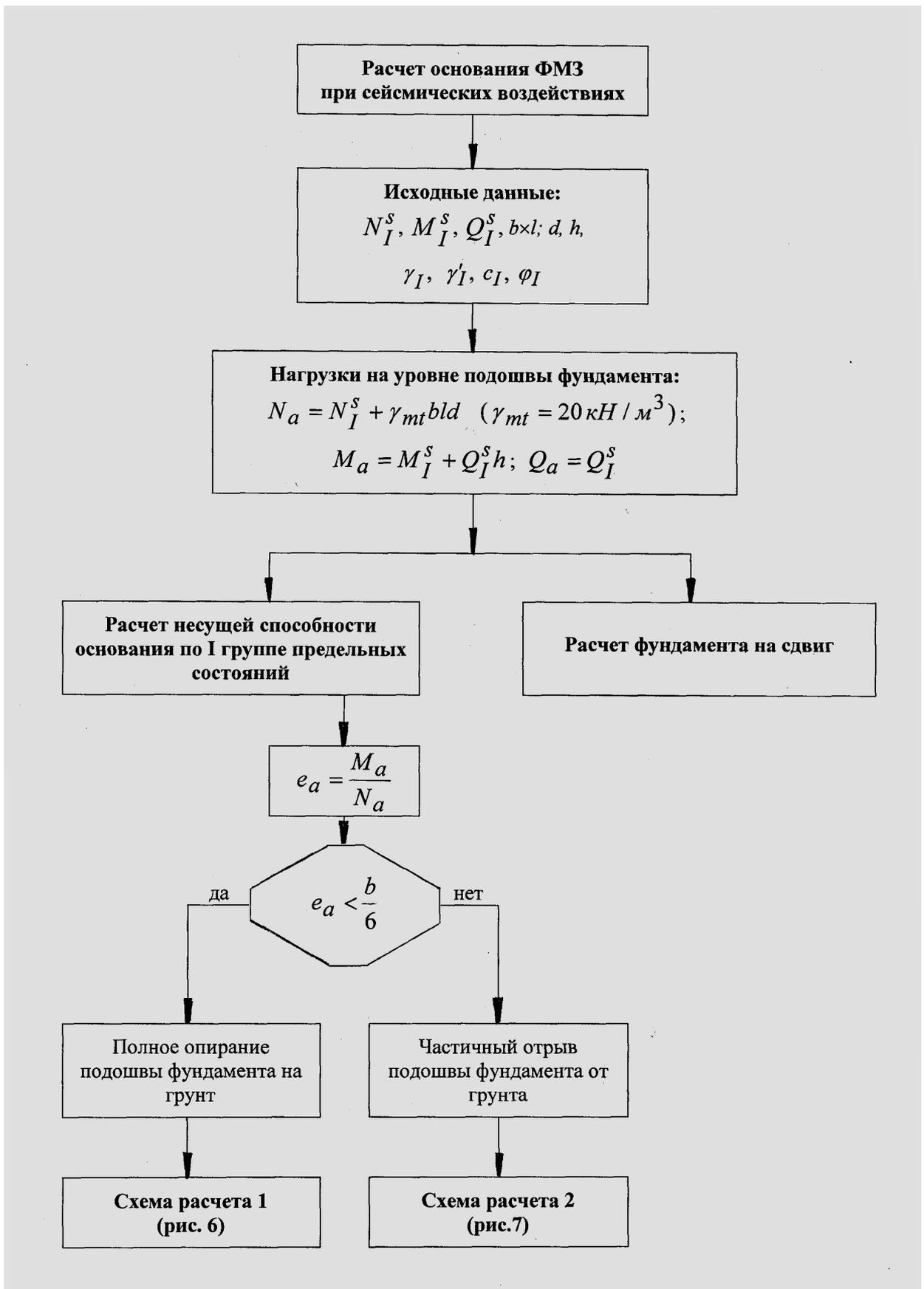


Рис. 5. Укрупненная блок-схема расчета основания фундамента на особое сочетание нагрузок (с учетом сейсмических воздействий)

### Схема расчета 1

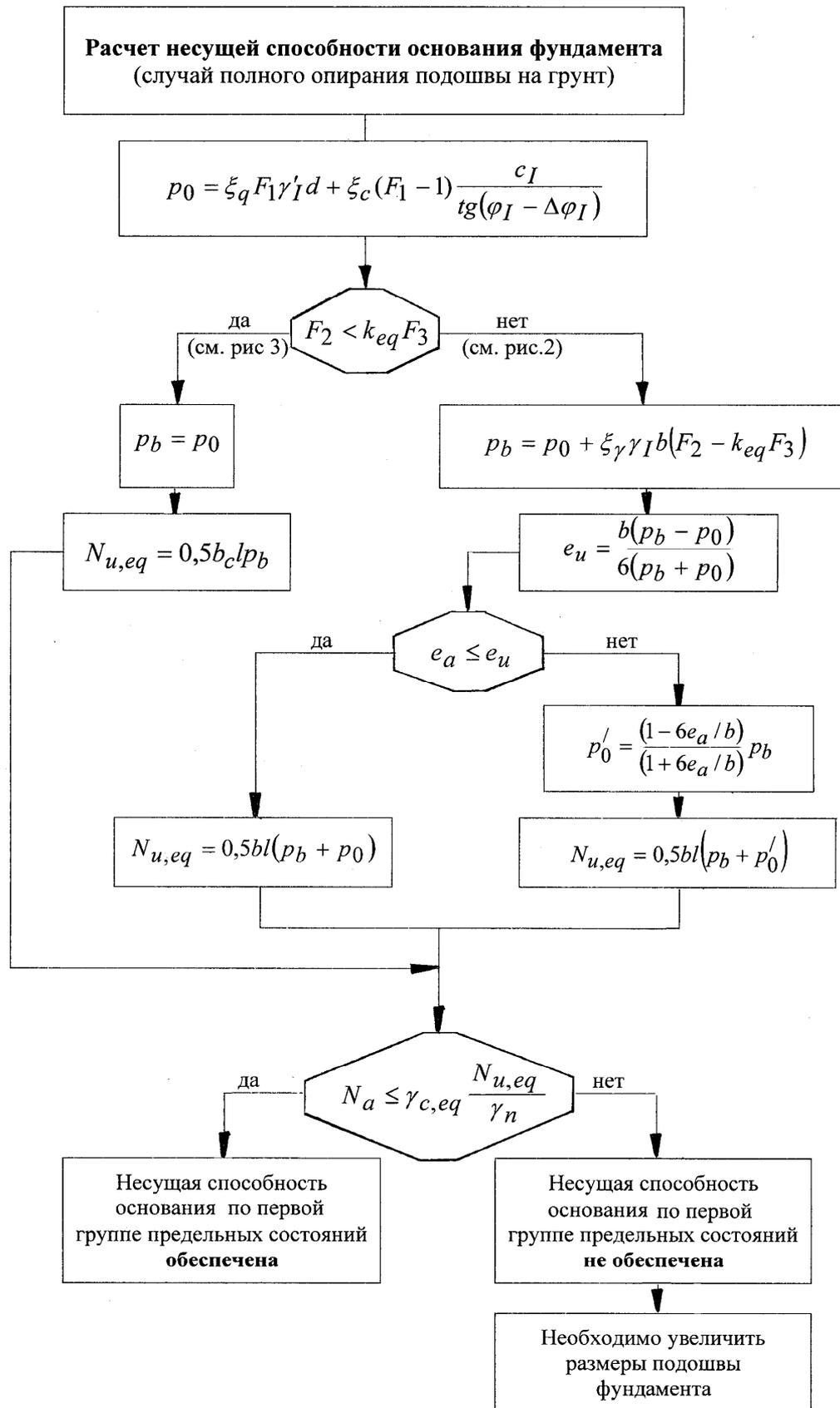


Рис. 6. Блок-схема расчета несущей способности основания фундамента с учетом сейсмических воздействий при полном опирании подошвы на грунт

### Схема расчета 2

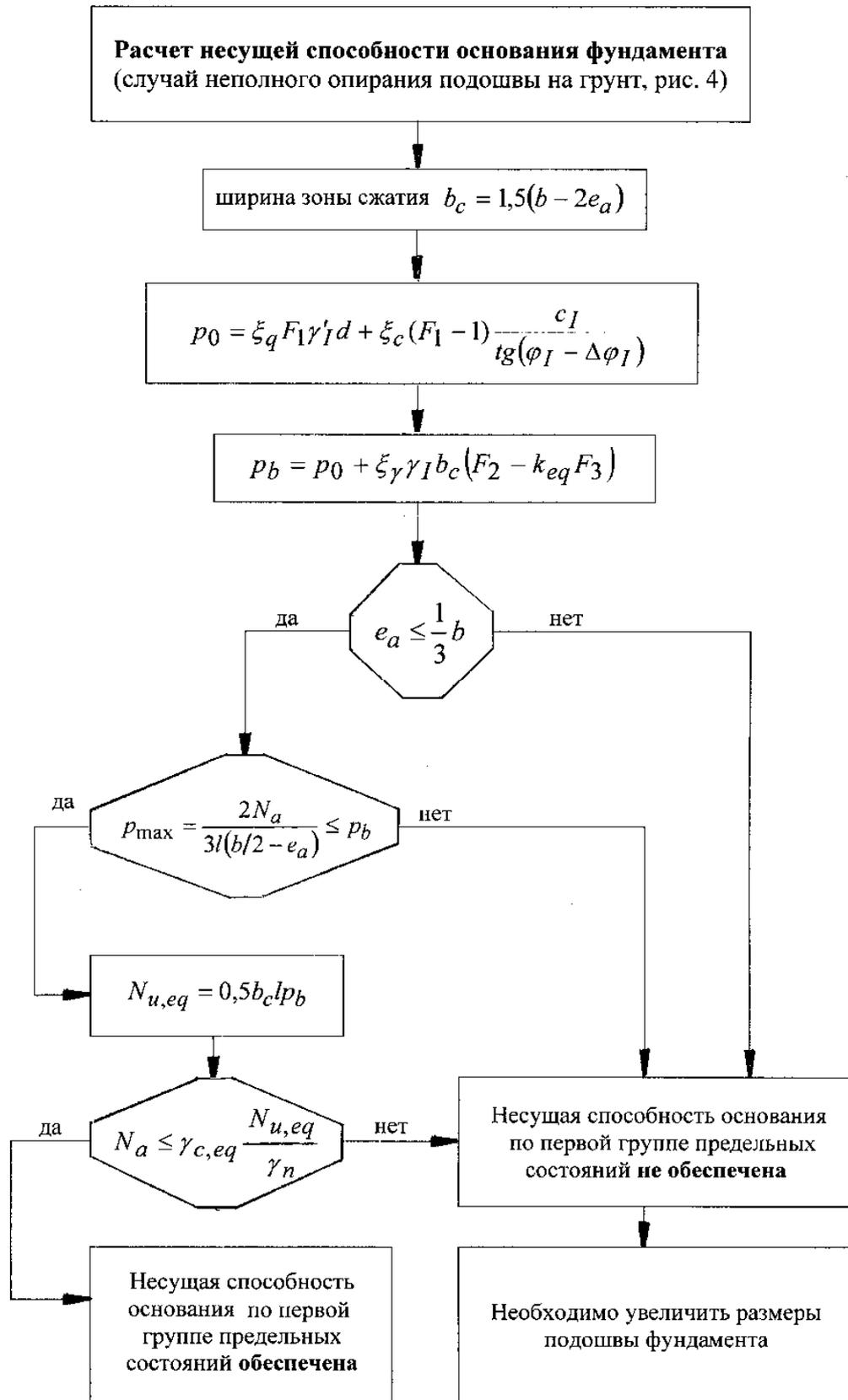


Рис. 7. Блок-схема расчета несущей способности основания фундамента с учетом сейсмических воздействий при частичном отрыве подошвы от грунта

## ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

### Пример 1

#### *Исходные данные:*

- расчетная сейсмичность строительной площадки – 9 баллов;
- категория грунта строительной площадки по сейсмическим свойствам – II;
- уровень ответственности здания – II;
- нагрузки, передающиеся на обрез фундамента при особом сочетании:

$$N_I^S = 1800 \text{ кН}; M_I^S = 203 \text{ кН}\cdot\text{м}; Q_I^S = 65 \text{ кН};$$

- размеры подошвы столбчатого фундамента  $2,4 \times 3,0$  м, при этом в направлении действия расчетного момента  $M_I^S$  фундамент имеет размер подошвы  $b = 3,0$  м, в перпендикулярном направлении  $l = 2,4$  м;
- высота фундамента  $d = 1,5$  м;
- глубина заложения подошвы фундамента  $d = 1,8$  м;
- в основании фундамента залегает грунт с характеристиками:

$$\gamma_I = 18 \text{ кН/м}^3; c_I = 9 \text{ кПа}; \varphi_I = 30^\circ;$$

- выше подошвы фундамента залегает грунт с удельным весом:  $\gamma'_I = 18 \text{ кН/м}^3$ .

**Требуется:** произвести расчет основания при особом сочетании нагрузок.

#### *Решение:*

- 1) Проверка несущей способности основания по I группе предельных состояний на действие вертикальной составляющей внецентренной нагрузки, передаваемой фундаментом на грунт при особом сочетании нагрузок.

Нагрузки на уровне подошвы фундамента:

$$N_a = 1800 + 20 \cdot 2,4 \cdot 3,0 \cdot 1,8 = 2059,2 \text{ кН};$$

$$M_a = 203 + 65 \cdot 1,5 = 300,5 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$Q_a = 65 \text{ кН}.$$

$$\text{Эксцентриситет расчетной нагрузки: } e_a = \frac{300,5}{2059,2} = 0,146 \text{ м}.$$

Поскольку  $e_a = 0,146 \text{ м} < b/6 = 0,5 \text{ м}$ , расчет ведем по схеме 1, как для случая полного опирания подошвы фундамента на грунт (блок-схемы на рис.5, 6).

При соотношении размеров подошвы фундамента  $b/l = 3,0/2,4 = 1,25 > 1$  принимаем коэффициенты  $\xi_q = 2,5$ ,  $\xi_c = 1,3$ ,  $\xi_\gamma = 0,75$ .

По графику на рис. 1 определяем коэффициенты  $F_1, F_2, F_3$  для заданного расчетного угла внутреннего трения  $\varphi_I = 30^\circ$ :  $F_1 = 18$ ;  $F_2 = 15$ ;  $F_3 = 26,5$ . Коэффициент  $k_{eq}$  принимаем равным 0,4 (при сейсмичности площадки 9 баллов). Так как условие  $F_2 < k_{eq} F_3$  не выполняется, ординаты

эпюры предельного давления под краями подошвы фундамента определяем по формулам (7,8):

$$p_o = 2,5 \cdot 18 \cdot 18 \cdot 1,8 + 1,3 \cdot (18 - 1) \frac{9}{\text{tg}30^0} = 1802,5 \text{ кПа};$$

$$p_b = 1802,5 + 0,75 \cdot 18 \cdot 3,0 \cdot (15 - 0,4 \cdot 26,5) = 1980,7 \text{ кПа}.$$

Эксцентриситет эпюры предельного давления:

$$e_u = \frac{3,0(1980,7 - 1802,5)}{6(1980,7 + 1802,5)} = 0,023 \text{ м} < e_a = 0,146 \text{ м}.$$

Поскольку выполняется условие  $e_a > e_u$  (случай больших эксцентриситетов), учитывается не вся эпюра предельного давления, а лишь ее усеченная часть. Минимальная ордината усеченной эпюры:

$$p'_o = \frac{(1 - 6 \cdot 0,146/3,0)}{(1 + 6 \cdot 0,146/3,0)} \cdot 1980,7 = 1085,4 \text{ кПа}.$$

Вертикальная составляющая силы предельного сопротивления основания:

$$N_{u,eq} = 0,5 \cdot 3 \cdot 2,4 \cdot (1980,7 + 1085,4) = 11037,96 \text{ кН}.$$

Принимая для грунтов II категории и для здания II уровня ответственности коэффициенты  $\gamma_{c,eq} = 0,8$  и  $\gamma_n = 1,15$ , проверим условие (1):

$$N_a = 2059,2 \text{ кН} < 0,8 \frac{11037,96}{1,15} = 7678,58 \text{ кН}.$$

Условие выполняется. Размеры

подошвы фундамента со значительным запасом удовлетворяют проверке основания по первому предельному состоянию при особом сочетании нагрузок.

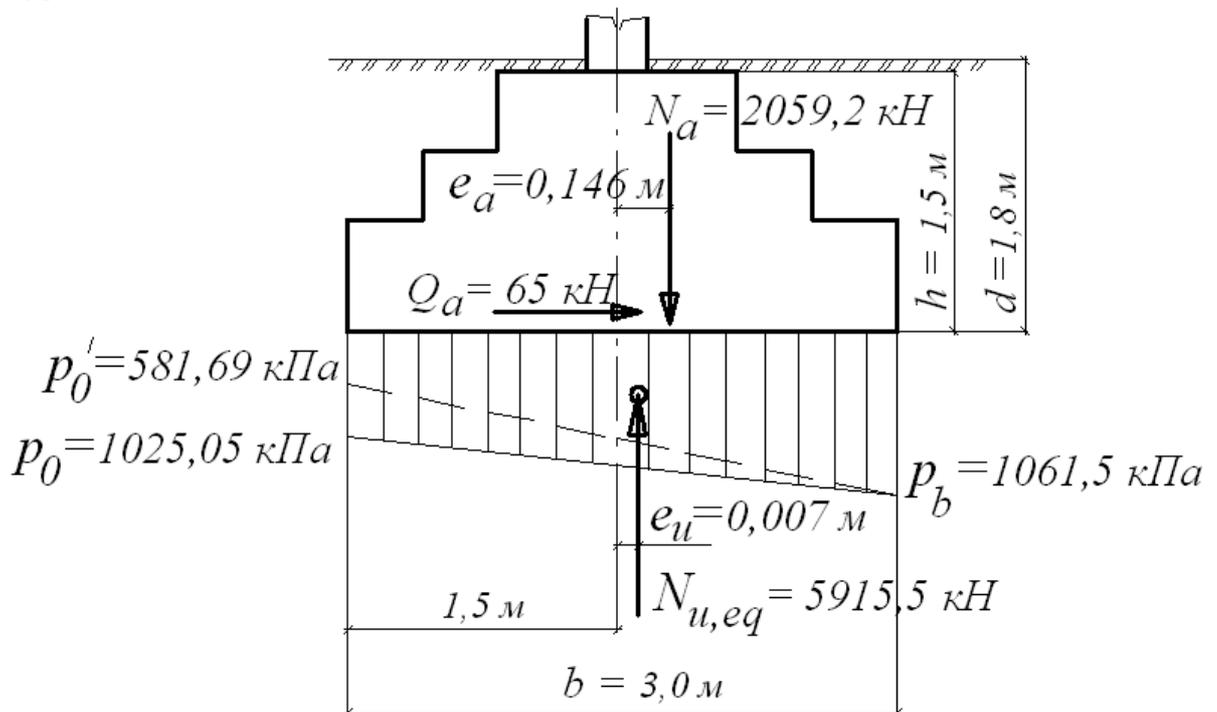


Рис.8. Расчетная схема основания и фундамента

Размеры подошвы фундамента со значительным запасом удовлетворяют проверке основания по первому предельному состоянию при особом сочетании нагрузок.

2) *Расчет фундамента на сдвиг по подошве от действия горизонтальной нагрузки при особом сочетании нагрузок.*

Используем формулу (7):

$$Q_a = 65 \text{ кН} < \frac{0,8}{1,15} \left[ 2059,2 \cdot \operatorname{tg}(30^\circ - 7^\circ) + 9 \cdot 3,0 \cdot 2,4 \right] = 653,13 \text{ кН.}$$

Условие **выполняется**. При заданных нагрузках и размерах подошвы фундамента сдвиг не происходит.

## Пример 2

**Исходные данные:**

- расчетная сейсмичность строительной площадки – 9 баллов;
- категория грунта строительной площадки по сейсмическим свойствам – II;
- уровень ответственности здания – III;
- нагрузки, передающиеся на обрешку фундамента при особом сочетании:

$$N_I^s = 1200 \text{ кН}; \quad M_I^s = 305 \text{ кН}\cdot\text{м}; \quad Q_I^s = 76 \text{ кН};$$

- размеры подошвы столбчатого фундамента  $b \times l = 1,5 \times 1,5 \text{ м}$ ;
- высота фундамента  $h = 1,5 \text{ м}$ ;
- глубина заложения подошвы фундамента  $d = 1,65 \text{ м}$ ;
- в основании фундамента залегает грунт с характеристиками:

$$\gamma_I = 18 \text{ кН/м}^3; \quad c_I = 10 \text{ кПа}; \quad \varphi_I = 24^\circ;$$

- выше подошвы фундамента залегает грунт с удельным весом:  $\gamma'_I = 18 \text{ кН/м}^3$ .

**Требуется:** произвести расчет основания при особом сочетании нагрузок.

**Решение:**

1) *Проверка несущей способности основания по I группе предельных состояний на действие вертикальной составляющей внецентренной нагрузки, передаваемой фундаментом на грунт при особом сочетании нагрузок.*

Нагрузки на уровне подошвы фундамента:

$$N_a = 1200 + 20 \cdot 1,5 \cdot 1,5 \cdot 1,65 = 1274,25 \text{ кН};$$

$$M_a = 305 + 76 \cdot 1,5 = 419,0 \text{ кН}\cdot\text{м};$$

$$Q_a = 76 \text{ кН.}$$

$$\text{Эксцентриситет расчетной нагрузки } e_a = \frac{419,0}{1274,25} = 0,329 \text{ м} > \frac{b}{6} = 0,25 \text{ м.}$$

Следовательно, имеет место частичный отрыв подошвы фундамента от грунта. Дальнейший расчет ведем по схеме 2 (рис. 5,7).

При соотношении размеров подошвы фундамента  $b/l = 1,5/1,5 = 1,0$  коэффициенты

$$\xi_q = 1 + 1,5 \cdot 1 = 2,5; \quad \xi_c = 1 + 0,3 \cdot 1 = 1,3; \quad \xi_\gamma = 1 - 0,25 \cdot 1 = 0,75.$$

По графику на рис. 1 определяем коэффициенты  $F_1, F_2, F_3$  для заданного расчетного угла внутреннего трения  $\varphi_I = 24^0$ :  $F_1 = 9,8$ ;  $F_2 = 6,5$ ;  $F_3 = 14$ . Коэффициент  $k_{eq}$  принимаем равным 0,4.

Ширина зоны сжатия  $b_c = 1,5 \cdot (1,5 - 2 \cdot 0,329) = 1,263$  м.

Ординаты эпюры предельного давления определяем по формулам (7,8):

$$p_o = 2,5 \cdot 9,8 \cdot 18 \cdot 1,65 + 1,3 \cdot (9,8 - 1) \frac{10}{\text{tg} 24^0} = 1236,09 \text{ кПа},$$

$$p_b = 1236,09 + 0,75 \cdot 18 \cdot 1,5 \cdot (6,5 - 0,4 \cdot 14) = 1254,315 \text{ кПа}.$$

Проверим условия (11) и (12):  $e_a = 0,263$  м  $< \frac{1}{3}b = \frac{1}{3} \cdot 1,5 = 0,5$  м. Условие

(11) выполняется. Максимальное давление под подошвой фундамента:

$$p_{\max} = \frac{2 \cdot 1274,25}{3 \cdot 1,5(1,5/2 - 0,263)} = 1162,9 \text{ кПа} < p_b = 1254,315 \text{ кПа}. \quad \text{Условие (12)}$$

также удовлетворяется. Следовательно, частичный отрыв допускается. При этом вертикальная составляющая силы предельного сопротивления несущего слоя грунта:

$$N_{u,eq} = 0,5b_c l p_b = 0,5 \cdot 1,263 \cdot 1,5 \cdot 1254,315 = 1188,15 \text{ кПа}.$$

Принимая для грунтов II категории и для здания III уровня ответственности коэффициенты  $\gamma_{c,eq} = 0,8$  и  $\gamma_n = 1,1$ , проверим условие (1):

$$N_a = 1247,25 \text{ кН} < 0,8 \frac{1188,15}{1,1} = 864,1 \text{ кН}. \quad \text{Условие не выполняется.}$$

Несущая способность основания не обеспечена. Принимаем решение увеличить размеры подошвы фундамента до  $1,8 \times 1,8$  м. Тогда

$$N_a = 1200 + 20 \cdot 1,8 \cdot 1,8 \cdot 1,65 = 1306,92 \text{ кН};$$

$$e_a = \frac{419,0}{1306,92} = 0,32 \text{ м};$$

$$b_c = 1,5(1,8 - 2 \cdot 0,32) = 1,74 \text{ м};$$

$$p_o = 1236,09 \text{ кПа};$$

$$p_b = 1236,09 + 0,75 \cdot 18 \cdot 1,8 \cdot (6,5 - 0,4 \cdot 14) = 1238,28 \text{ кПа};$$

$$N_{u,eq} = 0,5 \cdot 1,74 \cdot 1,8 \cdot 1238,28 = 1939,14 \text{ кПа}.$$

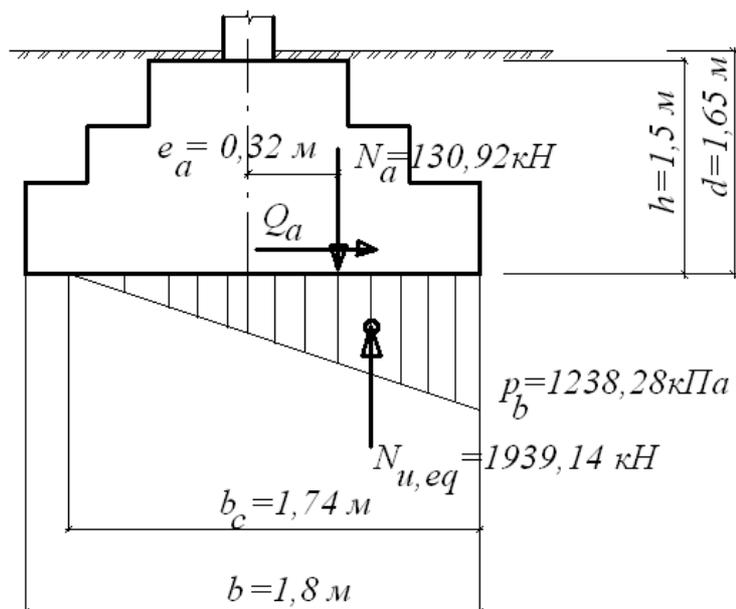


Рис.9. Расчетная схема основания и фундамента

Проверим условие (1):  $N_a = 1306,92 \text{ кН} < 0,8 \frac{1939,14}{1,1} = 1410,29 \text{ кН}$ .

Условие **выполняется**. Несущая способность основания по первой группе предельных состояний при размерах подошвы фундамента  $1,8 \times 1,8 \text{ м}$  обеспечена.

2) *Расчет фундамента на сдвиг по подошве от действия горизонтальной нагрузки при особом сочетании нагрузок.*

Используем формулу (7):

$$Q_a = 76 \text{ кН} < \frac{0,8}{1,1} \left[ 1306,92 \cdot \operatorname{tg}(24^{\circ} - 7^{\circ}) + 10 \cdot 1,8 \cdot 1,8 \right] = 314,15 \text{ кН}.$$

Условие **выполняется**. При заданных нагрузках и размерах подошвы фундамента сдвиг не происходит.

### Исходные данные для решения задачи

<b>Цифра шифра</b>	1	2	3	4	5	6	7
Расчетная сейсмичность площадки (1-я цифра)	7	8	9	-	-	-	-
Категория грунта (2-я цифра)	I	II	III	I	II	III	I
<b>Нагрузки на обрез при особом сочетании</b> $N_I^S$ , кН (5-я цифра)	1500	2000	1800	1200	1400	950	800
$M_I^S$ , кН*м (4-я цифра)	150	103	120	75	50	175	90
$Q_I^S$ , кН (4-я цифра)	50	60	45	70	65	30	66
Глубина заложения фундамента $d$ , м (5-я цифра)	1,9	1,65	1,95	2,3	2,55	3,2	4,2
Высота фундамента $h$ , м (5-я цифра)	1,2	1,5	1,8	2,1	2,4	0,9	1,5
Размеры подошвы фундамента в расчетном направлении $b$ , м (3-я цифра)	1,5	1,8	2,4	2,1	3,0	3,6	2,7
Размер подошвы фундамента в направлении, перпендикулярном расчетному $l$ , м (1-я цифра)	1,5	1,8	2,4	2,1	3,0	3,6	2,7
Расчетный угол внутреннего трения несущего слоя грунта, $\varphi_I$ , град (4-я цифра)	26	19	20	25	30	16	36
Расчетное удельное сцепление грунта $C_I$ , кПа (5-я цифра)	10	30	18	2	15	11	24
$\gamma'_I$ и $\gamma_I$ , кН/м <sup>3</sup> (3-я цифра)	17	18	19	20	19,8	18,5	16,0
Уровень ответственности здания	I	II	III	I	II	III	II

Требуется произвести расчет основания фундамента мелкого заложения при особом сочетании нагрузок (с учетом сейсмических воздействий).

## **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. СП 14.13330.2011 \* Строительство в сейсмических районах. (Актуализированная редакция СНиП II-7-81).
2. СП 22.13330.2011 Основания зданий и сооружений (Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83\*).
3. СП 50-101-2004 Проектирование и устройство оснований и фундаментов зданий и сооружений.
4. Основания и фундаменты: Справочник / Г.И. Швецов, И.В. Носков, А.Д. Слободян, Г.С. Госькова; Под ред. Г.И. Швецова. – М.: Высшая школа, 1991. – 383 с.
5. Основания, фундаменты и подземные сооружения/ М.И. Горбунов-Посадов, В.А. Ильичев, В.И. Крутов и др.; Под. общ. ред. Е.А. Сорочана и Ю.В. Трофименкова. М: – Стройиздат, 1985. – 480 с.

## **РАСЧЕТ ОСНОВАНИЙ ФУНДАМЕНТОВ ПРИ СЕЙСМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

### **Методические указания**

к выполнению практических занятий для студентов  
строительных специальностей и направлений подготовки  
08.03.01, 08.05.01

Составитель Нуриева Дания Мансуровна