ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ (НИИОСП)
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

Москва — 1971

gost.e-ecolog.ru

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Новая методика определения несущей способности свай по результатам их статических испытаний с учетом фактора времени 5
2. Предложения по расчету пирамидальных свай 7
3. Предложения по расчету свай с уширенной пятой 9
4. Методика расчета несущей способности свайных фундаментов с учетом совместной работы свай (метод МИСИ им. Куйбышева) 13
5. Рекомендации по расчету несущей способности куста свай на вертикальную нагрузку (метод НИИ оснований) . . . 21
6. Рекомендации по определению несущей способности однорядных свайных фундаментов с ростверком на грунте и одиночных свай с ростверками оголовками 23
7. Расчет с использованием ЭЦВМ свайных фундаментов с высоким жестким ростверком на вертикальную нагрузку 25
8. Расчет осадок однорядных и многорядных свайных фундаментов 26
9. Расчет одиночной сваи на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок 29

Приложение. Расчет свайных фундаментов с жестким ростверком на вертикальную нагрузку 53

Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений (НИИОСП) Госстроя СССР

Рекомендации по расчету свайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки (для экспериментального проектирования)

* * *

Стройиздат
Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 9

* * *

Редактор издательства *Л. А. Савранская*
Технический редактор *В. М. Родионова*
Корректор *О. В. Стигнеева*

Сдано в набор 29/IV 1971 г. Подписано к печати 5/XI 1971 г.
Т-13986 Формат 84×108$^{1}/_{32}$ д. л. — 1,17 бум. л.
3,78 усл. печ. л. (уч.-изд. 4,20 л.)
Тираж 32 000 экз. Изд. № XII—2941 Заказ № 219 Цена 21 коп.

Подольская типография Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР
г. Подольск, ул. Кирова, д. 25

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ ОСНОВАНИЙ
И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ (НИИОСП)
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО РАСЧЕТУ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ И ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКИ

(для экспериментального проектирования)



ИЗДАТЕЛЬСТВО ЛИТЕРАТУРЫ ПО СТРОИТЕЛЬСТВУ
Москва — 1971

УДК 624.154.042

«Рекомендации по расчету свайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки» содержат расчеты для проектирования свай и свайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки.

Рекомендации разработаны Научно-исследовательским институтом оснований и подземных сооружений Госстроя СССР совместно с Башниистроем, МИСИ им. Куйбышева, Уральским Промстройниипроектом и Пермским политехническим институтом.

Настоящие Рекомендации рассчитаны на инженерно-технический персонал, занимающийся экспериментальным проектированием.

3-2-4
План IV кв. 1970 г., № 16

ПРЕДИСЛОВИЕ

«Рекомендации по расчету свайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки» разработаны на основании экспериментальных и теоретических исследований, проведенных в Научно-исследовательском институте оснований и подземных сооружений совместно с Башниистроем, МИСИ им. Куйбышева, Уральским Промстройниипроектом и Пермским политехническим институтом в 1966—1969 гг., и содержат расчеты свайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки для экспериментального проектирования.

Работа состоит из следующих разделов:

1. Новая методика определения несущей способности свай по результатам их статических испытаний с учетом фактора времени (НИИ оснований и подземных сооружений).

2. Предложения по расчету пирамидальных свай (НИИ оснований и подземных сооружений).

3. Предложения по расчету свай с уширенной пятой (Уральский Промстройниипроект, НИИ оснований и подземных сооружений).

4. Метод расчета несущей способности однорядных свайных фундаментов с низким ростверком, передающим часть нагрузки через подошву ростверка (НИИ оснований и подземных сооружений).

5. Методика расчета несущей способности свай (МИСИ им. Куйбышева).

6. Методика расчета несущей способности свай (НИИ оснований и подземных сооружений)[1].

---

[1] Метод МИСИ им. Куйбышева рекомендуется применять в слабых глинистых грунтах, в остальных случаях применяют метод НИИ оснований и подземных сооружений.

7. Расчет с использованием ЭЦВМ высокого жесткого ростверка на вертикальную нагрузку (НИИ оснований и подземных сооружений. Промстройпроект).

8. Определение осадок однорядных, двухрядных и трехрядных свайных фундаментов (Пермский политехнический институт).

9. Расчет одиночной сваи на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок (Башниистрой).

Составители: кандидаты техн. наук В. А. Барвашов, Б. В. Бахолдин, Б. Л. Фаянс, А. П. Хамов, инж. В. А. Кондрашов (НИИ оснований); кандидаты техн. наук А. А. Бартоломей (Пермский политехнический институт); Н. М. Дорошкевич, Б. А. Сальников (МИСИ им. Куйбышева); кандидаты техн. наук А. Н. Тетиор (Уральский Промстройниипроект), В. Б. Шахирев (Башниистрой), инж. А. М. Шор (Промстройпроект).

1. НОВАЯ МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ СВАЙ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИХ СТАТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ С УЧЕТОМ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Настоящая методика распространяется на все песчаные грунты и глинистые грунты от мягко-пластичной до твердой консистенции.

1.2. Методика не распространяется на просадочные грунты, илы, торф и мерзлые грунты.

ОСОБЕННОСТИ ИСПЫТАНИЯ СВАЙ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ НОВОЙ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ

1.3. Загружение свай должно производиться ступенями. Первые две ступени принимаются равными $^1/_3$—$^1/_5$, а остальные $^1/_{10}$—$^1/_{15}$ части ожидаемой предельной нагрузки.

1.4. Продолжительность приложения каждой ступени нагрузки — 3 *ч*.

1.5. Снятие отсчетов осадки сваи под нагрузкой в процессе испытаний должно производиться с точностью до 0,1 *мм*, причем на каждой ступени нагрузки первый отсчет должен сниматься через 5 *мин* с момента увеличения нагрузки на ступень, второй — через 10 *мин*, третий — через 15 *мин* и каждый последующий — через 30 *мин*.

1.6. Общую осадку сваи в процессе испытаний рекомендуется доводить до величины не менее 25 *мм*.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ И СТАБИЛИЗИРОВАННОЙ (ЗАТУХШЕЙ) ОСАДКИ СВАИ

1.7. Несущая способность сваи P определяется в соответствии с СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты Нормы проектирования» по формуле

$$P = k\,m\,P_{\text{н}}, \qquad (1)$$

где k — коэффициент однородности, принимаемый равным 0,8;

m — коэффициент условий работы, принимаемый $m=1$;

$P_н$ — нормативное сопротивление сваи в $т$, определяемое по графику зависимости стабилизировавшейся (затухшей) во времени осадки сваи S_{P_i} от передаваемой на нее нагрузки и соответствующее нагрузке, при которой стабилизировавшаяся (затухшая) осадка равна допустимой осадке для данного здания или сооружения, принимаемой в соответствии со СНиП II-Б.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования».

1.8. Величина стабилизировавшейся (затухшей) осадки сваи для каждой ступени нагрузки определяется по результатам статических испытаний сваи в соответствии с формулой (1)

$$S_{P_i} = \Delta_1 + \Delta_2 + S_{t_1} \sqrt{\frac{360 \cdot 24\, t_2}{t_1}}, \qquad (2)$$

где Δ_1 — осадка сваи от нагрузки, предшествующей данной ступени, в *мм*;

Δ_2 — условно мгновенная осадка сваи в *мм* от нагрузки данной ступени, принимаемая условно равной приращению осадки сваи, измеренной спустя 5 *мин* с начала приложения нагрузки данной ступени;

S_{t_1} — приращение осадки сваи в *мм* за время $t_1 = 3$ *ч* выдержки рассматриваемой ступени нагрузки;

Таблица 1

Скорость затухания осадки

Время условной стабилизации (затухание) осадки t_2 в годах при величине $a_i - a_{i-1}$, равной												
3,6	2,4	2,2	2,1	1,3	1,2	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7	0,5	0,4
1	2	3	4	5	6	7	9	10	12	14	15	19

Примечание. Для промежуточных значений $a_i - a_{i-1}$ время t_2 определяется по интерполяции.

t_2 — время условной стабилизации (затухание) осадки сваи в годах, принимаемое как время, после которого скорость затухания осадки составляет 1 *мм/град*, и определяемое по табл. 1 в зависимости от величины, определяемой по формуле (2)

$$a_i - a_{i-1} = \frac{1\ мм/год}{S_{t_1}}, \qquad (3)$$

где t_1 — время выдержки ступени нагрузки, принимаемое обычно равным 2 *ч* 55 *мин*, т. е. $t \approx 3$ *ч*.

2. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ ПИРАМИДАЛЬНЫХ СВАЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Пирамидальные сваи при одном и том же расходе материала имеют в большинстве грунтовых условий бо́льшую несущую способность, чем призматические сваи.

2.2. Наиболее эффективным по грунтовым условиям случаем применения пирамидальных свай является случай, когда сваи забиваются в относительно однородных по глубине грунтах. В этом случае несущая способность пирамидальной сваи может быть в 1,5—2 раза выше в сравнении с несущей способностью призматической сваи того же объема.

2.3. Пирамидальные сваи без поперечного армирования исходя из прочности их на ударные нагрузки могут применяться при забивке их главным образом в глинистых грунтах от текучей до туго-пластичной консистенции с пробивкой в случае необходимости небольших пластов порядка 1—2 *м* глинистых грунтов полутвердой, а при макропористых грунтах и твердой консистенции, а также небольших пластов песчаных грунтов не выше средней плотности.

2.4. Применять пирамидальные сваи рекомендуется в тех случаях, когда несущая способность пирамидальной сваи, полученная по указанной методике, оказывается выше несущей способности призматической сваи.

2.5. Пирамидальные сваи могут применяться только в малопучинистых грунтах.

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ПИРАМИДАЛЬНЫХ СВАЙ

2.6. Несущая способность P в $т$ забивной пирамидальной или конической сваи, работающей на осевую сжимающую нагрузку, определяется как сумма расчетных сопротивлений грунта под нижним концом сваи за счет сил трения и отпора грунта по формуле

$$P = k\,m\,[R_н F + \Sigma U_i\, l_i\, (f_i + 10\, i_c E_i\, \gamma_г)], \qquad (4)$$

где k — коэффициент однородности грунта, принимаемый $k=0{,}7$;

m — коэффициент условий работы, принимаемый $m=1$;

$R_н$ — нормативное сопротивление грунта под нижним концом свай в $т/м^2$, определяемое по табл. 1 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования»;

F — площадь опирания на грунт нижнего конца сваи в $м^2$;

U_i — средняя величина периметра поперечного сечения сваи в пределах i-го слоя грунта в $м$;

l_i — толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, в $м$;

f_i — нормативное сопротивление i-го слоя грунта по боковой поверхности сваи в $т/м^2$, определяемое по табл. 2 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования»;

i_c — уклон боковой поверхности сваи в долях единиц;

E_i — модуль деформации i-го слоя грунта, окружающего боковую поверхность сваи в $кГ/см^2$, определяемый по результатам компрессионных испытаний;

$\gamma_г$ — коэффициент отпора грунта, определяемый по табл. 2, в зависимости от вида грунта.

Таблица 2

Коэффициент отпора грунта

Вид грунта	Значение
Пески и супеси	0,5
Суглинки	0,6
Глины тощие ($W = 18$)	0,7
Глины жирные ($W = 25$)	0,9

Примечание. При глинах с числом пластичности $18 < W < 25$ значение $\gamma_г$ берется по интерполяции.

Пример.

Пирамидальная свая длиной 6 *м*; сечением 40×40 *м* в верхнем конце и 20×20 *м* в нижнем погружена в пределах площадки, характеризующейся залеганием на глубину до 3 *м* туго-пластичных суглинков с консистенцией $B = 0{,}3$ и модулем деформации $E = 60$ *кГ/см*^{2}, подстилаемых мягко-пластичными суглинками с консистенцией $B = 0{,}4$ и модулем деформации $E = 45$ *кГ/см*^{2}. Определить несущую способность указанной пирамидальной сваи на вертикальную нагрузку.

Расчетные величины согласно приведенным выше условиям и СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования» следующие:

$$R_н = 210\ т/м^2;\quad F = 0{,}04\ м^2;\quad U_1 = 4 \cdot 0{,}35 = 1{,}35\ м;$$

$$U_2 = 4 \cdot 0{,}25 = 1\ м;\quad l_1 = 3\ м;\quad l_2 = 3\ м;$$

$$f_1 = \frac{2{,}3 + 3{,}5}{2} = 2{,}9\ т/м^2;\quad f_2 = \frac{1{,}5 + 2{,}5}{2} = 2\ т/м^2;$$

$$i_c = \frac{0{,}5\ (0{,}4 - 0{,}2)}{6} = 0{,}0166.$$

По формуле (4) имеем:

$$P = 0{,}7 \cdot 1\ [210 \cdot 0{,}04 + 1{,}35 \cdot 3\ (2{,}9 + 10 \cdot 0{,}0166 \cdot 60 \cdot 0{,}6) +$$
$$+ 1{,}3\ (2 + 10 \cdot 0{,}0166 + 45 \cdot 0{,}6] = 0{,}7\ [8{,}4 + 4{,}1\ (2{,}9 + 6) +$$
$$+ 3\ (2 + 4{,}5)] = 0{,}7\ (8{,}4 + 36 + 19{,}6) = 0{,}7 \cdot 64 = 45\ т.$$

3. ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО РАСЧЕТУ СВАЙ С УШИРЕННОЙ ПЯТОЙ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1. Перспективной конструкцией свай с уширением для массового строительства в районах распространения слабых грунтов являются сваи с уширенным нижним концом.

3.2. Сваи с уширением в нижнем конце ствола рекомендуется применять для зданий и сооружений, передающих на фундаменты практически только вертикальные *сжимающие нагрузки.*

3.3. Применение свай с уширениями рационально в грунтовых условиях, характеризующихся залеганием с поверхности слабых грунтов (глинистые грунты текучепластичной и текучей консистенции; илы, рыхлые пески, торф), подстилаемых на некоторой глубине слоем песчаных грунтов средней плотности или слоем глинистых грунтов туго-пластичной и полутвердой консистенции.

3.4. Использование свай с уширениями в указанных грунтовых условиях позволяет уменьшить расход материала по сравнению с железобетонными призматическими сваями за счет увеличения несущей способности сваи в 1,5—2 раза и более при сохранении неизменными размеров ствола сваи.

3.5. Возможно применение свай с объемным и плоским уширением.

3.6. Сваи с объемным уширением рекомендуются в случаях, когда с поверхности залегают оплывающие грунты (например, рыхлые насыщенные водой пески) или торф.

Сваи с плоским уширением рекомендуется применять также при устройстве свайных фундаментов в слабых неоплывающих грунтах, так как в одном направлении они обеспечивают первоначальную устойчивость ствола сваи без тщательной засыпки пазух, образующихся между грунтом и сваей при забивке.

3.7. Рекомендуемые параметры свай с уширением ствола: *длина сваи до 12 м,* сечение ствола 30×30 *см*; сечение объемного уширения до 60×60 *см*, а плоского до 30×90 *см*; высота уширения до 100 *см*.

РАСЧЕТ ФУНДАМЕНТОВ ИЗ ЗАБИВНЫХ СВАЙ И УШИРЕНИЕМ СТВОЛА

3.8. Несущая способность забивных свай с уширениями определяется по грунту и по материалу сваи (рис. 1).

3.9. Несущая способность по грунту в *т* для свай с уширением у острия, забитых в оплывающие грунты или при засыпке пазух выше уширения песком с уплот-

нением его до средней плотности, определяется по формуле

$$P = k\,m\,(R_н F_у + U_у h_у f_н + U_с \Sigma f_i^н l_i), \qquad (5)$$

где k — коэффициент однородности грунта, принимаемый $k=0{,}7$;

m — коэффициент условий работы, принимаемый $m=1$;

$R_н$ — нормативное сопротивление по указаниям табл. 1 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования»;

$F_у$ — площадь поперечного сечения уширенного конца сваи в месте наибольшего уширения в $м^2$;

$U_у$ — периметр уширения в $м$;

$h_у$ — высота уширения в $м$;

$f_н$ — нормативное сопротивление грунта по боковой поверхности уширения в $т/м^2$, определяемое по табл. 2 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования», на уровне середины уширения;

$U_с$ — периметр ствола сваи в $м$;

$f_i^н$ — нормативное сопротивление i-го слоя грунта по боковой поверхности ствола, определяемое применительно к грунту естественных напластований по табл. 2 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования»;

l_i — толщина i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью ствола, в $м$.

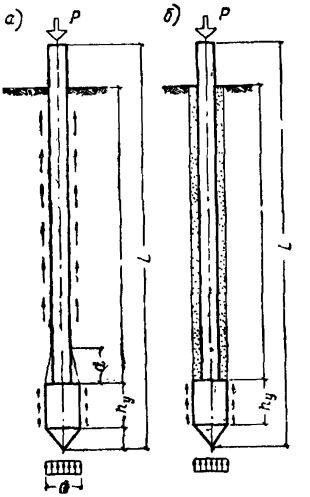


Рис. 1. Расчетная схема свай с уширением

а — без заполнения пазух; *б* — с заполнением пазух

При расчете l_i не учитывается трение грунта по стволу над уширением в пределах высоты, равной одному диаметру или размеру стороны уширения.

3.10. Несущая способность по грунту для свай с уширением у острия в *т*, погруженных без заполнения пазух выше уширения или с неуплотненной засыпкой, вычисляется по формуле

$$P = k\,m\,(R_н F_у + U_у h f_н - P_г), \qquad (6)$$

где k, m, $R_н$, $F_у$, $U_у$, $h_у$, $f_н$ см. формулу (5);

$P_г$ — вес засыпки пазух выше уширений, равный произведению объема засыпки на объемный вес грунта, в $т/м^3$.

3.11. Если полость в грунте выше уширения не заполнена плотным грунтом, несмещаемость свай в горизонтальном направлении должна быть обеспечена конструкцией ростверка или наклонными сваями.

3.12. Расчет свай с местными уширениями по материалу ствола производится как для центрально сжатых элементов по формулам:

а) железобетонные сваи

$$P \leqslant 1000\,m\,\varphi\,(R_{пр} F_б + R_{а.у} F_а); \qquad (7)$$

б) металлические сваи

$$P \leqslant 1000\,R\,F_{нт},$$

$$P \leqslant 1000\,R\,\varphi\,F, \qquad (8)$$

где m — коэффициент условий работы, $m=1$;

φ — коэффициент продольного изгиба;

$R_{пр}$ — призменная прочность бетона;

$F_б$ — площадь сечения сваи;

$R_{а.у}$ — условное расчетное сопротивление арматуры, равное расчетному сопротивлению, умноженному на коэффициент условий работы в соответствии с главой СНиП II-Б.1-62 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования»;

$F_а$ — площадь сечения продольной арматуры;

R — расчетное сопротивление стали на сжатие;

$F_{нт}$ — площадь сечения нетто;

F — общая площадь сечения стальной сваи.

Если полость, образующаяся при забивке, выше уширения заполнена песком с уплотнением или оплывшим грунтом, то коэффициент продольного изгиба принимается равным $\varphi=1$. В остальных случаях коэффициент продольного изгиба φ определяется по табл. 3.

Таблица 3

Значение коэффициента φ

$\frac{l_0}{b}$	14	16	18	20	22	24	26	28	30
$\frac{l_0}{d}$	12,1	13,9	15,6	17,3	19,1	20,8	22,5	24,3	26
$\frac{l_0}{r}$	50	55,4	62,2	69	76	83	90	97	104
φ	1	0,88	0,8	0,63	0,67	0,62	0,57	0,53	0,5

Примечание. В таблице приняты обозначения: l_0 — расчетная длина сваи; b — наименьший размер сечения призматической сваи; d — диаметр круглой сваи; r — наименьший радиус инерции сечения.

Расчетную длину сваи l_0 определяют в зависимости от условной величины заделки головы в ростверке и забивки уширения в плотный грунт.

Если уширение оперто на плотный грунт, принимается шарнирное закрепление ствола. Когда уширение забито в плотный грунт не менее чем на $2b$ (где b — ширина уширения), можно принимать жесткое защемление нижнего конца сваи.

Расчетная длина l_0 вычисляется в зависимости от длины сваи l так:

а) при полном защемлении обоих концов сваи $l_0 = 0{,}5l$;

б) при защемлении одного конца и шарнирном опирании другого $l_0 = 0{,}7$;

в) при шарнирно неподвижном закреплении обоих концов $l_0 = l$;

г) при одном защемлении и другом свободном конце (голова сваи) $l_0 = 2l$.

4. МЕТОДИКА РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ[1] СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С УЧЕТОМ СОВМЕСТНОЙ РАБОТЫ СВАЙ (метод МИСИ им. Куйбышева)[1]

4.1. Несущая способность свайного фундамента с учетом совместной работы свай определяется по формуле

$$P = \sum_{i=1}^{n} (T_i l + R_i F), \qquad (9)$$

[1] Метод рекомендуется применять в слабых глинистых грунтах.

где l — глубина погружения сваи в грунт в *м*;

F — площадь поперечного сечения сваи в $м^2$;

n — количество свай в кусте;

R_i — сопротивление грунта под нижним концом i-й сваи в кусте в $т/м^2$, определяемое согласно п. 4.2;

T_i — сопротивление грунта, приходящееся на единицу длины боковой поверхности i-й сваи в кусте в *т/м*, определяемое согласно п. 4.3.

4.2. Сопротивление грунта под нижним концом i-й сваи в кусте определяется по формуле

$$R_i = R_0 (1 + K_\sigma)_i, \tag{10}$$

где R_0 — сопротивление грунта под нижним концом одиночной сваи в $т/м^2$;

K_σ — безразмерный коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления грунта под острием сваи в кусте в результате уплотнения грунта в процессе забивки соседних свай, определяемый по формуле

$$K_\sigma = \sum_{i=1}^{n-1} \overline{K}_{\sigma_i}, \tag{11}$$

где $\overline{K}_{\sigma_i}$ — коэффициент, учитывающий увеличение сопротивления грунта под нижним концом сваи от влияния одной сваи. Их значения представлены графиками на рис. 2 в зависимости от соотношения размеров сваи $\eta = \frac{l}{d}$ и расстояния между сваями $r = \frac{a}{d}$, где d — диаметр круглой или сторона поперечного сечения квадратной сваи и a — расстояние между сваями по осям.

Суммирование по формуле (11) осуществляется следующим образом: вычерчивается в определенном масштабе куст свай, замеряются расстояния a от оси рассматриваемой сваи до осей всех других свай куста, высчитываются отношения $r = \frac{a}{d}$ и соответственно по рис. 2 определяются $\overline{K}_{\sigma_i}$, сумма которых K_σ.

4.3. Сопротивление грунта по боковой поверхности сваи в кусте определяется в зависимости от положения сваи в плане куста.

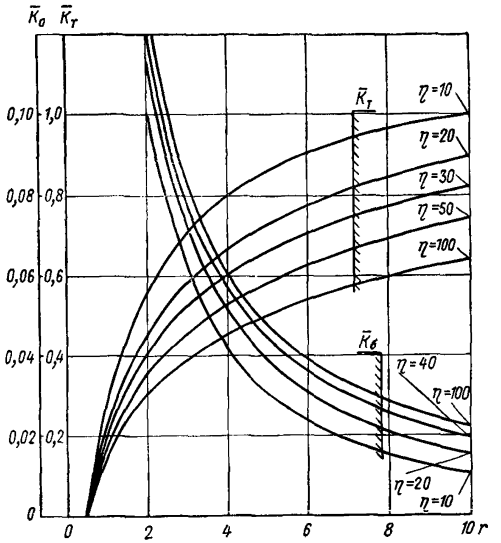


Рис. 2. График зависимости K_σ, K_τ от r
1—16 — количество свай в плане

Для сваи, расположенной в центре тяжести квадратного в плане куста, по формуле

$$T_ц = T_0 K_{т.ц}, \qquad (12)$$

где T_0 — сопротивление грунта, приходящееся на единицу длины боковой поверхности одиночной сваи в *т/м*, равное πdf, где f — удельное сопротивление грунта по боковой поверхности одиночной сваи в $т/м^2$;

$K_{ц.т}$ — безразмерный коэффициент, учитывающий снижение трения грунта по боковой поверх-

ности центральной сваи в кусте вследствие совместной работы всех свай. Он определяется по формуле

$$K_{тц} = (\overline{K}_т)_1 (\overline{K}_т)_2 \ldots (\overline{K}_т)_{\frac{n}{2}-1} (\overline{K}_т)_{\frac{n}{2}}, \qquad (13)$$

где $\overline{K}_т$ — коэффициент, учитывающий снижение сопротивления грунта по боковой поверхности сваи от действия одной сваи. Значения этих коэффициентов представлены графиками на рис. 2 в зависимости от η и r. Порядок вычисления коэффициента $K_т$ изложен ниже.

Для любой сваи свайного фундамента (кроме сваи, расположенной в центре тяжести квадратного куста) по формуле

$$T_i = T_0 \frac{\sqrt{\pi}\,(K_т)_{макс\ i}}{\sqrt{|\ln K_т|_i}}\ \Phi(x)_i, \qquad (14)$$

где $\Phi(x)_i$ — интеграл вероятности, определяемый по графику (рис. 3) в зависимости от $K_т$ и m, где m — количество нулей в значении $K_т$ до первой значащей цифры, включая и нуль целых.

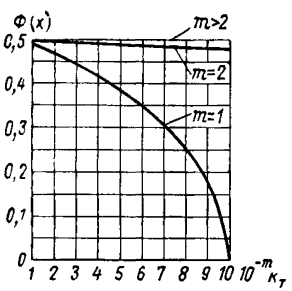


Рис. 3. График зависимости $\Phi(x)$ от $K_т$

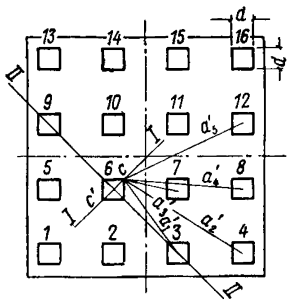


Рис. 4. Расчетная схема

Входящий в формулу (14) коэффициент $K_т$ учитывает снижение сопротивления грунта по боковой поверхности сваи в кусте по сравнению с одиночной сваей. Он равен

$$K_т = \frac{(K_т)_{мин}}{(K_т)_{макс}}. \qquad (15)$$

Для угловых и боковых свай куста $(K_т)_{макс} = 1$.

Коэффициенты $(K_т)_{мин}$ и $(K_т)_{макс}$ определяются по следующим формулам:

$$(K_т)_{мин} = (\overline{K}_т)_1 (\overline{K}_т)_2 (\overline{K}_т)_3 \ldots (\overline{K}_т)_{j-1} (K_т)_j; \qquad (16)$$

$$(K_т)_{макс} = (\overline{K}_т)_{j+1} (\overline{K}_т)_{j+2} \ldots (\overline{K}_т)_{n-1} (\overline{K}_т)_n, \qquad (17)$$

где j — число свай, расположенных в сторону центра тяжести плана свайного фундамента от линии *II*, проходящей через центр рассматриваемой сваи перпендикулярно прямой *I*, соединяющей центр сваи и центр тяжести свайного фундамента;

$n-j$ — число свай, расположенных по другую сторону линии *II*.

Порядок вычисления коэффициентов $(K_т)_{мин}$ и $(K_т)_{макс}$ изложен в п. 4.4.

4.4. Расчеты по формулам (16) и (17) производятся в следующей последовательности. На вычерченном в определенном масштабе плане куста свай (рис. 4) проводится прямая *I*, соединяющая центр тяжести куста и центр рассматриваемой сваи. Пересечение этой прямой с боковой поверхностью рассматриваемой сваи дает точки *C* и *C'*.

Перпендикулярно прямой через центр рассматриваемой сваи проводится другая прямая, которая делит свайное поле на две части. Недоиспользование вследствие совместной работы свай куста сил трения грунта по боковой поверхности рассматриваемой сваи в точке *C* учитывается коэффициентом $(K_т)_{мин}$, который определяется по формуле (16), как произведение коэффициентов $\overline{K}_т$ от j свай, расположенных в той части свайного поля, где находится точка *C*. Коэффициенты $\overline{K}_т$ определяются по графикам рис. 2 в зависимости от η и $r = \dfrac{a}{d}$, где a — есть расстояние от точки рассматриваемой сваи до центра любой другой сваи. Количество коэффициентов $\overline{K}_т$ соответствует числу свай этой части свайного поля.

Коэффициент $(K_т)_{макс}$ определяется аналогично. Только в данном случае рассматривается точка *C'* и другая часть свайного поля.

В том случае, когда требуется определить коэффициент для сваи, расположенной в центре тяжести свай-

ного куста, прямая *II* проводится в любом направлении деля свайное поле на две равные части. Коэффициент $K_т$ определяется аналогично вышеизложенному из условия воздействия на точку *C* центральной сваи любой половины свайного куста. Местоположение точки *C* определяется точкой пересечения боковой поверхности сваи и прямой, проходящей через центр этой сваи перпендикулярно прямой *II*.

Пример расчета

Требуется определить несущую способность куста с высоким ростверком, состоящего из 16 свай (рис. 4).

Глубина забивки свай в грунт $l=10$ *м*, сечение свай 35×35 *см*, расстояние между сваями (по осям) $3d=1{,}05$ *м*. В результате испытания сваи-штампа такого же размера установлено следующее:

полная несущая способность сваи — 60 *т*;

сопротивление грунта под острием — 30 *т*.

Определяем T_0 и R_0

$$R_0 = \frac{30}{0{,}35 \cdot 0{,}35} = 246 \ т/м^2;$$

$$T_0 = \frac{60 - 30}{10} = 3 \ т/м.$$

Для определения несущей способности всего куста достаточно определить несущую способность трех свай — угловой, боковой и центральной. Тогда полная несущая способность всего куста будет равна сумме несущих способностей четырех угловых, восьми боковых и четырех центральных свай.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ СВАЯ

Для определения R_0 по формуле (10) нужно знать коэффициенты $\bar{K}_\sigma$ (см. рис. 2), определяемые в зависимости от расстояния по осям между сваей и всеми остальными сваями куста.

Расчет сведен в табл. 4.

Таблица 4

Значения расчетных величин

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в *м*	Расстояние $r = \frac{a'}{d}$ в *м*	Коэффициент $\bar{K}_\sigma$
1; 3; 9; 11	1,48	4,25	0,0515
2; 5; 7; 10	1,05	3	0,076
4; 12; 13; 15	2,35	6,7	0,03
8; 14	2,1	6	0,034
16	2,96	8,5	0,022

Коэффициенты $\overline{K}_\sigma$ определены для $\eta = \dfrac{10}{0{,}35} = 28{,}7 \approx 30$.

По формуле (11) находим

$$\overline{K}_\sigma = 4 \cdot 0{,}0515 + 4 \cdot 0{,}076 + 4 \cdot 0{,}03 + 2 \cdot 0{,}034 + 0{,}022 =$$
$$= 0{,}206 + 0{,}304 + 0{,}12 + 0{,}068 + 0{,}22 = 0{,}72.$$

Отсюда

$$R_в = R_0 (1 + K_э) = 246 (1 + 0{,}72) = 423 \ т/м^2.$$

Для определения $T_в$ по формуле (14) необходимо знать $K_т$ (рис. 2), определяемые в зависимости от расстояния a' от точки C (или C') до центров других свай куста. Результаты вычислений сведены в табл. 5.

Теперь определяем $(K_т)_{мин}$, $(K_т)_{макс}$ и $K_т$.

$(K_т)_{мин} = 0{,}62^2 \cdot 0{,}725^2 \cdot 0{,}485^2 \cdot 0{,}69^2 \times$
$\times 0{,}71^2 \cdot 0{,}57 \cdot 0{,}765 = 0{,}005;$
$(K_т)_{макс} = 0{,}62^2 \cdot 0{,}485^2 \cdot 0{,}57 = 0{,}0517;$

$$K_т = \frac{(K_т)_{мин}}{(K_т)_{макс}} = \frac{0{,}005}{0{,}0517} = 0{,}097.$$

Согласно рис. 3 определяем $\Phi(x)$ для $K_т = 0{,}097$ и $m = 2\Phi(x) = 0{,}485$.

Полученные значения $K_т$ и $\Phi(x)$ подставляем в формулу (14)

$$T_в = T_0 \frac{(K_т)_{макс} \sqrt{\pi}}{\sqrt{|\ln K_т|}} \Phi(x) =$$

$$= 3 \frac{1{,}77 \cdot 0{,}0517}{\sqrt{|\ln 0{,}0097|}} 0{,}485 = 0{,}087 \ т/м.$$

Полная несущая способность центральной сваи

$$P_в = 423 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}35 + 0{,}087 \cdot 10 =$$
$$= 51{,}8 + 0{,}87 = 52{,}67 \ т.$$

Таблица 5

Результаты расчета

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в м	Расстояние $r = \frac{a'}{d}$ в м	Коэффициент $K_т$
Для точки C			
3; 9	1,55	4,3	0,62
4; 13	2,28	6,5	0,725
7; 10	0,91	2,6	0,485
8; 14	1,96	5,6	0,69
12; 15	2,14	6,1	0,71
11	1,24	3,55	0,57
16	2,73	7,8	0,765
Для точки C'			
3; 9	1,51	4,3	0,62
2; 5	0,91	2,6	0,485
1	1,24	3,55	0,57

БОКОВАЯ СВАЯ

Коэффициенты K_σ определяем аналогично вышеизложенному. Вычисления сведены в табл. 6.

По формулам (16) и (17) находим:

$$K_\sigma = \sum_{i=1}^{15} \overline{K}_\sigma = 3 \cdot 0{,}076 + 2 \cdot 0{,}0515 + 2 \cdot 0{,}034 + 3 \cdot 0{,}0 + 0{,}022 +$$
$$+ 2 \cdot 0{,}0195 + 0{,}0205 + 0{,}0175 = 0{,}228 + 0{,}103 + 0{,}068 + 0{,}09 +$$
$$+ 0{,}022 + 0{,}039 + 0{,}0205 + 0{,}0175 = 0{,}0885;$$
$$R_2 = 246 (1 + 0{,}588) = 390 \ т/м^2.$$

Таблица 6

Результаты расчета

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в м	Расстояние $r=\frac{a'}{d}$ в м	Коэффициент $\overline{K}_\sigma$
1, 3, 6	1,05	3	0,076
5, 7	1,48	4,25	0,0515
4, 10	2,10	6	0,034
8, 9,11	2,35	6,7	0,03
12	2,96	8,5	0,022
13, 15	3,33	9,5	0,0195
14	3,15	9	0,0205
16	3,78	10,8	0,0175

Таблица 7

Определение коэффициентов $\overline{K}_\tau$

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в м	Расстояние $r=\frac{a'}{d}$ в м	Коэффициент $\overline{K}_\tau$
3	0,98	2,8	0,5
4	2,04	5,8	0,7
5	1,44	4,1	0,61
6	0,895	2,55	0,48
7	1,32	3,75	0,585
8	2,22	6,3	0,72
9	2,22	6,3	0,72
10	1,93	5,5	0,685
11	2,14	6,1	0,715
12	2,81	8	0,775
13	3,24	9,2	0,8
14	2,99	8,5	0,785
15	3,13	8,9	0,795
16	3,6	10,25	0,82

Определение коэффициентов $\overline{K}_\tau$ приведено в табл. 7.

Теперь определяем K_τ и $\Phi(x)$. Учитывая, что для боковых свай куста $(K_\tau)_{макс}=1$, по формуле (17) получаем $K_\tau=0{,}00485$ и при $m=3$ $\Phi(x)=0{,}5$.

Трение грунта на 1 м длины боковой поверхности сваи равно

$$T_2=3\frac{1{,}77\cdot 1}{\sqrt{|\ln 0{,}00485}}\,0{,}5=1{,}09\ т/м.$$

Несущая способность боковой сваи равна:

$$P_2=390\cdot 0{,}35\cdot 0{,}35+1{,}09\cdot 10=47{,}7+10{,}9=58{,}6\ т.$$

УГЛОВАЯ СВАЯ

Определение коэффициентов K_τ и K_σ дано в табл. 8 и 9.

Определяем K_σ и R_1:

$$K_\sigma=2\,(0{,}076+0{,}034+0{,}0205+0{,}03+0{,}0195+0{,}0175)+$$
$$+0{,}0515+0{,}022+0{,}013=2\cdot 0{,}2475+0{,}0865=0{,}5815;$$

$$R_1=246\,(1+0{,}5815)=390\ т/м^2.$$

Учитывая, что для угловых свай $(K_\tau)_{макс}=1$, соответственно табл. 9 $K_\tau=(K_\tau)_{мин}$:

$$K_\tau=(0{,}48\cdot 0{,}69\cdot 0{,}79\cdot 0{,}71\cdot 0{,}795\cdot 0{,}82)^2\,0{,}565\cdot 0{,}765\cdot 0{,}84=0{,}0053;$$

$$\Phi(x)=0{,}5;$$

$$T_1=3\frac{1{,}77\cdot 1}{\sqrt{\ln 0{,}0053}}\,0{,}5=1{,}16\ т/м.$$

Несущая способность угловой сваи равна:

$$P_1 = 390 \cdot 0{,}35 \cdot 0{,}35 + 1{,}16 \cdot 10 = 47{,}7 + 11{,}6 = 59{,}3 \text{ т}.$$

Полная несущая способность всего куста свай равна:

$$P_к = 4 \cdot 59{,}3 + 8 \cdot 58{,}6 + 4 \cdot 52{,}67 = 237{,}2 + 468{,}8 + 210{,}7 = 916{,}7.$$

$$P_к = 916{,}7 \text{ т}.$$

Таблица 8

Определение коэффициентов $\bar{K}_\sigma$

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в м	Расстояние $r = \frac{a}{d}$ в м	Коэффициент $\bar{K}_\sigma$
2,5	1,05	3	0,076
3,9	2,10	6	0,034
4,13	3,15	9	0,0205
6	1,48	4,25	0,0515
7,10	2,35	6,7	0,03
8,14	3,33	9,5	0,0195
11	2,96	8,5	0,022
12,15	3,78	10,8	0,0175
16	4,47	12,75	0,013

Таблица 9

Определение коэффициентов $\bar{K}_т$

№ свай, от которых учитывается влияние	Расстояние a' в м	Расстояние $r = \frac{a'}{d}$ в м	Коэффициент $\bar{K}_т$
2,5	0,895	2,55	0,48
3,9	1,95	5,55	0,69
4,13	3	8,55	0,79
6	1,225	3,5	0,565
7,10	2,1	6	0,71
8,14	3,1	8,85	0,795
11	2,72	7,75	0,765
12,15	3,53	10,1	0,82
16	4,2	12	0,84

Несущая способность куста из 16 одиночных свай составляет 60·16=960 *т*, т. е. в данном случае за счет совместной работы свай несущая способность сваи в кусте снизилась по сравнению с одиночной сваей на 4,5%.

5. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ КУСТА СВАЙ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ (метод НИИ оснований)

5.1. Несущая способность куста свай $P_к$ рассчитывается по формуле

$$P_к = k\, m\, P^н_{ср}\, n_{св}, \qquad (18)$$

где $P^н_{ср}$ — нормативное сопротивление одиночной сваи; при определении по результатам испытаний свай принимается равным среднему из значений несущих способностей одиночных свай;

$n_{св}$ — количество свай в кусте;

k — коэффициент однородности несущей способности грунта основания свай, определяемый по формуле

$$K = \frac{\delta_{\text{пред}}}{P_{\text{св.ср}}} \sqrt{\frac{n' + n''}{n'\, n''}}, \qquad (19)$$

где n' — количество свай в свайном фундаменте здания;

n'' — количество свай, испытанных на площадке[1];

$P_{\text{св.ср}}$ — среднее значение несущей способности сваи на площадке, полученное при испытании;

$\delta_{\text{пред}} = P_{\text{св.ср}} - P_{\text{св.мин}}$ — разница между средним и минимальным значениями несущей способности свай;

m — коэффициент, учитывающий условия работы свай в кусте, определяемый по формуле

$$m = m_1 \left(\frac{7 - A}{4}\right) + \left(\frac{A - 3}{4}\right), \qquad (20)$$

где A — расстояние между осями свай в кусте, принимаемое равным от 3 до $7d$, полагая при $A > 7d$ сваи работают как одиночные;

m_1 — определяется по формулам:

а) для куста свай квадратной формы в плане

$$m_1 = \frac{1 + \beta \dfrac{3\sqrt{n_{\text{св}}} - 2}{n_{\text{св}}}\,\xi}{1 + \xi}; \qquad (21)$$

б) для куста свай прямоугольной формы в плане

$$m_1 = \frac{1 + \beta \dfrac{3\,(n_1 + n_2) - 4}{2\,n_1 n_2}\,\xi}{1 + \xi}; \qquad (22)$$

в) для куста свай круглой формы в плане

$$m_1 = \frac{1 + 0{,}785\,\beta \dfrac{n_a}{n_{\text{св}}}\,\xi}{1 + \xi}. \qquad (23)$$

---

[1] При определении $P_{\text{н}}$ по табл. 1 и 2 СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования» значения $P_{\text{н}}$ и $f_{\text{н}}$ необходимо умножать на поправочный коэффициент 1,2, а значение k принять равным 1.

В формулах (21), (22) и (23) приняты следующие обозначения:

$\xi = \frac{P_{бок}}{P_{ост}}$ — отношение несущей способности грунта по боковой поверхности одиночной сваи к несущей способности грунта под ее острием;

n_1 и n_2 — количество свай, считая по сторонам прямоугольного в плане куста;

$n_а$ — отношение диаметра куста к размеру стороны поперечного сечения сваи;

$n_{св}$ — количество свай в кусте;

β — коэффициент, учитывающий взаимное влияние свай в кусте, определяемый по формуле

$$\beta = 0{,}5 + 0{,}2\,\frac{B-25}{25}, \qquad (24)$$

где B — относительное заглубление сваи в пределах $25 \div 50$ равное $\frac{h}{d}$;

h — глубина забивки сваи;

d — сторона поперечного сечения сваи.

При $\frac{h}{d} \leqslant 25$ $\beta = 0{,}5$; при $\frac{h}{d} > 50$ $\beta = 0{,}7$.

6. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОДНОРЯДНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С РОСТВЕРКОМ НА ГРУНТЕ И ОДИНОЧНЫХ СВАЙ С РОСТВЕРКАМИ ОГОЛОВКАМИ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

6.1. Настоящие рекомендации распространяются на проектирование свайных фундаментов с низким ростверком в глинистых грунтах от мягко-пластичной до твердой консистенции, а также в песчаных грунтах плотных и средней плотности.

6.2. Рекомендации рассматривают следующие случаи напластования грунтов в основании сваи и ростверка:

а) свая прорезает однородный грунт и опирается острием на этот грунт;

б) свая прорезает однородный по прочности слой грунта и опирается острием на другой по прочности слой грунта;

в) часть ствола сваи, расположенная у ростверка, прорезает слой прочного грунта, а остальная часть ствола сваи находится в более слабом грунте.

6.3. Рекомендации разработаны применительно к свайным фундаментам из коротких свай длиной до 7 *м* при отношении ширины ростверка к диаметру сваи $1{,}5 \leqslant \frac{b}{d} \leqslant 3$.

6.4. Исключается использование низкого ростверка для передачи давления на грунт непосредственно через подошву ростверка при наличии под ростверком насыпного грунта, илов, торфа, просадочных мерзлых и набухающих грунтов.

6.5. Использование ростверка для передачи нагрузки непосредственно на грунт в соответствии с настоящими рекомендациями допускается лишь в случае, когда подошва ростверка закладывается ниже глубины промерзания грунтов или когда грунты основания ростверка в соответствии со СНиП II-Б.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования» позволяют принимать глубину заложения фундаментов на естественном основании вне зависимости от глубины промерзания.

РАСЧЕТ СВАЙНОГО РОСТВЕРКА

6.6. Несущая способность сваи в однорядном свайном фундаменте с ростверком на грунте, а также забивной висячей сваи с квадратным, прямоугольным или круглым низким ростверком, работающим на осевую сжимающую нагрузку, определяется по формуле

$$R_{\text{св.р}} = k\,m\,(R_{\text{н}} F + U_{\text{р}}\,\xi\,\Sigma f_i^{\text{н}}\,l_i), \qquad (25)$$

где k — коэффициент однородности грунта, равный $K=0{,}7$;

m — коэффициент условий работы, принимаемый за 1;

F — площадь опирания на грунт сваи, принимаемая по площади поперечного сечения сваи;

$R_{\text{н}}$ — нормативное сопротивление грунта под нижним концом сваи в $т/м^2$, принимаемое по СНиП II-Б.6-67* «Свайные фундаменты. *Нормы проектирования*»;

$U_{\text{р}}$ — периметр подошвы низкого ростверка, приходящегося на одну сваю, равный $\frac{U}{n}$;

U — периметр ростверка;

n — число свай в ростверке;

ξ — безразмерный коэффициент, позволяющий оценить сопротивление сдвигу грунта основания по боковой поверхности условного заглубленного массива;

f_i — нормативное сопротивление i-го слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, в $т/м^2$, определяемое по СНиП II-Б.5-67* «Свайные фундаменты. Нормы проектирования»;

l_i — толщина i-го слоя грунта в $м$, соприкасающегося с боковой поверхностью сваи.

Значение коэффициента ξ по результатам статических испытаний рядов свай в натурных условиях может быть принято равным $\xi=0{,}75$, а в случае одиночных свай с ростверками — оголовками $\xi=0{,}65$.

7. РАСЧЕТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЦВМ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ВЫСОКИМ ЖЕСТКИМ РОСТВЕРКОМ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

7.1. Программа предназначена для вычисления осадок и кренов свайных фундаментов с высоким жестким ростверком, подверженных действию вертикальной нагрузки с малым эксцентриситетом, и определения реакций свай на ЭЦВМ «НАЙРИ».

7.2. По программе может быть рассчитан и свайный фундамент с низким жестким ростверком без учета работы грунта между сваями.

7.3. Построенная методика расчета основывается на том, что нагрузка на сваю не может превышать некоторого предельного значения, которое предлагается считать равным несущей способности сваи.

7.4. Исходными данными является информация о нагрузке на ростверк; количество, расположение и геометрические размеры свай, а также параметры, характеризующие работу одиночной сваи и взаимное влияние свай друг на друга.

7.5. Результатами расчета являются величины осадок и кренов ростверка и реакций отпора свай.

7.6. Максимально возможное для расчета количество свай в ростверке — 30.

7.7. Программа может быть использована, если полученные по ней величины осадок и кренов не превосходят допускаемых по СНиП II-Б.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования», табл. 10 и 11.

7.8. Порядок заполнения карточки исходных данных, правила пользования программой даны в приложении настоящих рекомендаций. Там же приведена блок-схема программы, сама программа и тест-пример.

7.9. Время подготовки исходной информации на один расчет от 15 до 30 *мин*. Машинное время от 3 до 15 *мин*.

8. РАСЧЕТ ОСАДОК ОДНОРЯДНЫХ И МНОГОРЯДНЫХ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ

8.1. Осадка однорядных и многорядных свайных фундаментов определяется по формуле

$$S = \frac{P}{\pi E_1}(S_1 + S_2) = \frac{P}{\pi E_1} S_0, \qquad (26)$$

где S — осадка свайного фундамента в *см*;

P — погонная нагрузка на свайный фундамент в *кг/см*; $E_1 = \frac{E}{1-\mu^2}$;

E — модуль деформации грунта в *кГ/см*^{2} (принимается средневзвешенное значение до неподвижной точки с учетом уплотнения грунта под сваями на глубину до 3 диаметров);

S_0 — определяется в зависимости от приведенной глубины активной зоны Z_0/l (z_0 — глубина активной зоны; l — длина сваи), приведенной ширины фундамента $\beta = b/l$, где b — ширина фундамента, коэффициента бокового расширения грунта μ и характера передачи нагрузки по боковой поверхности и в плоскости острия (табл. 10 и номограмма на рис. 5).

В настоящих рекомендациях приведены значения S_0 для $\mu = 0{,}35$ при равномерном распределении сил трения по боковой поверхности и равномерном распределении на-

Таблица 10

Значения S_2 в зависимости от Z_0/l при $\mu=0{,}35$

z_0/l	β							
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40
	S_1							
	1,401	1,310	1,230	1,153	1,076	0,999	0,922	0,845
	S_2							
1,1	—0,813	—0,815	—0,778	—0,728	—0,672	—0,613	—0,553	—0,492
1,2	—0,411	—0,437	—0,435	—0,417	—0,387	—0,351	—0,309	—0,264
1,3	—0,119	—0,146	—0,154	—0,150	—0,134	—0,114	—0,087	—0,054
1,4	0,118	0,093	—0,082	0,080	0,086	0,098	0,117	0,140
1,5	0,319	0,298	0,286	0,281	0,283	0,290	0,302	0,319
1,6	0,497	0,478	0,466	0,461	0,460	0,464	0,472	0,484
1,7	0,657	0,639	0,628	0,622	0,620	0,622	0,627	0,636
1,8	0,803	0,786	0,776	0,770	0,767	0,767	0,771	0,777
1,9	0,937	0,922	0,912	1,906	0,903	0,902	0,904	0,909
2,0	1,062	1,048	1,039	1,033	1,029	1,028	1,029	1,032
2,1	1,178	1,165	1,157	1,151	1,146	1,145	1,146	1,148
2,2	1,288	1,275	1,267	1,262	1,256	1,256	1,256	1,257
2,3	1,391	1,380	1,372	1,366	1,382	1,360	1,360	1,361
2,4	1,489	1,478	1,471	1,465	1,461	1,459	1,458	1,459
2,5	1,582	1,572	1,565	1,599	1,556	1,553	1,552	1,553
2,6	1,671	1,661	1,664	1,649	1,645	1,643	1,642	1,642

пряжений в плоскости острия сваи. При небольшом интервале изменения β граница активной зоны принимается на глубине, где $S_2 \approx S_1$.

Пример расчета

Рассчитать осадку трехрядного свайного фундамента под внутреннюю стену 5-этажного кирпичного здания. Сваи сечением 30×30, длиной 7 *м*, расстояние между сваями $C=90$ *см*. Ширина свайного фундамента $b=2{,}1$ *м*, нагрузка на сваю $P=15$ *т*. Напластование грунтов следующее:

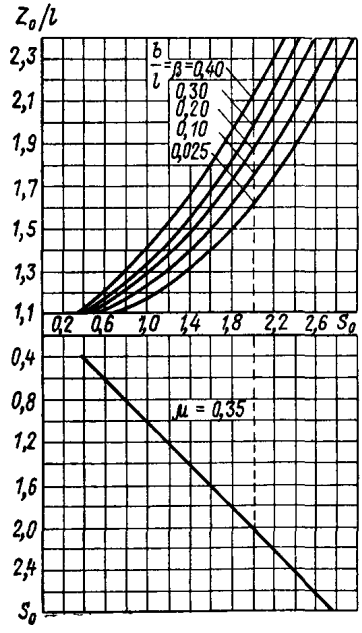


Рис. 5. Номограмма для определения значений Z_0/l

1) песок мелкозернистый, средней плотности, мощностью $h_1 = 1{,}4$ *м*, модуль деформации $E = 180$ *кГ/см*^{2};

2) супесь мягко- и текуче-пластичная, мощностью $h_2 = 2{,}6$ *м*, модуль деформации $E_2 = 50$ *кГ/см*^{2};

3) суглинок мягко-пластичный, мощностью $h = 11$ *м*, модуль деформации $E = 80$ *кГ/см*^{2}.

С глубины 18 *м* залегает плотный аргеллит. В уплотненной зоне под сваями $h_{упл} = 0{,}9$ *м* (среднее значение модуля деформации $E_{упл} = 340$ *кГ/см*^{2}).

Для решения определяем:

1. Приведенную ширину свайного фундамента $\beta = b/l = 2{,}1/7 = 0{,}3$.

2. Приведенную глубину активной зоны. По данным $\beta = 0{,}3$ и $\mu = 0{,}35$ находим в табл. 10, что S_2 примерно равно S_1 при $z_0/l = 2$, т. е. граница активной зоны находится на глубине 7 *м* ниже плоскости острия свай.

3. Компоненту перемещения S_0.

Из соответствующего значения $z_0/l = 2$ (см. номограмму) проводится линия, параллельная оси абсцисс, до пересечения с линией приведенной ширины фундамента $\beta = b/l = 0{,}3$ и опускается перпендикуляр до линии коэффициента бокового расширения $\mu = 0{,}35$. Из точки пересечения проводится линия, параллельная оси абсцисс, до пересечения с осью ординат, на которой определяем значение $S_0 = 2{,}03$.

4. Средневзвешенное значение модуля деформации до нижней границы активной зоны

$$E_{ср} = \frac{E_1 h_1 + E_2 h_2 + E_{упл} h_{упл} + E_3 h_3}{h_1 + h_2 + h_{упл} + h_3} =$$

$$= \frac{180 \cdot 1{,}4 + 50 \cdot 2{,}6 + 340 \cdot 0{,}9 + 80 \cdot 9{,}1}{1{,}4 + 2{,}6 + 0{,}9 + 9{,}1} = 101 \text{ кГ/см}^2;$$

$$E_1 = \frac{E_{ср}}{1 - \mu^2} = \frac{101}{0{,}877} = 114 \text{ кГ/см}^2.$$

5. Погонную нагрузку на свайный фундамент

$$\frac{P \cdot 3}{C} = \frac{15\,000 \cdot 3}{90} = 500 \text{ кГ/см}.$$

6. Осадку свайного фундамента

$$S = \frac{P}{\pi E_1} = \frac{500}{3{,}14 \cdot 114} 2{,}03 = 0{,}296 \text{ см}.$$

9. РАСЧЕТ ОДИНОЧНОЙ СВАИ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

9.1. Настоящие рекомендации составлены в развитие глав СНиП II-А.10-62 «Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования»; СНиП II-Б.1-62 «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования»; СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования» и распространяются на расчет одиночных, отдельно стоящих горизонтально нагруженных забивных свай и свай, подверженных совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Примечания: 1. Рекомендации не распространяются на расчет кустов и одиночных свай, заделанных в ростверк, а также свайных конструкций, возводимых в сейсмических районах, на вечномерзлых и просадочных грунтах.

2. Под забивными сваями понимаются сваи, погружаемые ударным методом, вдавливанием и вибровдавливанием.

9.2. Расчету по разделу 2 подлежат сваи, подверженные совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок и погруженные в однородное грунтовое основание на глубину более $30\,d$ (d — диаметр или поперечная сторона сваи).

9.3. Расчету по разделу 3 подлежат сваи, подверженные совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок и заглубленные в однородное и неоднородное основание на глубину не более $10\,d$.

9.4. К неоднородным грунтам относятся песчаные грунты, различающиеся в пределах глубины погружения сваи по своей крупности, и глинистые грунты с показателем консистенции B, изменяющимся с глубиной более чем на $0{,}2\,B$. При изменении менее чем $0{,}2\,B$ грунты следует относить к однородным.

9.5. Величины нормативных коэффициентов пропорциональности грунта $K_н$ определяются по данным геологического бурения в зависимости от консистенции глинистого грунта или крупности песчаного грунта. При этом толщина слоев назначается в зависимости от глубины отбора монолитов.

Толщина первого слоя грунта принимается равной расстоянию от поверхности грунта до середины интервала между местом отбора первого и второго монолитов (проб), толщина последнего слоя грунта принимается равной расстоянию от середины интервала между последним и предпоследним монолитами (пробами) в пределах глубины погружения сваи до нижнего конца сваи. Толщина промежуточных слоев грунта устанавливается равной расстоянию от середины предыдущего интервала между местами отбора монолитов (проб) до середины последующего интервала.

9.6. Рекомендации по расчету горизонтально нагруженных свай и свай, подверженных совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок, применимы для расчета свайных опор под трубопроводы и эстакады, линий электропередачи, опор контактной сети, свайных фундаментов под теплообменные аппараты и горизонтальные емкости нефтехимических и нефтеперерабатывающих заводов, а также подпорных стенок, опор транспортных галерей и т. п.

9.7. Сваи и свайные фундаменты из одиночных ототдельно стоящих свай, подверженные действию горизонтальных и вертикальных нагрузок, и их основания рассчитываются по трем предельным состояниям:

а) расчету по первому предельному состоянию (по прочности) подвергаются сваи и свайные фундаменты на усилия от действующих расчетных нагрузок;

б) расчету по второму предельному состоянию (по деформациям) подлежат основания свай и свайных фундаментов на усилия от действующих нормативных горизонтальных и вертикальных нагрузок с учетом нормативных характеристик грунта;

в) расчету по третьему предельному состоянию (по трещиностойкости) подлежат железобетонные сваи на усилия от действующих нормативных нагрузок.

9.8. Сбор нагрузок, действующих на сваю или свайный фундамент, производится в соответствии со статической схемой данной конструкции. При расчете оснований неразрезных и рамных конструкций сбор нагрузок допускается производить без учета перемещений элементов конструкций, вызываемых осадками или горизонтальными перемещениями основания и без учета неразрезности конструкций.

РАСЧЕТ ОДИНОЧНЫХ ГИБКИХ СВАЙ НА ГОРИЗОНТАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СИЛЫ В УСЛОВИЯХ ОДНОРОДНОЙ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ

9.9. Настоящие предложения распространяются на расчет длинных свай, заглубленных в однородное основание на глубину более $30\,d$ (рис. 6).

9.10. Расчет свай по первому предельному состоянию производится из условия

$$M_{\text{макс}} \leqslant M_{\text{р}}, \qquad (27)$$

где $M_{\text{макс}}$ — максимальный изгибающий момент в сечении сваи, возникающий от расчетных нагрузок, в *тм*;

$M_{\text{р}}$ — расчетный изгибающий момент, воспринимаемый сечением сваи, в $т \cdot м$, определяемый по СНиП II-В.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования» или из табл. 11 и 12.

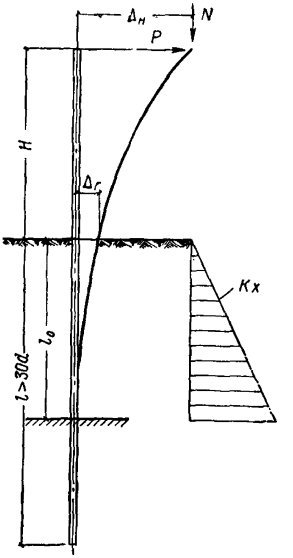


Рис. 6. Расчетная схема

9.11. Максимальный изгибающий момент, возникающий в свае от расчетных нагрузок, определяется из выражения

$$M_{\text{макс}} = P_{\text{р}} \left(H + \frac{\pi t_m}{2\alpha} \right) + N_{\text{р}} (\Delta_H + \Delta_r \alpha H) + \\ + N_{\text{р}} \Delta_r \sin \frac{\pi t_m}{2} - 16{,}8 \frac{K d}{\alpha^3} \omega_{\Delta_r} F_1, \qquad (28)$$

где Δ_r — перемещение сваи от расчетных нагрузок на уровне поверхности грунта, определяемое графо-аналитически, п. 9.15;

Таблица 11

Значения расчетного изгибающего момента $M_р$ для свай прямоугольного сечения

Диаметр рабочей арматуры класса А-II$_1$ в *мм*	$M_р$ в *тм*			
	Для свай (марки 300) сечением в *см*			
	Защитный слой в *см*			
	4	4	4,5	5
	2	3	4	5
12	1	1,4	—	—
14	1,4	1,8	2,3	—
16	1,8	2,4	2,8	3,3
18	2,3	3,0	3,5	4,1
20	2,8	3,75	4,5	5,1
22	3,5	4,5	5,5	6,1
24	4,1	5,2	6,5	7,2
26	4,8	6,2	7,6	8,6
28	—	7,8	8,6	10
30	—	—	9,7	11,3
32	—	—	—	12,9
34	—	—	—	16,6
36				14,6

Таблица 12

Значения расчетного изгибающего момента $M_р$ для трубчатых свай

Диаметр рабочей арматуры класса А-II в *мм*	$M_р$ в *тм*			
	Для трубчатых свай (марки 300) диаметром в *см*			
	Количество стержневой рабочей арматуры			
	8	10	12	15
	Толщина стенки в *см*			
	8	10	10	12
12	3,8	7,7	13	20
14	5	10	17,5	27,2
16	6,4	13,1	22,5	35,5
18	8	16,2	37	45
20	9,7	19,7	33,4	53,3
22	11,7	23,4	39,5	62,9
24	—	27,3	46,1	73,3
26	—	—	52,8	85,5
28	—	—	—	97,8

Δ_H — перемещение сваи на высоте H от расчетных нагрузок, определяемое по выражению

$$\Delta_H = \frac{P H^3}{3 E J}\left(1 + \frac{2}{5}\cdot\frac{N N^2}{E J}\right); \qquad (29)$$

$P_р$ и $N_р$ — расчетные вертикальные и горизонтальные нагрузки на сваю, передаваемые сооружением, в $т$;

H — высота приложения нагрузки над поверхностью грунта в $м$;

K — коэффициент пропорциональности грунта, определяемый из табл. 13;

Таблица 13

Значения коэффициента K

Глинистые грунты консистенции B	Коэффициент K в $т/м^3$	Песчаные грунты средней плотности	Коэффициент K в $т/м^3$
0	65		
0,1	45	Крупные пески	110
0,2	35		
0,3	30	Пески средней крупности	50
0,4	25		
0,5	22	Мелкие пески	40
0,6	19		
0,7	15	Пылеватые пески	35

EJ — жесткость сечения сваи в $тм^2$, определяемая согласно табл. 14 и 15;

t_m — безразмерная ордината сечения с максимальным изгибающим моментом, равная $t_m = \frac{X_m}{l_0}$ (X_m — глубина расположения сечения с максимальным изгибающим моментом от поверхности грунта в $м$;

l_0 — глубина расположения условной заделки сваи в грунте в $м$;

F^1 — тригонометрическая функция, определяемая из графика на рис. 7 в зависимости от величины t_m.

9.12. Безразмерная ордината сечения с максимальным изгибающим моментом определяется из графика

на рис. 7 в зависимости от величины F_{2m}, определяемой из выражения

$$F_{2m} = 0{,}03\,\frac{\alpha^2\,(N_p\,\Delta_r\alpha + 2\,P_p)}{K\,d\,\omega_{\Delta_r}}, \qquad (30)$$

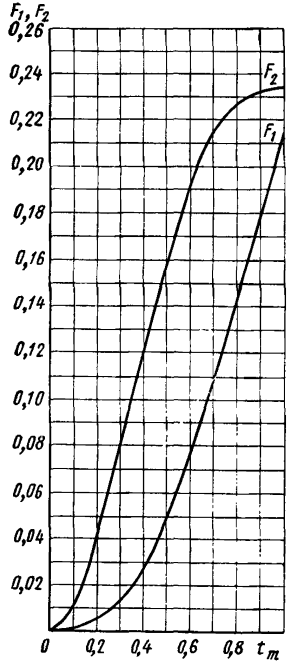


Рис. 7. Графики функций F_{1m} и F_{2m}

где $\alpha = \frac{\pi}{2l_0}$;

ω_{Δ_r} — линейная характеристика сваи, определяемая из графика на рис. 8 при $H=0$;

d — диаметр или сторона сваи, перпендикулярная направлению действия горизонтальной силы, в *м*.

9.13. Глубина расположения условной заделки сваи определяется по формуле

$$l_0 = l\,\xi, \qquad (31)$$

Таблица 14

Значение EJ для прямоугольных свай

Диаметр рабочей арматуры класса А-II в *мм*	EJ в *тм*²			
	Для свай (марки 300) сечением в *см*			
	25×25	30×30	35×35	40×40
	Защитный слой в *см*			
	4	4	4,5	5
12	150	230	—	—
14	190	310	450	—
16	230	380	560	750
18	280	470	690	930
20	320	550	810	1120
22	370	630	940	1130
24	410	710	1070	1490
26	450	790	1190	1680
28	—	870	1320	1880
30	—	—	1450	2070
32	—	—	1590	2270
34	—	—	—	2470
36	—	—	—	—

Таблица 15

Значение EJ для трубчатых свай

Диаметр рабочей арматуры класса А-II в *мм*	EJ в *тм*²			
	40	60	80	100
	Количество стержневой рабочей арматуры			
	8	10	12	15
	Толщина стенки в *см*			
	8	10	10	12
12	550	1500	4 100	8 400
14	670	2000	51 000	10 300
16	810	2600	6 400	12 600
18	950	3200	7 800	15 500
20	1090	3900	9 300	18 800
22	1230	4700	10 700	22 000
24	—	5500	12 200	25 600
26	—	—	13 800	29 000
28	—	—	—	32 600

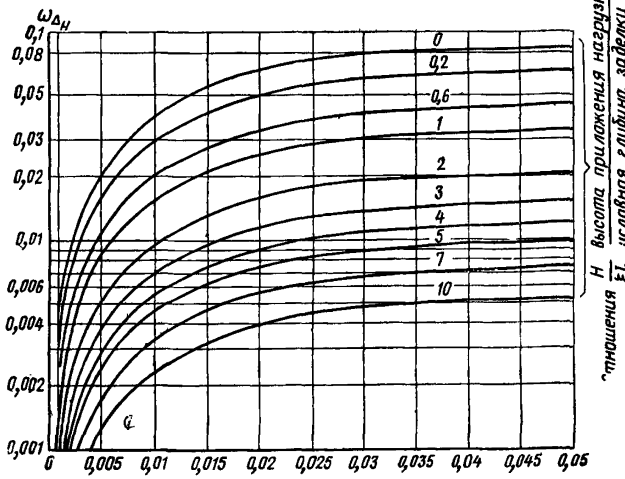


Рис. 8. График функций ω_{Δ_H}

где l — глубина погружения сваи в *м*;

ξ — безразмерный коэффициент, определяемый из графика на рис. 9 в зависимости от отношения $\frac{EJ\Delta_r}{Kd}$.

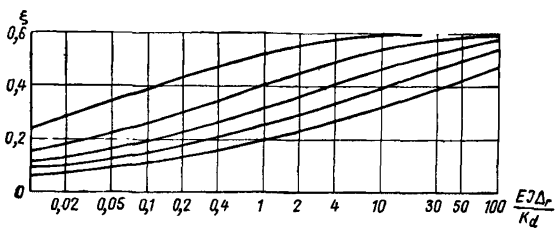


Рис. 9. График функции ξ

9.14. Расчет свай, подверженных совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок по второму предельному состоянию (по деформациям), производится из условия

$$\Delta_r^H \leqslant \Delta_{r.пр}, \qquad (32)$$

где $\Delta_г^H$ — предельная величина горизонтального перемещения сваи в уровне поверхности грунта в *м*, задаваемая в проекте;

$\Delta_{г.пр}$ — предельно допустимое перемещение верха сваи в *м*.

9.15. Горизонтальное перемещение в уровне поверхности грунта $\Delta_г^H$ от нормативной горизонтальной нагрузки $P_н$ с учетом влияния вертикальной нормативной нагрузки $N_н$ определяется графо-аналитически. Для этого, задаваясь возможными перемещениями $\Delta_г$, по выражению (33) вычисляются соответствующие им нагрузки

$$P_н = \frac{\dfrac{EJ}{l_0^3} + \dfrac{K d l_0^2}{1{,}4} - \dfrac{N_н}{l_0}\left(\dfrac{\pi H}{4 l_0} + 1\right)}{1 + 1{,}5\,\dfrac{H}{l_0} + \dfrac{N_н H^3}{2 E J l_0}\left(1 + \dfrac{2 N_н H^2}{5 E J}\right)}\,\omega_{\Delta_г}. \qquad (33)$$

По данным расчета строится график нагрузка — перемещение, по которому определяется горизонтальное перемещение в уровне поврхности грунта от заданной нормативной нагрузки.

9.16. Перемещение верха сваи определяется по формуле (34)

$$\Delta_H^H = \Delta_г^H\left(1 + \frac{\pi H}{2 l_0}\right) + \frac{P_н H^3}{3 E J}\left(1 + \frac{2}{5}\cdot\frac{N_н H^2}{E J}\right). \qquad (34)$$

Примеры расчета

Рассчитать железобетонную сваю, подверженную совместному действию вертикальных и горизонтальных нагрузок.

Исходные данные:

$P_н = 0{,}5$ *т*; грунты: глина консистенции $B = 0{,}1$; $N_н = 20$ *т*; допускаемое перемещение верха сваи $H = 2{,}5$ *м*; $\Delta_H^H = 0{,}05$ *м*; $l = 6$ *м*; сечение сваи 30×30 *см*.

Задаемся армированием сваи 4Ø14 *мм* класса А-II и маркой бетона 300. Согласно табл. 9 определяем расчетный изгибающий момент для данной сваи

$$M_р = 1{,}8\ тм$$

и жесткость сечения по табл. 11 равную:

$$EJ = 310\ тм^2.$$

Из табл. 13 для данных грунтовых условий находим коэффициент податливости грунта

$$K = 45\ т/м^4.$$

Задаваясь несколькими значениями перемещений в уровне поверхности грунта, например $\Delta_г^H = 0{,}005$ *м*; $\Delta_г^H = 0{,}01$ *м* и $\Delta_г^H =$

$=0{,}02$ *м*, по формуле (33) строим график нагрузка — перемещение. Для этого построения необходимо выполнить следующие вычисления.

1. Находим численные значения отношений, соответствующие заданным перемещениям $\Delta_г$, а именно:

$$\text{для } \Delta_г = 0{,}005 \text{ м}; \quad A = \frac{EJ}{Kd} \quad \Delta_г = \frac{310 \cdot 0{,}01}{45 \cdot 0{,}3} = 0{,}228^*;$$

$$\text{» } \Delta_г = 0{,}01 \text{ м}; \quad A = \frac{310 \cdot 0{,}01}{45 \cdot 0{,}3} = 0{,}228;$$

$$\text{» } \Delta_г = 0{,}02 \text{ м}; \quad A = \frac{310 \cdot 0{,}02}{45 \cdot 0{,}3} = 0{,}456.$$

2. По полученным значениям из графика на рис. 9 находим значения коэффициентов ξ соответственно для принятых перемещений:

$$\xi_{0{,}005} = 0{,}27; \quad \xi_{0{,}01} = 0{,}27; \quad \xi_{0{,}02} = 0{,}3.$$

3. По выражению (31) находим значения

$$l_0 = 0{,}27 \cdot 6 = 1{,}62 \text{ м};$$

$$l_0 = 0{,}27 \cdot 6 = 1{,}62 \text{ м};$$

$$l_0 = 0{,}3 \cdot 6 = 1{,}8 \text{ м}.$$

Соответственно находим $\omega_{\Delta_г}$ при $H=0$ (рис. 8) $\omega_{\Delta_г}^{0{,}005}=0{,}021$; $\omega_{\Delta_г}^{0{,}01}=0{,}039$; $\omega_{\Delta_г}^{0{,}02}=0{,}065$.

Подставляя полученные значения величин в формулу (33), находим значения горизонтальных нагрузок, вызывающих заданные перемещения с учетом вертикальной нагрузки:

при $\Delta_г=0{,}05$ *м*

$$P = \frac{\dfrac{310}{4{,}35} + \dfrac{45 \cdot 0{,}3 \cdot 2{,}62}{1{,}4} - \dfrac{20}{1{,}62}\left(\dfrac{3{,}14 \cdot 2{,}5}{4 \cdot 1{,}62} + 1\right)}{1 + 1{,}5\,\dfrac{2{,}5}{1{,}62} + \dfrac{20 \cdot 15{,}62}{2 \cdot 310 \cdot 1{,}62}\left(1 + \dfrac{2 \cdot 20 \cdot 6{,}25}{5 \cdot 310}\right)} 0{,}021 =$$

$$= 0{,}395 \text{ т};$$

при $\Delta_г=0{,}01$

$$P = \frac{\dfrac{310}{4{,}35} + \dfrac{45 \cdot 0{,}3 \cdot 2{,}62}{1{,}4} - \dfrac{20}{1{,}62}\left(\dfrac{3{,}14 \cdot 2{,}5}{4 \cdot 1{,}62} + 1\right)}{1 + 1{,}5\,\dfrac{2{,}5}{1{,}62} + \dfrac{20 \cdot 15{,}62}{2 \cdot 31 \cdot 1{,}62}\left(1 + \dfrac{2 \cdot 20 \cdot 6{,}25}{5 \cdot 310}\right)} 0{,}039 = 0{,}73 \text{ т}.$$

По полученным данным строим график нагрузка — перемещение (рис. 10), из которого находим горизонтальные перемещения, вызван-

---

* Для перемещений $\Delta_г \leqslant 0{,}01$ *м* значение l_0, а следовательно, и отношение $\xi = \dfrac{l_0}{l}$ необходимо принимать постоянным и равным значению l_0 при $\Delta_г = 0{,}01$ *м*.

ные расчетной и нормативной горизонтальными нагрузками. Нормативной нагрузке, равной $P_н=0{,}5$ *т*, соответствует перемещение $\Delta_г^H=0{,}0068$ *м*; расчетной нагрузке, равной $P=1{,}2P_н=0{,}6$ *т* (где 1,2 — коэффициент перегрузки), соответствует перемещение $\Delta_г=0{,}0083$ *м*; $N_р \parallel 1{,}2\ N_н=24$ *т*.

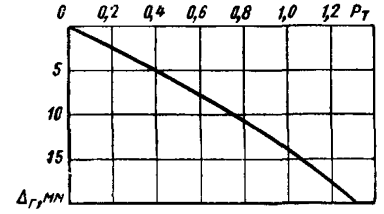


Рис. 10. График нагрузка — перемещение

Зная перемещение сваи от нормативной нагрузки $P_н$ в уровне поверхности грунта, по формуле (34) определяем горизонтальное перемещение верха сваи

$$\Delta_H^H = \Delta_г\left(1+\frac{\pi H}{2l_0}\right)+\frac{P_н H^3}{3EJ}\left(1+\frac{2}{5}\cdot\frac{N_н H^2}{EJ}\right)=$$

$$=0{,}0068\left(1+\frac{3{,}14\cdot 2{,}5}{2\cdot 1{,}62}\right)+\frac{0{,}5\cdot 2{,}5^3}{3\cdot 310}\left(1+\frac{2}{5}\cdot\frac{20\cdot 2{,}5^2}{5\cdot 310}\right)=$$

$$=0{,}0322\ м.$$

Полученное перемещение верха сваи не превышает перемещения, допустимого в проекте

$$\Delta_H^H=0{,}0322 \quad м \leqslant \Delta_{H\,пр}=0{,}05\ м.$$

Далее производим проверку сваи по первому предельному состоянию (по прочности материала) согласно (29). При этом расчет производится на расчетные нагрузки.

Для этого сначала найдем перемещение от расчетных нагрузок

$$\Delta_H=\frac{0{,}6\cdot 15{,}52}{3\cdot 310}\left(1+\frac{2\cdot 24\cdot 6{,}25}{5\cdot 310}\right)=0{,}012\ м;$$

$$\alpha=\frac{\pi}{2l_0}=\frac{3{,}14}{2\cdot 1{,}62}=0{,}97;$$

$$F_{2m}=0{,}03\ \frac{0{,}97^2\,(24\cdot 0{,}0083+2\cdot 0{,}6)}{45\cdot 0{,}3\cdot 0{,}035}=0{,}084;$$

По графику на рис. 7 находим значение ординаты t_m и функцию F_1; $t_m=0{,}32$; $F_1=0{,}016$.

Подставляя полученные значения в формулу (28), находим

$$M_{макс}=0{,}6\left(2{,}5+\frac{3{,}14\cdot 0{,}32}{2\cdot 0{,}97}\right)+24\ (0{,}012+0{,}0083\cdot 0{,}97\cdot 2{,}5)+$$

$$+24\cdot 0{,}0083\cdot \mathrm{Sin}\ \frac{180\cdot 0{,}32}{2}-16{,}8\ \frac{45\cdot 0{,}3}{0{,}97^3}\ 0{,}035\cdot 0{,}016=$$

$$=0{,}6\ (2{,}5+0{,}5)+24\ (0{,}012+0{,}02)+0{,}956-1{,}35=2{,}174\ т.$$

Следовательно:

$$M_{\text{макс}} = 2{,}174 \text{ тм} > M_{\text{р}} = 1{,}8 \text{ тм},$$

что не удовлетворяет формуле (27) и сваю следует пересчитать, изменив при этом процент армирования или сечение сваи.

РАСЧЕТ ЖЕСТКИХ СВАЙ НА СОВМЕСТНОЕ ДЕЙСТВИЕ ВЕРТИКАЛЬНЫХ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ НАГРУЗОК В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНОЙ ГРУНТОВОЙ СРЕДЫ

9.17. Расчет свай и свайных фундаментов из одиночных свай, подверженных действию вертикальных и горизонтальных нагрузок, погруженных в неоднородные грунты на глубину не более $10\,d$, по первому предельному состоянию производится из условия

$$M_{\text{макс}} \leqslant M_{\text{рас}}, \qquad (35)$$

где $M_{\text{макс}}$ — максимальный изгибающий момент в свае-колонне при расчетных нагрузках;

$M_{\text{рас}}$ — расчетный изгибающий момент, воспринимаемый сечением (СНиП II-В.1-62* «Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования» или по табл. 11 и 12).

9.18. Максимальный изгибающий момент, возникающий в свае или свае-колонне от расчетных вертикальных и горизонтальных нагрузок, определяется путем построения эпюры изгибающих моментов по длине сваи в пределах заглубленной ее части по формуле

$$M_x^{\text{р}} = M_{i-1}^{\text{р}} + Q_{i-1}^{\text{р}}(X_i - X_{i-1}) + \left(N^{\text{р}} + \frac{H+X}{2}\gamma_{\text{с}}^{\text{р}}(H+X)\Theta - \right.$$

$$- \frac{d\lambda}{l_0}K_i\left[6X_i l_0 (X_i^2 - X_{i-1}^2) - \right.$$

$$\left. \left. - 4(l_0 + X_i)(X_i^3 - X_{i-1}^3) + 3(X_i^4 + X_{i-1}^4)\right]\right), \qquad (36)$$

где $M_x^{\text{р}}$ — расчетный изгибающий момент, возникающий в свае или свае-колонне в любом сечении i-го слоя грунта, определяемого интервалом $X_{i-1} < X \leqslant X_i$;

M_{i-1} — то же, на нижней границе i — 1-го слоя в *тм*;

X_{i-1} — расстояние от поверхности грунта до нижней границы i — 1-го слоя в *м*;

K_i — коэффициент пропорциональности грунта в пределах i-го слоя в $т/м^4$, определяемый из табл. 15;

Q_{i-1} — поперечная сила на нижней границе i-го слоя в $т$;

H — высота приложения вертикальной нагрузки над поверхностью грунта в $т$;

$N_р$ — расчетная вертикальная нагрузка на сваю или сваю-колонну в $т$;

$\gamma_с$ — расчетный вес 1 *пог. м* сваи или сваи-колонны в $т$;

Θ — угол поворота сваи в грунте, определяемый из выражения

$$\Theta = \frac{\Delta_г}{l_0}, \qquad (37)$$

где $\Delta_г$ — горизонтальное перемещение сваи в уровне поверхности грунта в *м*;

d — диаметр или поперечный размер прямоугольной сваи;

l_0 — глубина расположения точки поворота сваи в грунте в *м*, определяемая из выражения

$$l_0 = \frac{Q_0\left[3\Sigma_4 - \frac{3}{25d}(2N + P_с)(H + l)\right] + 4M_0\Sigma_3}{4Q_0\Sigma_3 + 6M_0\Sigma_2}, \qquad (38)$$

где $P_с$ — расчетный вес сваи или сваи-колонны в $т$;

l — глубина погружения сваи в *м*;

Q_0 и M_0 — поперечная сила и изгибающий момент в уровне поверхности грунта от расчетных нагрузок соответственно в $т$ и *тм*;

Σ_2, Σ_3, Σ_4 — коэффициенты влияния слоев, определяемые из выражений:

$$\Sigma_2 = K_n X_n^2 - \sum_{i=1}^{i=n}(K_i - K_{i-1})X_{i-1}^2; \qquad (39)$$

$$\Sigma_3 = K_n X_n^3 - \sum_{i=1}^{i=n}(K_i - K_{i-1})X_{i-1}^3; \qquad (40)$$

$$\Sigma_4 = K_n X_n^4 - \sum_{i=1}^{i=n}(K_i - K_{i-1})X_{i-1}^4, \qquad (41)$$

где K_n — коэффициент пропорциональности последнего слоя грунта;

X_n — расстояние от поверхности грунта до нижней границы последнего слоя, равное l.

9.19. Поперечная сила, возникающая в сечении сваи или сваи-колонны на нижней границе i—1-го слоя, определяется из выражения[1]

$$Q_{i-1} = Q_{i-2} - \frac{2\,d\,\lambda}{l_0} K_{i-1} \left[3\,l_0 \left(X_{i-1}^2 - X_{i-2}^2\right) - \right.$$

$$\left. - 2\left(X_{i-1}^3 - X_{i-2}^3\right)\right]. \qquad (42)$$

9.20. Величина угла поворота сваи или сваи-колонны в грунте — Θ определяется по формуле (37).

Горизонтальное перемещение сваи или сваи-колонны определяется из графика на рис. 11 в зависимости от значения коэффициента B, C и D:

$$B = \frac{1}{2\left(M_0^{\text{н}} + Q_0^{\text{н}}\,l\right) l_0}; \qquad (43)$$

$$C = \frac{25\,d}{108}\left[6\,l\,l_0\,\Sigma_2 - 4\,(l + l_0)\,\Sigma_3 + 3\,\Sigma_4\right] B; \qquad (44)$$

$$D = \left(2\,N_{\text{н}} + P_{\text{с}}^{\text{н}}\right)(H + l)\,B. \qquad (45)$$

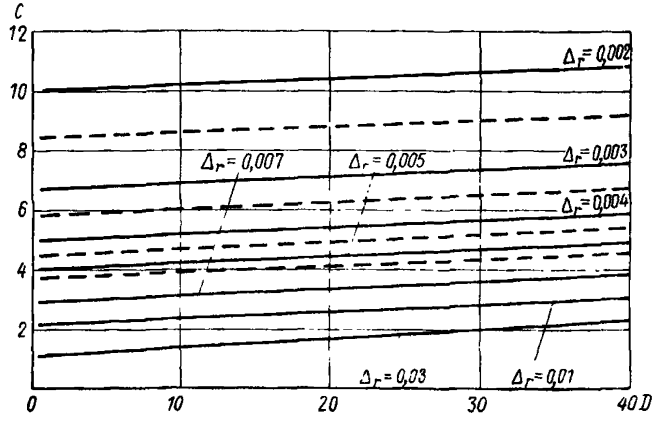


Рис. 11. График определения Δ_r

[1] Для проверки результатов расчета рекомендуется построение эпюры поперечных сил. При этом поперечная сила, возникающая в свае в любом сечении X_i-го слоя грунта, определяемого интервалом $X_{i-1} < X < X_i$, рассчитывается по формуле

$$Q_x = Q_{i-1} - \frac{2\,d\,\lambda}{l_0} K_i \left[3\,l_0 \left(X_i^3 - X_{i-1}^3\right)\right]. \qquad (42а)$$

По вычисленному значению Δ_r определяется значение коэффициента λ, входящего в выражения (36), (41) и (4а), из графика на рис. 12.

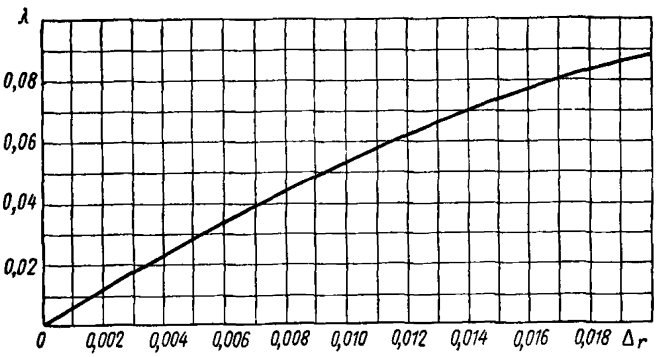


Рис. 12. График определения коэффициента λ

Примечание. При расчете сваи и свай-колонн по первому предельному состоянию можно воспользоваться аналитическим выражением для максимального изгибающего момента, возникающего в свае от действующих расчетных вертикальных и горизонтальных нагрузок:

$$M^{\text{р}}_{\text{макс}} = M^{\text{р}}_{i-1} + Q^{\text{р}}_{i-1}\left(X_m - X_{i-1}\right) + \\ + \left(N_{\text{р}} + \frac{H + X_m}{2}\,\gamma^{\text{р}}_{\text{с}}\right)(H + X_m)\,\theta - \\ - \frac{d\,\lambda}{l_0}\,K_i\left[6\,X_m\,l_0\left(X^2_m - X^2_{i-1}\right) - \right. \\ \left. - 4\,(l_0 + X_m)\left(X^3_m - X^3_{i-1}\right) + 3\left(X^3_m - X^3_{i-1}\right)\right], \qquad (46)$$

где X_m — ордината сечения с максимальным изгибающим моментом в *м*.

Для определения X_m необходимо, воспользовавшись выражением (42а), определить слой i, в котором эпюра Q_x меняет свой знак, т. е. $Q_{i-1} > 0 > Q_i$.

Тогда ордината X_m определяется из выражения (46), решаемого путем подбора:

$$\frac{l_0\,Q_{i-1}}{2d\,\lambda\,K_i} - \left[3\,l_0\left(X^2_m - X^2_{i-1}\right) - 2\left(X^3_m - X^3_{i-1}\right)\right] = 0. \qquad (47)$$

При проектировании и расчете свай и свай-колонн, имеющих относительно небольшое заглубление в грунт,

эпюра может менять свой знак в первом, втором и редко в третьем слоях грунта.

Если эпюра Q_x имеет нулевое значение в первом слое или в случае однослойного основания, уравнение (13) для этого случая принимает вид

$$\frac{l_0 Q_0}{2 d \lambda K_1} - (3 l_0 X_m^2 - 2 X_m^3) = 0, \qquad (48)$$

где K_1 — коэффициент пропорциональности грунта для первого слоя.

Если Q_x меняет свой знак во втором слое, ордината X_m определяется из выражения (47)

$$\frac{l_0 Q_1}{2 d \lambda K_2} - [3 l_0 (X_m^2 - X_1^2) - 2 (X_m^3 - X_1^3)] = 0. \qquad (49)$$

9.21. Расчет сваи и свай-колонн по второму предельному состоянию производится из условия

$$\Delta_г^н \leqslant \Delta_{г.пр}, \qquad (50)$$

где $\Delta_г^н$ — горизонтальное перемещение сваи или сваи-колонны в уровне поверхности грунта, вызываемое действующими нормативными нагрузками, в *м*;

$\Delta_{г.пр}$ — предельно допустимое горизонтальное перемещение свай или сваи-колонны в уровне поверхности грунта в *м*, задаваемое в проекте.

9.22. Горизонтальное перемещение сваи или сваи-колонны $\Delta_г^н$ определяется по графику, изображенному на рис. 11, в зависимости от величин $B_н$, $C_н$, $D_н$ с учетом действующих нормативных нагрузок.

9.23. Если конструктивные особенности сооружения требуют ограничения горизонтального перемещения сваи-колонны в верхней ее части, расположенной на высоте H от поверхности грунта, следует эти перемещения определить по формуле

$$\Delta_H^н = (H + l_0) \frac{\Delta_г^н}{l_0}, \qquad (51)$$

удовлетворяя при этом условию

$$\Delta_H^н \leqslant \Delta_{H_{пр}}. \qquad (52)$$

Примеры расчета

Пример 1

Рассчитать железобетонную сваю-колонну на совместное действие горизонтальных и вертикальных нагрузок, а также изгибающего момента при данных, сведенных в табл. 16, а также соответствующих рис. 13.

Таблица 16

Значения нормативных нагрузок

Вид нагрузки	Величины нагрузки в *т* и *тм*	Высота приложения нагрузки в *м*
Горизонтальная нагрузка	0,64	$H = 2,4$
Вертикальная »	12	$H = 2,4$
Изгибающий момент	0,756	$H = 1,2$

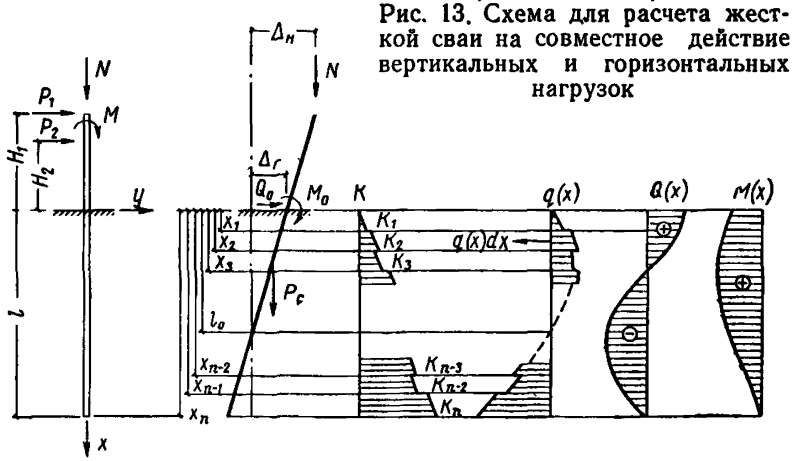


Рис. 13. Схема для расчета жесткой сваи на совместное действие вертикальных и горизонтальных нагрузок

Грунтовые условия

Лабораторные исследования монолитов показали, что на месте предстоящего погружения сваи залегают глинистые грунты различной консистенции (см. табл. 17).

Таблица 17

Расчетные характеристики

№ слоя	Расчет от поверхности земли: до верхней границы слоя	Расчет от поверхности земли: до нижней границы слоя	Толщина слоя в *м*	Наименование грунтов	Консистенция	Коэффициент пропорциональности K_z в $т/м^4$
1	0	0,7	0,7	Глинистый	0,4	25
2	0,7	1,9	1,2	»	0,4	45
3	1,9	3,2	1,3	»	0,03	65

Определение начальных параметров расчета
Нормативные значения начальных параметров

$$Q_0^н = P_н = 0{,}64 \ т.$$

$$M_0^н = P_н H - M_н = 0{,}64 \cdot 2{,}4 - 0{,}756 = 0{,}78 \ тм.$$

Расчетные значения начальных параметров

При коэффициентах перегрузок:
для внешних сил $n_1 = 1{,}22$;
для собственного веса конструкции $n_2 = 1{,}1$;

$$Q_0^р = 1{,}22 \cdot 0{,}64 = 0{,}78 \ т;$$

$$M_0^р = 1{,}22 \cdot 0{,}78 = 0{,}94 \ тм.$$

Выбор сечения и армирования сваи

Предварительно принимаем максимальное значение изгибающего момента, возникающего в свае от внешних сил:

$$M_{макс} = 1{,}5 M_0 = 1{,}5 \cdot 0{,}94 = 1{,}41 \ тм.$$

По табл. 9 принимаем сваю: сечением 30×30 *см*, с армированием 4Ø14. Длина сваи $l_0 + H = 2{,}6 + 2{,}4 = 5$ *м*.
Допустимая величина изгибающего момента на сваю $|M| = 1{,}8$ *тм*.

Определение собственного веса сваи
Нормативные значения

$$\gamma_c^н = 0{,}3 \cdot 0{,}3 \cdot 1{,}0 \cdot 2{,}5 = 0{,}22 \ т/м;$$

$$P_c^н = \gamma_c^н (l + H) = 0{,}22 \cdot 5 = 1{,}1 \ т.$$

Расчетные значения

$$\gamma_c^р = \gamma_c^н \cdot 1{,}1 = 0{,}22 \cdot 1{,}1 = 0{,}24 \ т/м.$$

$$P_c^р = P_c^н \cdot 1{,}1 = 1{,}1 \cdot 1{,}1 = 1{,}2 \ т.$$

Определение границ слоев и коэффициентов пропорциональности

Согласно табл. 15 найдем значения коэффициентов пропорциональности грунта — K_l и мощность слоев в виде, показанном на рис. 14.

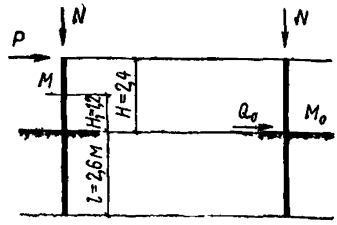


Рис. 14. Расчетная схема

Таким образом, для расчета сваи имеем следующие исходные данные.

Нормативные нагрузки	Расчетные нагрузки
$Q_0^н = 0{,}64$ *т*	$Q_0 = 0{,}78$ *т*
$M_0^н = 0{,}78$ *тм*	$M_0 = 0{,}94$ *тм*
$N_н = 12$ *т*	$N = 14{,}5$ *т*
$P_c^н = 1{,}1$ *т*	$P_c = 1{,}2$ *т*
$\gamma_c^н = 0{,}2$ *т/м*	$\gamma_c = 0{,}24$ *т/м*
$K_1 = 25$ *т/м*^{3}	$X_1 = 0{,}7$ *м*
$K_2 = 45$ *т/м*^{4}	$X_2 = 1{,}9$ *м*
$K_3 = 65$ *т/м*^{4}	$X_3 = 2{,}4$ *т*

Расчет по первому предельному состоянию

Определяем величины Σ_2, Σ_3, Σ_4 по формулам (39), (40) и (41):

$$\Sigma_2 = 65 \cdot 2{,}6^2 - 20 \cdot 1{,}9^2 - 20 \cdot 0{,}7^2 = 357{,}4;$$

$$\Sigma_3 = 65 \cdot 2{,}3^3 - 20 \cdot 1{,}9^3 - 20 \cdot 0{,}7^3 = 998{,}4;$$

$$\Sigma_4 = 65 \cdot 2{,}6^4 - 20 \cdot 1{,}9^4 - 20 \cdot 0{,}7^4 = 2704{,}9.$$

Определяем l_0 из выражения (38)

$$l_0 = \frac{Q_0 \left[3\,\Sigma_4 - \frac{3}{25\,d}\,(2N + P_c)\,(H + l)\right] + 4\,M_0\,\Sigma_3}{4\,Q_0\,\Sigma_3 + 6\,M_0\,\Sigma_2} =$$

$$= \frac{0{,}78\left[8114{,}7 - \frac{3}{25 \cdot 0{,}3}\,30 \cdot 2{,}5\right] + 3{,}76 \cdot 998{,}4}{3{,}08 \cdot 998{,}4 + 5{,}64 \cdot 357{,}4} = 1{,}964\ м.$$

Определяем величины B, C и D по формулам (43), (44), (45):

$$B = \frac{1}{2\,(M_0 + Q_0\,l)\,l_0} = \frac{1}{2\,(0{,}94 + 0{,}78 \cdot 2{,}6) \cdot 1{,}964} = \frac{1}{11{,}55};$$

$$C = \frac{25 \cdot 0{,}3}{108}\,[15{,}6 \cdot 1{,}964 \cdot 357{,}4 - 18{,}256 \cdot 998{,}4 + 8114{,}7)\,\frac{1}{11{,}55} =$$

$$= 5{,}03;$$

$$D = 30{,}2 \cdot 5\,\frac{1}{11{,}55} = 13{,}1.$$

Соответственно на рис. 12 при $C=5{,}03$ и $D=13{,}1$ находим $\Delta_г = 0{,}0042$ *м* и определяем Θ

$$\Theta = \frac{\Delta_г}{l_0} = \frac{0{,}0042}{1{,}964} = 0{,}002135.$$

По формулам (42а) и (36) определяем Q_i и M_i для различных уровней заглубленной части сваи.

Расчет ведем по слоям:

$$Q_i = Q_{i-1} - \frac{2\,d\,\lambda}{l_0}\,K_i \cdot 2\,\left[1{,}5\,l_0\left(x_i^2 - x_{i-1}^2\right) - \left(x_i^3 - x_{i-1}^3\right)\right];$$

$$Q_1 = 0{,}78 - 0{,}01461 \cdot 25 \cdot 0{,}7^2\,(2{,}946 - 0{,}7) = 0{,}368\ т;$$

$$Q_2 = 0{,}368 - 0{,}01461 \cdot 45\,[2{,}946\,(1{,}9^2 - 0{,}7^2) - (1{,}9^3 - 0{,}7^3)] =$$

$$= -1{,}387\ т;$$

$$Q_3 = -1{,}387 - 0{,}01461 \cdot 65\,[2{,}946\,(2{,}6^2 - 1{,}9^2) - (2{,}6^3 - 1{,}9^3)\,] \approx 0.$$

Изгибающий момент

Расчет производим тоже по слоям по формуле (36):

$$M_1 = 0{,}94 + 0{,}78 \cdot 0{,}7 + \left(14{,}5 + \frac{3{,}1}{2}\;0{,}24\right)\,3{,}10 \cdot 0{,}002135 -$$

$$- 0{,}00366 \cdot 25 \cdot 0{,}7^3\,(11{,}784 - 10{,}656 + 2{,}1) = 1{,}576\ тм;$$

$$M_2 = 1{,}576 + 0{,}368 \cdot 1{,}2 + (14{,}5 + 2{,}15 \cdot 0{,}24)\,4{,}3 \cdot 0{,}002135 -$$

$$- 0{,}00366 \cdot 45\,[11{,}784 \cdot 1{,}9\,(1{,}9^2 - 0{,}7^2) - 14{,}456\,(1{,}9^3 - 0{,}7^3) +$$

$$+ 3\,(1{,}9^4 - 0{,}7^4] = 0{,}895\ тм;$$

$$M_3 = 0{,}895 - 1{,}387 \cdot 0{,}7 + (14{,}5 + 2{,}5 \cdot 0{,}24) 5{,}0 \cdot 0{,}002135 -$$

$$- 0{,}00366 \cdot 65 \left[11{,}784 \cdot 2{,}6 \left(2{,}6^2 - 1{,}9^2\right) - 18{,}265 \cdot \left(2{,}6^3 - 1{,}9^3\right) + \right.$$

$$\left. + 3 \left(2{,}6^4 - 1{,}9^4\right)\right] = 0.$$

Определение величины $M_{\text{макс}}$ по формуле (46):

$$Q_1 = 0{,}368 \; m;$$

$$Q_2 = -1{,}387 \; m.$$

Так как $Q_1 > 0$ и $Q_2 < 0$, заключаем, что поперечная сила имеет нулевое значение во втором слое.

Ординату максимального изгибающгео момента $x_{\text{м}}$ находим по формуле (49)

$$\frac{1{,}964 \cdot 0{,}368}{2 \cdot 0{,}00718 \cdot 45} - \left[5{,}892\left(x_m^2 - 0{,}49\right) - 2\left(x_m^3 - 0{,}343\right)\right] = 0.$$

Решив уравнение, находим:

$$x_m = 0{,}9 \; м;$$

$$M_{\text{макс}} = 1{,}576 + 0{,}368 \cdot 0{,}2 + (14{,}5 + 1{,}65 \cdot 0{,}24) \; 3{,}3 \cdot 0{,}002135 =$$

$$= 0{,}00366 \cdot 45 \left[11{,}784 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}32 - 11{,}456 \cdot 8{,}386 + 1{,}245\right] = 1{,}718 \; тм.$$

Расчет по второму предельному состоянию

По формулам (43), (44) и (45) определяем $B_{\text{н}}$, $C_{\text{н}}$, $D_{\text{н}}$ от действия нормативных нагрузок (см. табл. 6):

$$B_{\text{н}} = \frac{1}{2\left(M_0 + Q_0 l\right) l_0} = \frac{1}{2\left(0{,}78 + 0{,}64 \cdot 2{,}6\right) 1{,}964} = \frac{1}{9{,}6};$$

$$C_{\text{н}} = C \; \frac{B_{\text{н}}}{B} = 5{,}03 \left(\frac{1}{9{,}6} : \frac{1}{11{,}55}\right) = 6{,}05;$$

$$D_{\text{н}} = \left(2 N_{\text{н}} + P_l^{\text{н}}\right)(H + l) \, B_{\text{н}} = (24{,}0 + 1{,}1) \; 5 \; \frac{1}{9{,}6} = 13{,}1.$$

По графику на рис. 12 находим

$$\Delta_{\text{г}}^{\text{н}} = 0{,}0035 \; м.$$

При этом должно быть удовлетворено условие (46).

При задании в проекте перемещения сваи-колонны в верхней ее части на высоте H от поверхности грунта $[\Delta_H^H]$.

Определяем это перемещение по формуле (47), т. е.

$$\Delta_H^H = (H + l_0)\,\theta = (2{,}4 + 2{,}964)\,\frac{\Delta_r^H}{l_0} = (2{,}4 + 1{,}964)\,\frac{0{,}0035}{1{,}964} = 0{,}007\ м.$$

При этом должно быть удовлетворено условие

$$\Delta_H^H \leqslant \Delta_{H\,пр}.$$

Для наглядного представления о необходимости учета многослойности основания, ниже приводится пример 2 для той же сваи с напластованием слоев грунта, расположенных в обратном порядке.

Пример 2

Рассчитать сваю, приведенную в примере 1, при убывании прочности грунтов по глубине:

$$K_1 = 65\ т/м^4;\quad x_1 = 0{,}7\ м;\quad l = 2{,}6\ м;$$

$$K_2 = 45\ т/м^4;\quad x_2 = 1{,}9\ м;\quad H = 2{,}4\ м;$$

$$K_3 = 25\ т/м^4;\quad x_3 = 2{,}6\ м;\quad d = 0{,}3\ м.$$

Расчет по первому предельному состоянию

По формулам (39), (40), (41) определяем величины Σ_2, Σ_3, Σ_4:

$$\Sigma_2 = 25 \cdot 2{,}6^2 + 20 \cdot 1{,}9^2 + 20 \cdot 0{,}7^2 = 251;$$

$$\Sigma_3 = 25 \cdot 2{,}6^3 + 20 \cdot 1{,}9^3 + 20 \cdot 0{,}7^3 = 583{,}44;$$

$$\Sigma_4 = 25 \cdot 2{,}6^4 + 20 \cdot 1{,}9^4 + 20 \cdot 0{,}7^4 = 1407{,}887.$$

Определяем l_0 по формуле (38)

$$l_0 = \frac{0{,}78\left(4223{,}652 - \dfrac{3}{25 \cdot 0{,}3}\,30{,}2 \cdot 5\right) + 0{,}94 \cdot 4 \cdot 583{,}44}{0{,}78 \cdot 4 \cdot 583{,}44 + 5{,}64 \cdot 251} = 2{,}151\ м.$$

Определяем величины B, C, D по формулам (43), (44) и (45):

$$B = \frac{1}{2\,(M_0 + Q\,l)\,l_0} = \frac{1}{2\,(0{,}94 + 0{,}77 \cdot 2{,}6)\,2{,}151} = \frac{1}{12{,}65};$$

$$C = \frac{25 \cdot 0{,}3}{108}\,(15{,}6 \cdot 2{,}151 \cdot 251 - 4{,}751 \cdot 4 \cdot 583{,}44 + 4223{,}652)\,\frac{1}{12{,}65} = 8{,}55;$$

$$D = (2N + P_c) \cdot (H + l)\,B = 30{,}2 \cdot 5\,\frac{1}{12{,}65} = 11{,}75.$$

По графику на рис. 12 определяем при $C_1 = 8{,}55$ и $D = 11{,}75$

$$\Delta_r = 0{,}00251 \text{ м}.$$

Определяем величину Θ

$$\Theta = \frac{\Delta_r}{l_0} = \frac{0{,}00251}{2{,}151} = 0{,}001167.$$

По формулам (42а) и (36) определяем Q_x и M_x для различных уровней подземной части сваи.

Расчет ведем по слоям:

$$Q_1 = 0{,}78 - 0{,}00837 \cdot 65\,(3{,}227 \cdot 0{,}49 - 0{,}343) = 0{,}097 \text{ т};$$

$$Q_2 = 0{,}097 - 0{,}00837 \cdot 45\,[3{,}227\,(1{,}9^2 - 0{,}7^2) - (1{,}9^3 - 0{,}7^3)] = -1{,}241 \text{ т};$$

$$Q_3 = -1{,}241 - 0{,}00837 \cdot 25\,[3{,}227\,(2{,}6^2 - 1{,}9^2) - (2{,}6^3 - 1{,}9^3)] = 0$$

Изгибающий момент

В данном примере ограничимся определением $M_{макс}$.

Ординату X_m максимального изгибающего момента найдем графически из эпюры Q_x (рис. 15) $X_m \approx 0{,}8$ м.

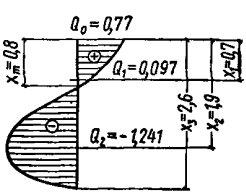


Рис. 15. Эпюра прерывающих сил Q вдоль сваи

Найдем вначале M_1:

$$M_1 = 0{,}94 + 0{,}78 \cdot 0{,}7 + (14{,}5 + 1{,}55 \cdot 0{,}24)\,3{,}1 \cdot 0{,}001167 - \frac{0{,}015 \cdot 0{,}3}{2{,}151}\,65\,(12{,}906 \cdot 0{,}7^3 - 11{,}404 \cdot 0{,}7^3 + 3{,}074) = 1{,}366 \text{ тм};$$

$$M_{\text{макс}} = 1{,}366 + 0{,}097 \cdot 0{,}1 + (14{,}5 + 1{,}6 \cdot 0{,}24)\ 3{,}2 \cdot 0{,}001167 - \\ - \frac{0{,}015 \cdot 0{,}3}{2{,}151}\ 45\ [12{,}906\ (0{,}8^2 - 0{,}7^2) - 11{,}804\ (0{,}8^3 - 0{,}7^3) + \\ + 3\ (0{,}8^4 - 0{,}7^4)] \approx 1{,}43\ тм.$$

Расчет по второму предельному состоянию

По формулам (43), (44) и (45) определяем $B_н$, $C_н$, $D_н$

$$B_н = \frac{1}{2\ (0{,}78 + 0{,}64 \cdot 2{,}6)\ 2{,}151} = \frac{1}{10{,}5};$$

$$C_н = 8{,}55 \left(\frac{1}{10{,}5} : \frac{1}{12{,}65} \right) = 10{,}3;$$

$$D_н = (24 + 1{,}1)\ 5\ \frac{1}{10{,}5} = 11{,}95.$$

По графику на рис. 11 находим

$$\Delta_г^н = 0{,}0021\ м.$$

РАСЧЕТ СВАЙНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С ЖЕСТКИМ РОСТВЕРКОМ НА ВЕРТИКАЛЬНУЮ НАГРУЗКУ

Общие положения

Сваи нумеруются, и координаты их осей выбираются согласно схеме на рис. 16.

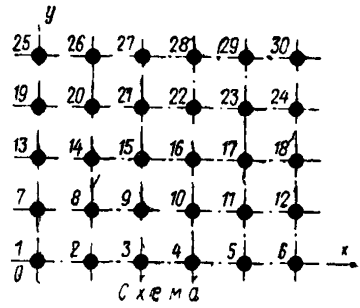


Рис. 16. Расчетная схема расположения свай в плане

Исходными данными являются:

d — диаметр сваи в *м*;

x, y — расстояние между осями крайних свай в плане соответственно по оси oX и oY в *м*;

P — внешняя нагрузка на ростверк в *т*;

x_0, y_0 — координаты точки приложения силы в *м*;

$P_{пред}$ — предельная нагрузка на сваю в *т*, определяемая по статическим испытаниям или по СНиП II-Б.5-67 «Свайные фундаменты. Нормы проектирования», табл. 1 и 2.

W — осадка одиночной сваи от действия единичной нагрузки в *м*, определяемая по статическим испытаниям с учетом фактора времени;

ξ — безразмерный коэффициент, учитывающий взаимное влияние свай друг на друга, может быть принят $\xi = 1$.

Результатами расчета являются:

α — крен относительно оси oX, β — крен относительно оси oY;

W_0 — вертикальное перемещение ростверка в точке (x_0, y_0);

K_i — номер сваи, потерявшей устойчивость или работающей на выдергивание (причем для свай, работающих на выдергивание, эти номера имеют знак «—»).

Программа автоматически формирует симметричную систему

$$\sum_{j=1}^{n} W_{ij} X_j + \alpha (x_i - x_0) + \beta (y_i - y_0) - W_0 = 0,$$

где n — число свай $\sum_{j=1}^{n} x_j = P$; $i, j = 1, 2, \ldots, n$.

Для решения этой системы используется программа Н-7 КиевЗНИИЭПа, которая имеется в ДЗУ вместе с программой Н-59. Учет устойчивости и выдергивания свай производится неравенством

$$0 \leqslant X_j \leqslant P_{\text{пред}}. \tag{53}$$

Фактически решается система линейных уравнений и неравенств, для чего используется итерационный процесс. После решения системы на каждом шагу итерации производится проверка $0 \leqslant X_j \leqslant P_{\text{пред}}$. Если при данном j это неравенство не выполняется, то назначается

$$X_j = \begin{cases} 0, & \text{если } X_j < 0 \\ P_{\text{пред}}, & \text{если } X_j > P_{\text{пред}}. \end{cases} \tag{54}$$

Это исправленное значение X_j подставляется в систему как известная величина, система переформировывается и порядок ее уменьшается. Этот процесс повторяется при каждой итерации, пока все X_j не становятся больше $P_{\text{пред}}$ и не меньше нуля либо система не становится вырожденной (что указывает на общую потерю устойчивости ростверком в целом).

Программой предусмотрена возможность расчета без учета неравенств, либо с учетом какого-то одного неравенства. То есть имеется 4 варианта:

I — без учета неравенства (53);
II — с учетом только $X_j \leqslant P_{\text{пред}}$ (нажата клавиша «Ключ»);
III — » » » $X_j \geqslant 0$ (нажата клавиша «Вариант»);
IV — с учетом (53) (нажаты клавиши «Ключ» и «Вариант»).

Результаты печатаются, после чего машина останавливается.

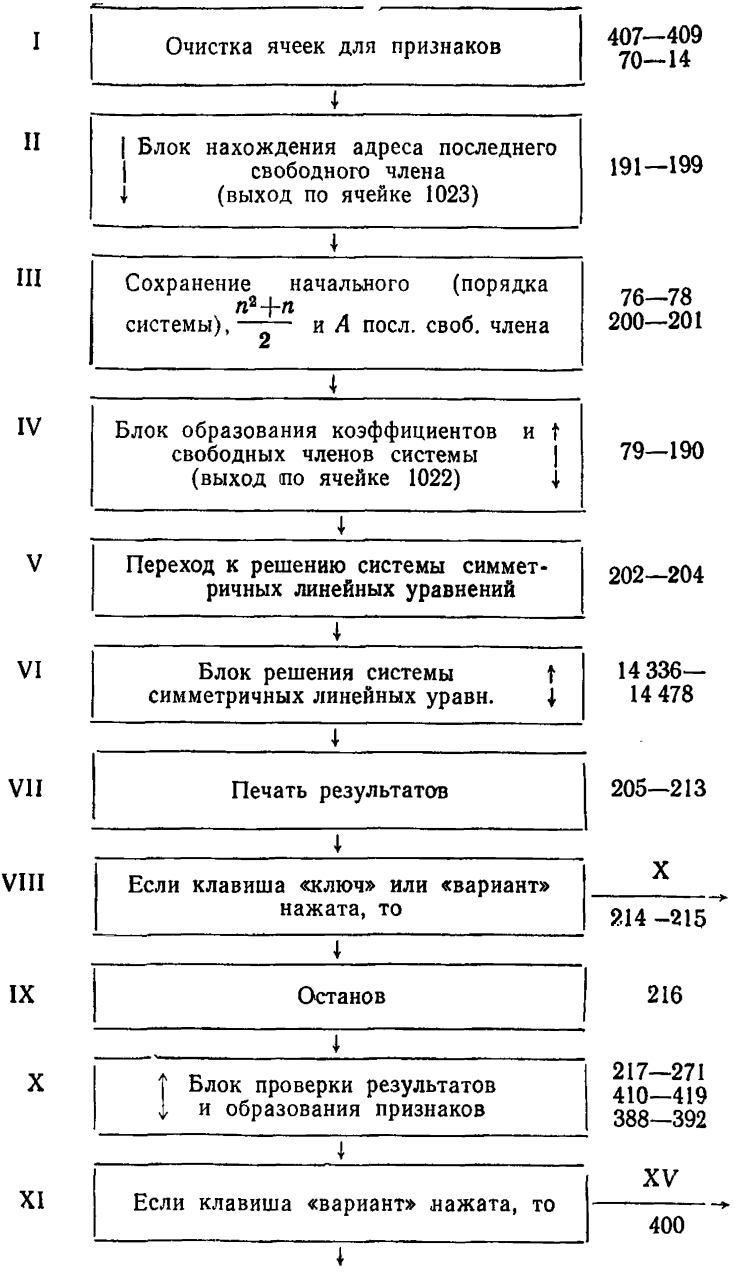
Для вычисления W_{ij} используется формула

$$W_{ij} = W e^{-\frac{0{,}5\, r_{ij}}{d}};$$

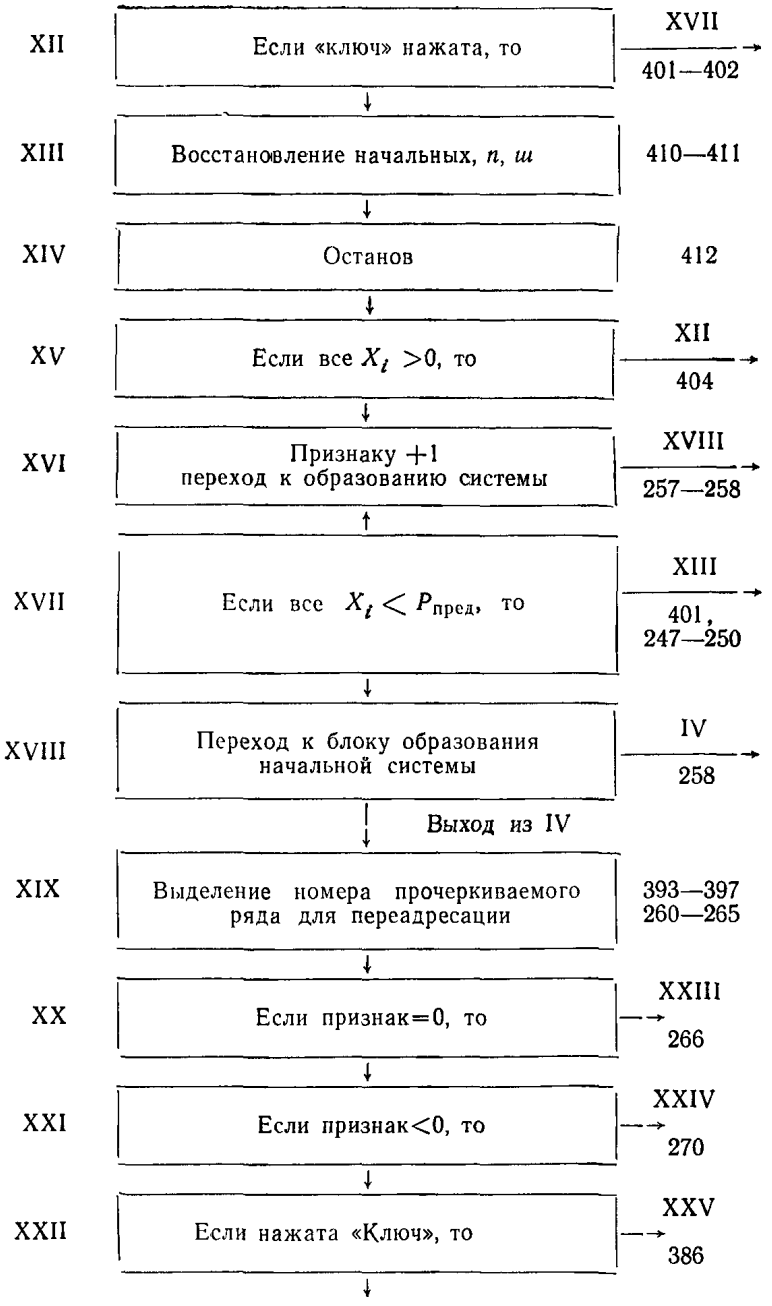
$$r_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}, \tag{55}$$

где x_i, y_i — координаты оси i-й сваи в плане.

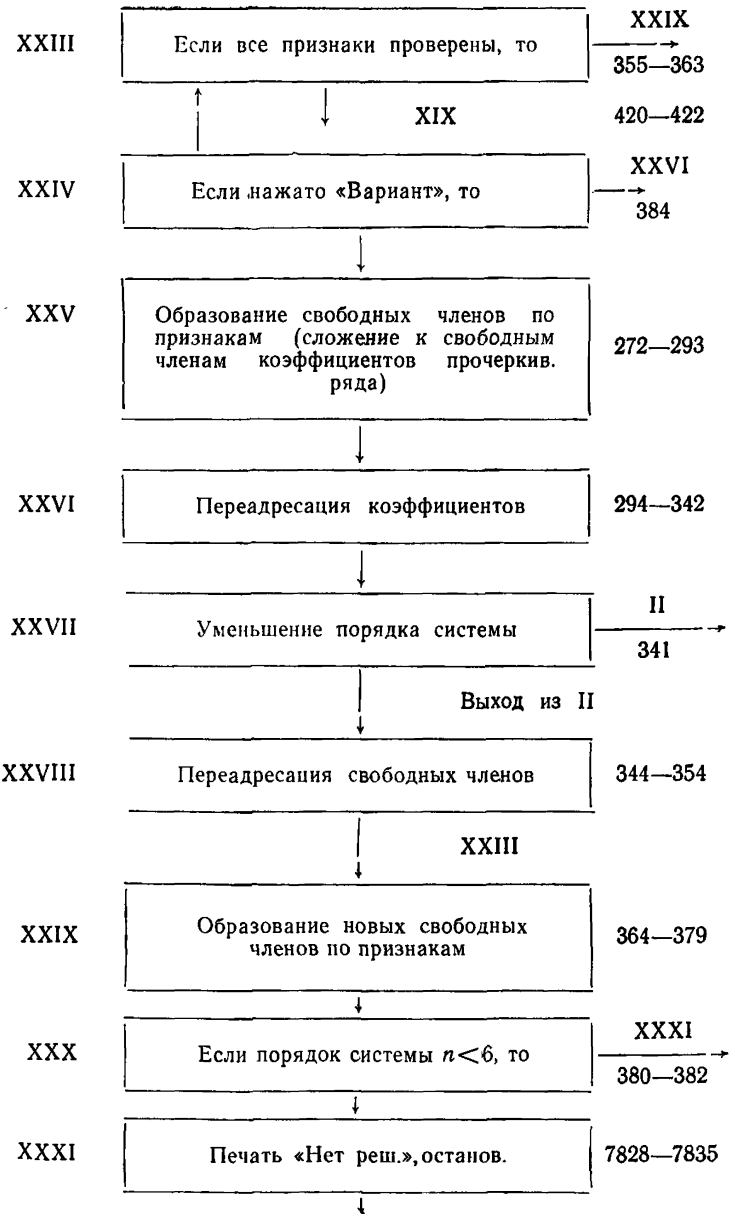
Блок-схема


I
Очистка ячеек для признаков
407—409
70—14
II
Блок нахождения адреса последнего свободного члена (выход по ячейке 1023)
191—199
III
Сохранение начального (порядка системы), $\frac{n^2+n}{2}$ и A посл. своб. члена
76—78
200—201
IV
Блок образования коэффициентов и свободных членов системы (выход по ячейке 1022)
79—190
V
Переход к решению системы симметричных линейных уравнений
202—204
VI
Блок решения системы симметричных линейных уравн.
14 336—
14 478
VII
Печать результатов
205—213
VIII
Если клавиша «ключ» или «вариант» нажата, то
X
214 –215
IX
Останов
216
X
Блок проверки результатов и образования признаков
217—271
410—419
388—392
XI
Если клавиша «вариант» нажата, то
XV
400

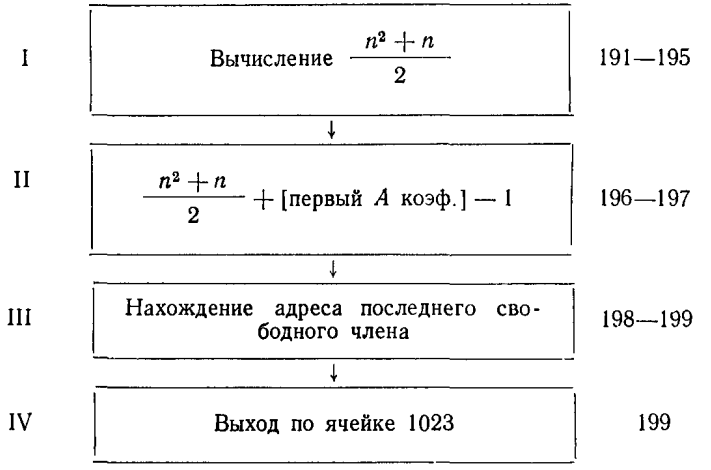
Продолжение



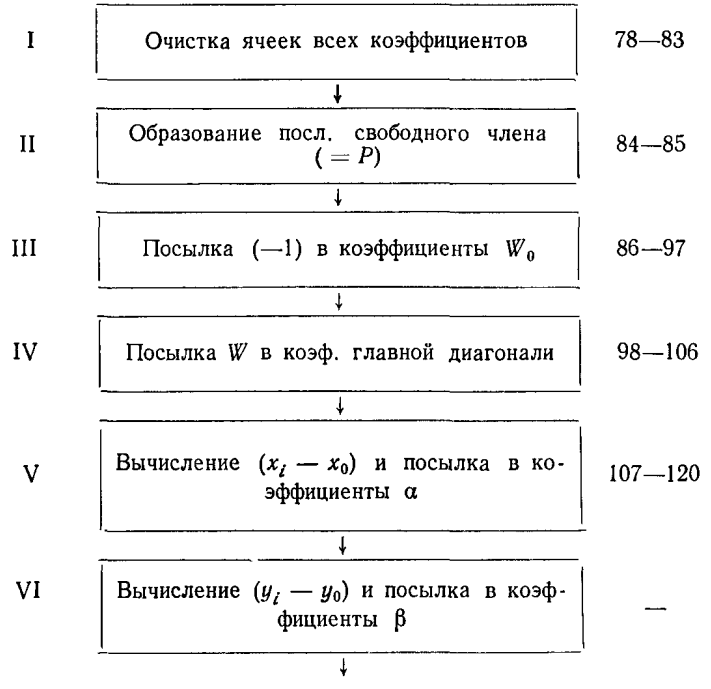
Продолжение



Блок нахождения адреса последнего свободного члена



Блок образования коэффициентов и свободных членов системы



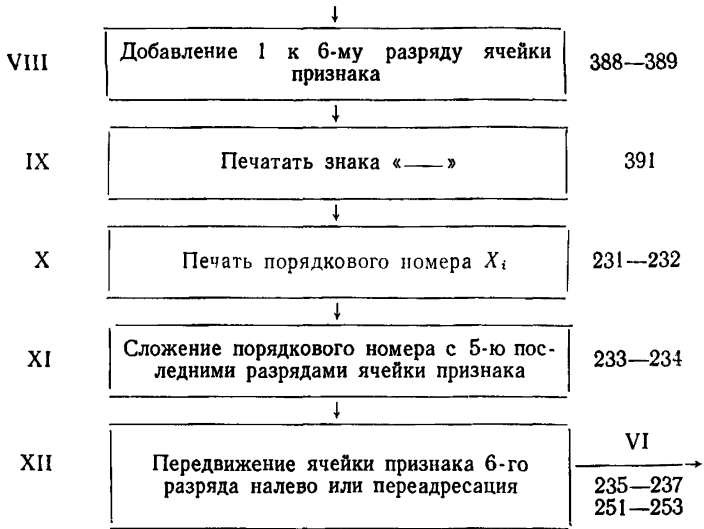
Продолжение

VII	Если все точки не учтены, то	V → 121—133
VIII	Вычисление $A\ddot{y} = We^{-0,5\frac{ч\ddot{y}}{\alpha}}$ и посылка в соотв. ячейки	134—171
IX	Если все точки не учтены, то	VIII → 172—190
	Выход по ячейке 1022	

Блоки проверки результатов и образования признаков

I	Нахождение ячейки X_n и вычисление $n-3$	217—222
II	Проверка X_i	223—225
III	Если $X_i < 0$, то	VIII → 226
IV	Если $X_i > P_{\text{пред}}$, то	X → 227—228
V	$+1$ ячейку, где количество X, которые меньше $P_{\text{пред}}$	229—230
VI	Если все X_i не проверены, то	II → 238—241
VII	Выход из блока	242—243

Продолжение



РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПАМЯТИ МАШИНЫ

I ОЗУ

1. Рабочие ячейки

10—15; 19; 27—28; 34—59

2. Исходные данные

60—69; 29—30

3. Программа

70—422

4. Константы 31—33.
5. Матрица системы уравнений (в треугольном виде)

424—1017 (до 33-го порядка).

II ОЗУ

1. Решение системы уравнений

14336—14478.

2. Контрольное суммирование

2144—2173.

3. Печать «Нет реш.»

7828—7835; 7934—7935.

Примечание. После ввода ленты программы в машину можно считать контрольную сумму. Контрольная сумма записывается в ячейку 34 и программа «Подготовка» в ячейки 50—54. В ходе расчета эти ячейки используются как рабочие.

ИНСТРУКЦИЯ

Исходные данные

Исходные данные вводятся в ОЗУ в следующем порядке:

29 m и n — порядок системы;

$ш$ n — ширина ленты;

60 n W — осадка одиночной сваи от действия единичной нагрузки ($м/т$);

d — диаметр сваи ($м$);

$\left.\begin{matrix} x \\ y \end{matrix}\right\}$ — расстояние между осями крайних свай по оси X и оси Y соответственно ($м$);

$\left.\begin{matrix} ш_1 \\ ш_2 \end{matrix}\right\}$ — расстояния между осями соседних свай по оси X и по оси Y соответственно ($м$);

P — нагрузка на ростверк ($т$);

$\left.\begin{matrix} x_0 \\ y_0 \end{matrix}\right\}$ — координаты точки приложения внешней нагрузки ($м$);

$P_{пред}$ — предельная нагрузка на одиночную сваю ($т$).

Примечания: 1. Порядок системы и ширина ленты получаются следующим образом: n=число свай+3.

2. Возможны 4 варианта расчета:

а) без учета условия $X_i \leqslant P_{пред}$;

б) с учетом условия $X_i \leqslant P_{пред}$ (нажата клавиша «Ключ»);

в) с учетом условия $X_i > 0$ (нажата клавиша «Вариант»);

г) » » условий $X_i \leqslant P_{пред}$; $X_i > 0$ (нажаты клавиши «Ключ» и «Вариант»).

Инструкция оператору

1. Ввести ленту с программой и с контрольным суммированием.

2. Сосчитать контрольную сумму, для чего нужно набрать на РТА 50И.

При совпадении контрольных сумм машина останавливается и горит лампа «останов.». При несовпадении машина печатает «не совп.». Тогда необходимо повторить ввод.

3. Следить, чтобы в машине была кассета с программой Н-59.

4. Ввести исходные данные в следующем порядке:

$$\frac{29\ m}{n,\ n},\ ш$$

$$\frac{60\ n}{W,\ d,\ x,\ y,\ ш_1\ ш_2,\ P,\ x_0;\ y_0,\ P_{пред},\ ш.}$$

5. В случае необходимости нажать нужную клавишу («Ключ» или «Вариант» или обе).

6. Набрать на РТА 70И.

После окончания расчета в СчК находится 635_8 или 17400_8.

Второй случай тогда, когда печатается «нет реш.».

Примечание. При повторном решении с тем же самым n придется ввести снова n в ячейки 29 и 30, потому что в ходе расчета содержимое этих ячеек портится.

Результаты расчета

При решении задачи на печать выводятся результаты по каждой итерации в следующем порядке:

X_i — величины реакций свай в порядке нумерации (согласно рис. 16);

α, β — крены ростверка в плоскости OX и OY соответственно;

W_0 — осадка ростверка в точке приложения равнодействующей внешней нагрузки;

i — номера свай, реакция которых $X_i > P_{пред}$, если нажата клавиша «Ключ»;

j — номера свай, работающих на выдергивание (со знаком минус), если нажата клавиша «Вариант».

Расчет заканчивается, когда выполненными оказываются ограничения для величин реакций всех свай.

Результаты окончательной итерации выводятся так же, как и в промежуточных итерациях.

Тест — пример

Исходные данные	4
29 *т*	1
33	I
33	900
Ш	2,5
60п	2
0,0004368	40,001
0,3	*Ш*
	Нажата клавиша «Ключ»
	Результаты:

42,4001			
32,5615	P=900 *т*		
32,8680			
32,8680			
32,5615	P=40 *т*	42,4001	
42,4001		0,0000	
32,5617		0,0000	
22,2675		0,0268	
22,8260		33,2561	
22,8260		33,2741	
22,2675		33,1182	
32,5617		33,1182	
32,5617		33,2741	
32,8539		33,2741	
22,7983		23,5313	
23,3776		22,9956	
23,3776		22,9956	22,5313
22,7983		22,5313	22,9956
32,8539		32,2741	22,9956
32,5617		33,0974	22,5313
22,2675		23,9601	33,2741
22,8260		22,5555	33,2741
22,8260		23,5555	33,1182
22,2675		23,9601	33,1182
32,5617		32,0974	33,2741
42,4001		33,2741	0,0000
32,5615			0,0000
32,8680			0,0270
32,8680			
32,5615			

Код — программа

106	70	E_1	336	*П*	
107	71	*П*	0	*П*	50
110	72	*С*	1	*П*	1
111	73	B_1	9	*П*	
112	74	E_1	16380	*П*	
113	75	M_1	191	*К*	1023
114	76	*П*	29	*Н*	11
115	77	*П*	41	*Н*	12

116	78	E_1	121	П	
117	79	П	32	Н	1
120	80	П	0	К	
121	81	С	1	П	1
122	82	B_1	13	Н	
123	83	E_1	16380	П	
124	84	П	13	Н	1
125	85	П	66	Н	
126	86	П	32	Н	
127	87	C_1	11	Н	
130	88	B_1	1	Ш	1
131	89	П	12	Н	41
132	90	B_1	7	П	
133	91	C_1	32	Н	41
134	92	П	11	Н	40
135	93	П	6051	Н	
136	94	В	1	П	40
137	95	C_1	1	Н	1
140	96	B_1	41	Н	
141	97	E_1	16379	П	
142	98	П	32	Н	1
143	99	В	3	П	41
144	100	П	11	Н	40
145	101	П	60	Н	
146	102	С	40	Н	1
147	103	B_1	41	Н	
150	104	E_1	2	П	
151	105	В	1	П	40
152	106	E_1	16378	П	
153	107	П	11	Н	
154	108	B_1	1	П	42
155	109	П	0	П	43
156	110	П	0	П	34
157	111	П	32	Н	40
160	112	C_1	11	Н	
161	113	B_1	3	П	1
162	114	П	43	Н	45
163	115	ВП	67	Н	45
164	116	П	45	Н	
165	117	П	34	Н	46
166	118	ВП	68	Н	46
167	119	С	1	П	1
170	120	П	46	Н	
171	121	П	43	Н	15
172	122	ОВ	62	Н	15
173	123	E_1	4	Н	43
174	124	СП	64	Н	43
175	125	В	1	П	42
176	126	C_1	42	Н	1
177	127	E_1	16370	П	
200	128	П	34	Н	15
201	129	ОВ	63	Н	15
202	130	E_1	3	П	
203	131	СП	65	Н	34
204	132	П	0	П	43

Продолжение

205	133	E_1	16375	*П*	
206	134	***В***	**4**	*П*	41
207	135	*П*	0	*П*	43
210	136	*П*	0	*П*	34
211	137	*П*	32	***Н***	1
212	138	C_1	1	*П*	1
213	139	*П*	0	*П*	46
214	140	*П*	64	*Н*	45
215	141	*П*	43	*Н*	37
216	142	*ОВ*	45	*Н*	37
217	143	*П*	34	*Н*	38
220	144	*ОВ*	46	*Н*	38
221	145	*УП*	37	*Н*	37
222	146	*УП*	38	*Н*	38
223	147	*СП*	37	*Н*	38
224	148	*КП*	38	*Н*	42
225	149	*ОД*	61	***Н***	42
226	150	*УП*	5790	*Н*	42
227	151	*УП*	6051	*Н*	42
230	152	*ЕХ*	42	*Н*	42
231	153	E_1	4	*П*	
232	154	*Х*			
233	155	*Х*			
234	156	*Х*			
235	157	*Х*			
236	158	*УП*	60	*Н*	42
237	159	*П*	42	*Н*	
240	160	*С*	1	*П*	1
241	161	*П*	45	*Н*	15
242	162	*ОВ*	62	*Н*	15
243	163	E_1	2	*П*	
244	164	*СП*	64	*Н*	45
245	165	E_1	16359	*П*	
246	166	*П*	46	***Н***	15
247	167	*ОВ*	63	*Н*	15
250	168	E_1	3	*П*	
251	169	*СП*	65	*Н*	46
252	170	*П*	0	*П*	45
253	171	E_1	16353	*П*	
254	172	*С*	4	*П*	1
255	173	B_1	41	*Н*	
256	174	*И*	1022	*П*	
257	175	*П*	43	*Н*	15
260	176	*ОВ*	62	*Н*	15
261	177	E_1	9	*П*	
263	178	*СП*	64	*Н*	43
262	179	*П*	43	***Н***	15
264	180	*ОВ*	62	*Н*	15
265	181	E_1	3	*П*	
266	182	*П*	34	*Н*	46
267	183	*П*	43	*Н*	45
270	184	E_1	16363	*П*	
271	185	*П*	34	*Н*	46

Продолжение

272	186	E_1	16366	*П*	
273	187	*СП*	65	*Н*	34
274	188	*П*	0	*П*	43
275	189	*П*	34	*Н*	46
276	190	E_1	16333	*П*	
277	191	*П*	2	*П*	42
300	192	*П*	29	*Н*	41
301	193	*УТ*	41	*Н*	41
302	194	*С*	29	*Н*	41
303	195	*ДТ*	42	*Н*	41
304	196	C_1	32	*Н*	
305	197	B_1	1	*П*	14
306	198	C_1	29	*Н*	19
307	199	*И*	1023	*П*	
310	200	*П*	19	*Н*	13
311	201	$И_1$	79	*К*	1022
312	202	*О*	2274	*Н*	
313	203	*Е*	1	*П*	48
314	204	*И*	14336	*П*	
315	205	*П*	41	*Н*	
316	206	$Б_1$	11	*П*	1
317	207	*С*	2048	*П*	1
320	208	*ПП*	0	*Н*	4
321	209	*О*	2274	*Н*	
322	210	*П*	1	*Н*	
323	211	A_1	11	*П*	
324	212	$\boldsymbol{B_1}$	19	*Н*	
325	213	E_1	16377	*П*	
326	214	$И_3$	217	***П***	
327	215	E_1	1	*П*	1
330	216	E_1	195	*П*	
331	217	*П*	29	*Н*	10
332	218	B_1	3	*П*	43
333	219	*П*	6	*П*	49
334	220	*П*	19	*Н*	
335	221	B_1	3	*П*	42
336	222	*П*	0	*П*	15
337	223	*П*	42	*Н*	1
340	224		11	*П*	1
341	225	*П*	0	*Н*	34
342	226	E_1	27	*П*	
343	227	*ОВ*	69	*Н*	34
344	228	E_1	2	*П*	
345	229	*С*	1	*П*	15
346	230	E_1	7	*П*	
347	231	*ПТ*	43	*Н*	
350	232	*О*	2270	*Н*	
351	233	*П*	28	*Н*	1
352	234	*С*	43	*Н*	50
353	235	*В*	1	*П*	49
354	236	E_1	14	*П*	
355	237		6	*П*	50
356	238	*В*	1	*П*	43
357	239	*В*		*П*	42

Продолжение

360	240	B_1	44	*Н*	
361	241	E_1	16365	*П*	
362	242	*М*	6	*П*	49
363	243	E_1	174	*П*	
364	244	*П*	28	*Н*	1
365	245	*А*	6	*П*	50
366	246	E_1	166	*П*	
367	247	B_1	29	*Н*	
370	248	C_1	3	*П*	
371	249	E_1	7	*П*	
372	250	E_1	159	*П*	
373	251	*С*	1	*П*	28
374	252	*П*	6	*П*	49
375	253	E_1	16368	*П*	
376	254	*В*	1	*П*	10
377	255	E_1	132	*П*	
400	256	E_1	16358	*П*	
401	257	*С*	1	*П*	28
402	258	$И_1$	79	*К*	1022
403	259	E_1	133	*П*	
404	260	*П*	0	*П*	38
405	261	*П*	6	*П*	49
406	262	*П*	40	*Н*	1
407	263		11	*П*	1
410	264	*П*	50	*Н*	15
411	265	$Л_1$	31	*П*	45
412	266	E_1	92	*П*	=
413	267	B_1	38	*Н*	45
414	268	*П*	15	*Н*	
415	269	$Л_1$	32	*П*	
416	270	E_1	113	*П*	
417	271	E_1	114	*П*	
420	272	*П*	45	*Н*	39
421	273	*П*	29	*Н*	37
422	274	*П*	32	*Н*	
423	275	C_1	45	*Н*	
424	276	B_1	1	*П*	34
425	277	*П*	14	*Н*	
426	278	C_1	1	*П*	36
427	279	*П*	34	*Н*	
430	280		11	*П*	
431	281	C_1	36	*Н*	1
432	282	*СП*	0	*Н*	
433	283	*В*	1	*Л*	39
434	284	E_1	4	*П*	
435	285	*В*	1	*П*	37
436	286	*С*	37	*Н*	34
437	287	*С*	1	*П*	36
440	288	E_1	16374	*П*	
441	289	*П*	36	*Н*	
442	290	B_1	19	*Н*	
443	291	E_1	2	*П*	
444	292	*С*	1	*П*	34
445	293	E_1	16377	*П*	

Продолжение

446	294	*П*	29	*Н*	
447	295	B_1	2	*П*	39
450	296	*П*	1	*П*	37
451	297	*П*	45	*Н*	35
452	298	*П*	32	*Н*	
453	299	C_1	45	*Н*	34
454	300	B_1	1	*П*	36
455	301	C_1	39	*Н*	47
456	302	B_1	37	*Н*	46
457	303	*В*	1	*П*	35
460	304	E_1	16	*П*	
461	305	*П*	34	*Н*	
462	306	$Б_1$	11	*П*	
463	307	C_1	36	*Н*	
464	308	*П*	0	*Н*	
465	309	*П*	1	*Н*	
466	310	$Л_1$	2047	*П*	
467	311	M_1	46	*Н*	
470	312	E_1	2	*П*	
471	313	*С*	2049	*П*	1
472	314	E_1	16377	*П*	
473	315	*С*	1	*П*	37
474	316	*П*	47	*Н*	
475	317	C_1	2	*П*	34
476	318	*П*	46	*Н*	
477	319	C_1	1	*П*	36
500	320	E_1	16364	*П*	
501	321	*П*	45	*Н*	
502	322	B_1	1	*П*	
503	323	E_1	13	*П*	
504	324	*П*	47	*Н*	
505	325	C_1	2	*П*	34
506	326	*П*	34	*Н*	
507	327		11	*П*	
510	328	C_1	36	*Н*	1
511	329	*П*	0	*Н*	
512	330	*П*	1	*Н*	
513	331	A_1	11	*П*	
514	332	$Л_1$	2047	*П*	
515	333	M_1	14	*Н*	
516	334	E_1	6	*П*	
517	335	*С*	2049	*П*	1
520	336	E_1	16376	*П*	
521	337	*П*	32	*Н*	
522	338	C_1	29	*Н*	34
523	339	*П*	32	*Н*	36
524	340	E_1	16369	*П*	
525	341	*В*	1	*П*	29
526	342	*С*	1	*П*	38
527	343	$И_1$	191	*К*	1023
530	344	*П*	45	*Н*	39
531	345	*С*	2049	*П*	1
532	346	*П*	0	*Н*	
533	347	*В*	1	*П*	39

Продолжение

534	348	E_1	2	П	
535	349	С	2048	П	1
536	350	E_1	16379	П	
537	351	П	1	Н	
540	352	$Л_1$	2047	П	
541	353	$М_1$	19	Н	
542	354	E_1	16374	П	
543	355	Е	1	П	49
544	356	E_1	2	П	
545	357	А	6	П	15
546	358	E_1	16290	П	
547	359	E_1	60	П	
550	360	$В_1$	28	Н	
551	361	E_1	2	П	
552	362	С	1	П	40
553	363	E_1	16280	П	
554	364	П	14	Н	
555	365	$С_1$	1	П	1
556	366		11	П	1
557	367	П	0	Н	37
560	368	УП	69	Н	37
561	369	А	11	П	1
562	370	П	37	Н	
563	371	П	1	Н	
564	372	$В_1$	19	Н	
565	373	E_1	2	П	
566	374	С	1	П	1
567	375	E_1	16374	П	
570	376	П	69	Н	38
571	377	ВП	11810	Н	38
572	378	УП	66	Н	38
573	379	СП	38	Н	
574	380	П	29	Н	30
575	381	$В_1$	6	П	
576	382	И	7828	П	
577	383	E_1	14	П	
600	384	E_1	16293	П	1
601	385	E_1	16353	П	
602	386	$И_3$	272	П	
603	387	E_1	16351	П	
604	388	П	28	П	1
605	389	С	32	П	50
606	390	С	1	П	15
607	391	С	2259	Н	
610	392	E_1	16222	П	
611	393	П	11	Н	29
612	394	П	13	Н	19
613	395	$В_1$	29	Н	14
614	396	П	0	П	40
615	397	E_1	16242	П	
616	398	О	2274	П	
617	399	E_1	16186	П	
620	400	E_1	3	П	1
621	401	П	15	Н	

Продолжение

622	402	$И_3$	247	*П*	
623	403	$Е_1$	6	*П*	
624	404	*М*	29	*Н*	10
625	405	$Е_1$	16379	*П*	
626	406	$Е_1$	16234	*П*	
627	407	*П*	0	*П*	28
630	408	*П*	0	*П*	1
631	409	$Е_1$	16045	*П*	
632	410	*П*	11	*Н*	29
633	411	*П*	11	*Н*	30
634	412	*К*	0	*Н*	
635	413	$Л_1$	131072	*Л*	
636	414	$Е_1$	2	*П*	
637	415	*М*	258048	*Л*	50
640	416	$П_1$	0	*Н*	50
541	417	$Е_1$	16366	*П*	
642	418	*В*	1	*П*	28
643	419	$Е_1$	16364	*П*	
644	420	*П*	40	*Н*	
645	421	$С_1$	1	*П*	
646	422	$Е_1$	16321	*П*	
647	423				
	50к	*Х*	31	*Н*	33
	51	*Х*	70	*Н*	422
	52	$И_1$	2144	*К*	1023
	53	*И*	7881	*П*	9
	54	*К*	0	*Н*	

Константы

I 31 т
424
I
III
К 44020132 34 т

14336	*П*	0	*П*	37
7	*П*	30	*Н*	34
8	*П*	32	*Н*	35
9	*П*	0	*К*	47
14340	*П*	0	*П*	40
1	*П*	35	*Н*	38
2	*П*	1	*П*	36
3	*П*	37	*Н*	
4	$Е_1$	19	*П*	
5	*П*	41	*Н*	
6	$С_1$	47	*Н*	
7	$С_1$	1	*П*	44
8	$С_1$	36	*Н*	45
9	*П*	35	*Н*	
14350	$С_1$	36	*Н*	
1		11	*П*	1

Продолжение

2	*П*	0	*Н*	43
3	*П*	44	*Н*	
4		11	*П*	1
5	*П*	0	*Н*	44
6	*УП*	43	*Н*	44
7	*П*	35	*Н*	
8		11	*П*	1
9	*П*	0	*Н*	43
14360	*ДП*	44	*Н*	43
1	*П*	45	*Н*	1
2	*ОВ*	43	*Н*	
3	E_1	23	*П*	
4	*С*	34	*Н*	38
5	*В*	40	*Н*	38
6	*П*	0	*П*	39
7	*П*	38	*Н*	
8	C_1	39	*Н*	45
9	*П*	35	*Н*	
14370	C_1	36	*Н*	44
1		11	*П*	1
2	*П*	0	*Н*	43
3	*С*	39	*Н*	44
4		11	*П*	1
5	*П*	0	*Н*	44
6	*УП*	43	*Н*	44
7	*П*	35	*Н*	
8		11	*П*	1
9	*ОД*	0	*Н*	44
14380	*П*	45	*Н*	1
1	*ОВ*	44	*Н*	
2	*С*	1	*П*	39
3	B_1	34	*Н*	
14384	C_1	36	*Н*	
5	C_1	1	*П*	
6	E_1	16364	*П*	
7	*П*	36	*Н*	
8	C_1	47	*Н*	
9	B_1	1	*П*	
14390	B_1	29	*П*	
1	C_1	34	*Н*	
2	E_1	1	*П*	
3	*С*	1	*П*	40
4	*С*	1	*П*	36
5	B_1	34	*Н*	
6	C_1	1	*П*	
7	E_1	16329	*П*	
8	*С*	34	*Н*	35
9	*П*	29	*Н*	
14400	B_1	34	*Н*	
1	B_1	47	*Н*	
2	E_1	1	*П*	
3	*В*	1	*П*	34
4	*С*	1	*П*	47
5	B_1	29	*Н*	

Продолжение

6	C_1	2	*П*	
7	E_1	16316	*П*	
14408	*П*	35	*Н*	41
9	*П*	37	*Н*	
14410	E_1	21	*П*	
1	*П*	0	*П*	46
2	*П*	1	*П*	37
3	*П*	31	*Н*	
4	E_1	1	*П*	
5	E_1	16305	*П*	
6	*П*	1	*П*	39
7	*П*	39	*Н*	
8	C_1	41	*Н*	1
9	*П*	0	*К*	
14420	*С*	1	*П*	39
1	B_1	29	*Н*	
2	E_1	16378	*П*	
3	*П*	41	*Н*	
4	C_1	46	*Н*	1
5	*С*	1	*П*	1
6	*П*	8213	*К*	
7	E_1	16293	*П*	
8	*С*	1	*П*	46
9	B_1	29	*Н*	
14430	E_1	16939	*П*	
1	E_1	48	*П*	
14432	*П*	29	*Н*	47
3	*П*	35	*Н*	
4		11	*П*	1
5	*П*	0	*Н*	42
6	*ВП*	0	*П*	42
7	*П*	41	*Н*	
8	C_1	47	*Н*	1
9	*ОД*	42	*Н*	
14440	*П*	35	*Н*	
1	B_1	32	*Н*	
2	E_1	23	*П*	
3	*П*	30	*Н*	
4	B_1	34	*Н*	
5	E_1	1	*П*	
6	*С*	1	*П*	34
7	*В*	34	*Н*	35
8	*В*	1	*П*	47
9	*П*	1	*П*	39
14450	*П*	35	*Н*	
1	C_1	39	*Н*	
2	$Б_1$	11	*П*	1
3	*П*	0	*Н*	45
4	*П*	41	*Н*	
5	C_1	47	*Н*	44
14456	C_1	39	*Н*	
7	$Б_1$	11	*П*	1
8	*УП*	0	*Н*	45
9	*П*	44	*Н*	1

Продолжение

14460	*СП*	45	*Н*	
1	*С*	1	*П*	39
2	$В_1$	34	*Н*	
3	$С_1$	1	*П*	
4	$Е_1$	16369	*П*	
5	$Е_1$	16351	*П*	
6	*М*	0	*П*	33
7	$Е_1$	10	*П*	
8	*П*	29	*Н*	43
9	*П*	41	*Н*	
14470	$Б_1$	11	*П*	42
1	*С*	2048	*П*	42
2	*П*	42	*Н*	1
3	*ПП*	0	*Н*	9
4	*О*	2274	*Н*	
5	*С*	2048	*П*	42
6	*В*	1	*П*	43
7	$Е_1$	16378	*П*	
8	*П*	31	*Н*	
9	$Е_1$	16332	*П*	
14480	*Н*	0	*П*	33
1	*И*	48	*Н*	
2	*ПТ*	44	*Н*	
3	*К*	0	*П*	

Контрольное суммирование

2144	*П*	0	*К*	10
2145	*П*	1	*Н*	6
2146	*П*	1023	*Н*	
2147	$Л_1$	262016	*П*	2
2148	*У*	4	*К*	1
2149	*Н*	16382	*Н*	3
2150	$Л_1$	1023	*К*	4
2151	$Б_1$	12	*К*	4
2152	*С*	2048	*К*	4
2153	*Л*	9736	*Н*	3
2154	$П_1$	0	*Н*	1
2155	*П*	0	*Н*	5
2156	$А_1$	18	*К*	
2157	$Л_1$	262143	*П*	
2158	$С_1$	10	*Н*	10
2159	*Л*	262143	*П*	5
2160	$С_1$	10	*Н*	10
2161	*С*	2048	*К*	1
2162	*М*	1	*Н*	1
2163	$Е_1$	16374	*П*	
2164	*Л*	13527	*Н*	3
2165	$Е_1$	2	*П*	
2166	*В*	128	*К*	2
2167	$Е_1$	16364	*К*	

gost.e-ecolog.ru