

ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ОСНОВАНИЙ И ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ
им. Н.М. ГЕРСЕВАНОВА
ГОССТРОЯ СССР

РОСТОВСКИЙ
ПРОМСТРОЙНИИПРОЕКТ
ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАКРЕПЛЕННЫХ СИЛИКАТИЗАЦИЕЙ МАССИВОВ В ЛЕССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА–1980

ГОССТРОЙ СССР

Ордена Трудового Красного
Знамени научно-исследовательский
институт оснований и подземных
сооружений им. Н.М.Герсеванова

Ростовский
Промстройниипроект

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ЗАКРЕПЛЕННЫХ СИЛИКАТИЗАЦИЕЙ МАССИВОВ В ЛЁССОВЫХ ПРОСАДОЧНЫХ ГРУНТАХ

Москва - 1980

УДК 624.138.232:666.112.2:624.131.23.

Настоящие рекомендации составлены по результатам экспериментально-теоретических исследований и многолетнего опыта проектирования и производственного внедрения химического закрепления грунтов в промышленном и гражданском строительстве.

Рекомендации разработаны канд.техн.наук А.Ф. Селезневым, инженерами Ю.И. Качаном, В.Б. Балацким, В.М. Азархиным (Ростовский Промстройн ... к О.Е. Приходченко (Ростовски

Работа ... средственном участии ка ... Промстройнии-проект), ... СР, доктора техн. нау ... наук А.Н.Токина (НИИ

Научны ... органов, канд техн. нау

Рекоме ... омендованы к изданию

Замеча ... 389, Москва, 2-я Инсти ... оружений.

Содержание

	стр.
Введение	4
I. Общие положения	5
2. Проектирование закрепленных массивов	8
Последовательность проектирования	8
Конструктивные схемы закрепления грунтов	8
Назначение прочности закрепленного силикатизацией грунта в основании зданий и сооружений	I0
Определение размеров подошвы фундамента и закрепленного массива	II
Расчет закрепленных массивов по предельным состояниям	I6
Расчет по деформациям	I6
Определение осадки фундамента	I7
Определение крена фундамента	25
Расчет по несущей способности	26
Определение напряженно-деформированного состояния системы "закрепленный массив - лессовый грунт" с применением ЭВМ	26
Приложение I. Примеры расчета	3I
Приложение 2. Программа "Массив-I"	45
Приложение 3. Программа "Массив-2"	49

ВВЕДЕНИЕ

Проектирование и возведение зданий и сооружений на лессовых просадочных грунтах является актуальной проблемой современного фундаментостроения. Одно из направлений в ее решении - применение химических способов закрепления лессовых грунтов, в частности, метода силикатизации, который используется как для усиления оснований аварийных зданий и сооружений, так и при новом строительстве.

Целесообразность силикатизации в каждом конкретном случае обосновывается технико-экономическим сравнением возможных вариантов проектного решения.

В 1970 г. институтом "Ростовский Промстройниипроект" совместно с НИИОСП им. Н.М. Герсеванова разработаны "Рекомендации по методам расчета и устройства фундаментов из закрепленного грунта", а в 1973 г. - "Рекомендации по подготовке оснований и устройству фундаментов из силикатированных лессовых грунтов в условиях II типа по просадочности". В 1976 г. выпущены "Рекомендации по подготовке оснований и устройству фундаментов из силикатированного лессового грунта".

Однако проведенные в последние годы экспериментально-теоретические исследования позволили выявить некоторые особенности совместной работы закрепленных массивов с окружающим их лессовым просадочным грунтом, которые прежде не учитывались в расчетах закрепленных массивов по предельным состояниям.

В настоящих Рекомендациях учтены силы нагружающего трения по боковой поверхности закрепленных массивов для II типа грунтовых условий по просадочности, взаимное влияние массивов, образующих пространственную систему, использованы численные методы и реализующие их программы для ЭВМ при определении напряженно-деформированного состояния системы "закрепленный массив - лессовый грунт".

При составлении Рекомендаций использовались действующие нормативные документы:

СНиП II-6-74. Нагрузки и воздействия. Нормы проектирования;

СНиП II-9-78. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения;

СНиП II-I5-74. Основания зданий и сооружений. Нормы проектирования;

Руководство по проектированию зданий и сооружений.М.,Стройиздат,I977 (НИИОСП);

СНиП III-9-74. Основания и фундаменты. Правила производства и приемки работ;

Руководство по производству и приемки работ при устройстве оснований и фундаментов.М.,Стройиздат,I977.

I. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие рекомендации предназначены для использования при проектировании закрепленных силикатизацией массивов в лессовых грунтах I и II типа по просадочности.

I.2. Силикатизация производится с целью устранения просадочных свойств грунтов основания и придания им повышенной прочности и водостойкости и должна выполняться:

в грунтовых условиях I типа по просадочности – в пределах деформируемой зоны или ее части;

в грунтовых условиях II типа по просадочности – на всю глубину просадочной толщи.

I.3. Лабораторное закрепление грунтов, производство работ и контроль качества должны выполняться в соответствии с требованиями СНиП "Правила производства и приемки работ. Основания и фундаменты" и других нормативных документов по закреплению грунтов.

I.4. Исходными материалами для разработки проекта закрепления грунтов химическими способами являются:

результаты инженерно-геологических и гидрогеологических изысканий площадки строительства;

генеральный план площадки со всеми коммуникациями;

технические данные о зданиях и сооружениях (тип здания, конструктивная схема с указанием действующих нагрузок, условия эксплуатации);

планы и разрезы фундаментов зданий и сооружений с указанием действующих на них нагрузок,данные о расположении подземных

коммуникаций, а также материалы натурных обследований (при закреплении грунтов оснований существующих зданий);

схемы размещения технологического оборудования с указанием действующих на него нагрузок и допустимых осадок, а также нагрузок на полы;

результаты закрепления грунтов ненарушенной структуры в лабораторных или полевых условиях.

1.5. Перед началом производства работ по закреплению грунтов основания должно выполняться контрольное полевое закрепление грунтов на площадке строительства. В случае расхождения между проектными данными и результатами контрольного полевого закрепления в проект должны быть внесены соответствующие изменения.

1.6. Результаты закрепления грунтов в лабораторных условиях должны содержать:

нормативные значения прочности грунта при его закреплении растворами жидкого стекла плотностью γ_p = 1,10 и 1,15 г/см^3;

минимальное значение плотности раствора жидкого стекла $\gamma_p^н$, при которой обеспечивается нормативное значение прочности закрепленного грунта, определяемое в соответствии с указаниями п. 2.5 настоящих рекомендаций;

расчетные значения прочности R, угла внутреннего трения φ, удельного сцепления C и модуля деформации E грунта, закрепленного раствором жидкого стекла плотностью $\gamma_p^н$;

значение коэффициента фильтрации грунта при нагнетании раствора жидкого стекла плотностью $\gamma_p^н$.

Примечания. 1. Под термином "прочность закрепленного грунта" следует понимать временное сопротивление закрепленного грунта при одноосном сжатии в 28-дневном возрасте, определяемое по ГОСТ "Грунты. Метод лабораторного определения временного сопротивления при одноосном сжатии".

2. В расчетах по деформациям оснований зданий и сооружений I-IУ классов нормативные значения угла внутреннего трения $\varphi^н$, удельного сцепления $C^н$, модуля деформации E и коэффициента Пуассона μ закрепленного грунта допускается принимать по табл.1, причем расчетные значения этих характеристик принимаются равными нормативным (при K_r = 1).

3. При назначении прочности закрепленного грунта в основании зданий и сооружений отличной от значения, определяемого в соот-

ветствии с указаниями п. 2.5, результаты лабораторного закрепления должны содержать значение плотности раствора $\gamma_р$ и значения характеристик закрепленного грунта, соответствующие принятой прочности.

Таблица I

Нормативные значения удельных сцеплений $C^н$, МПа, углов внутреннего трения $\varphi^н$, град., модулей деформации E, МПа, и коэффициентов Пуассона μ грунтов, закрепленных однорастворной силикатизацией

Виды закрепленных глинистых грунтов	Обозначения характеристик грунтов	Нормативные значения характеристик закрепленных грунтов при их прочности R, МПа, равной							
		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	I,0	I,2	I,5
Супеси	$C^н$	0,047	0,056	0,065	0,073	0,086	0,096	0,II	0,I3
	$\varphi^н$	24	25	26	28	30	35	40	45
	E	42	53	65	75	85	I00	I20	I50
	μ	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20
Суглинки	$C^н$	0,040	0,050	0,06I	0,068	0,075	0,090	0,095	0,II
	$\varphi^н$	24	26	28	30	32	34	38	42
	E	38	50	60	70	80	95	II5	I45
	μ	0,35	0,30	0,30	0,25	0,25	0,20	0,20	0,20

Примечание. R и соответствующие $C^н$, $\varphi^н$, E, μ даны при степени влажности закрепленного грунта $G \geqslant 0,8$.

I.7. Проект закрепления грунтов должен содержать:

план разбивки инъекций с их маркировкой, контуры закрепленных массивов в плане и разрезы;

спецификации, включающие сведения об отметках верха и низа заходок для каждой марки инъекций, плотности раствора жидкого стекла и его количестве на каждую заходку и инъекцию в целом, объеме бурения, общем расходе жидкого стекла и объеме закрепленного грунта;

указания по режиму нагнетания раствора (время, давление);

пояснительную записку, включающую характеристику инженерно-геологических условий строительства и обоснование принятого варианта закрепления;

указания по производству работ;

данные по контрольному закреплению грунтов на объекте;

указания по контролю качества закрепленного грунта в процессе производства работ;

рекомендации по наблюдению за осадками здания или сооружения;

сметы.

2. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЗАКРЕПЛЕННЫХ МАССИВОВ

Последовательность проектирования

2.1. Проектирование закрепленных массивов производится в следующем порядке:

на основании исходных материалов выбирается конструктивная схема закрепления грунтов основания;

назначается нормативная прочность закрепленного грунта в основании по п. 2.5;

определяются размеры подошвы фундамента и размеры в плане закрепленных массивов;

выполняется расчет закрепленных массивов по предельным состояниям;

по результатам контрольного закрепления на строительной площадке и испытаний закрепленного грунта производится при необходимости корректировка проектной плотности раствора жидкого стекла, его расхода или режима нагнетания.

При контрольном закреплении грунтов должны быть выполнены все марки (разновидности) инъекций, предусмотренные проектом.

Конструктивные схемы закрепления грунтов

2.2. При закреплении грунтов силикатизацией применяются следующие конструктивные схемы:

а) образование сплошных массивов из закрепленного грунта под отдельные или ленточные фундаменты, либо под все сооружение в целом. По этой схеме, как правило, предусматривается вынос закрепления за контуры фундамента (рис. I,а).

б) армирование грунтов основания в деформируемой зоне отдельными элементами из закрепленного грунта, при котором непосред -

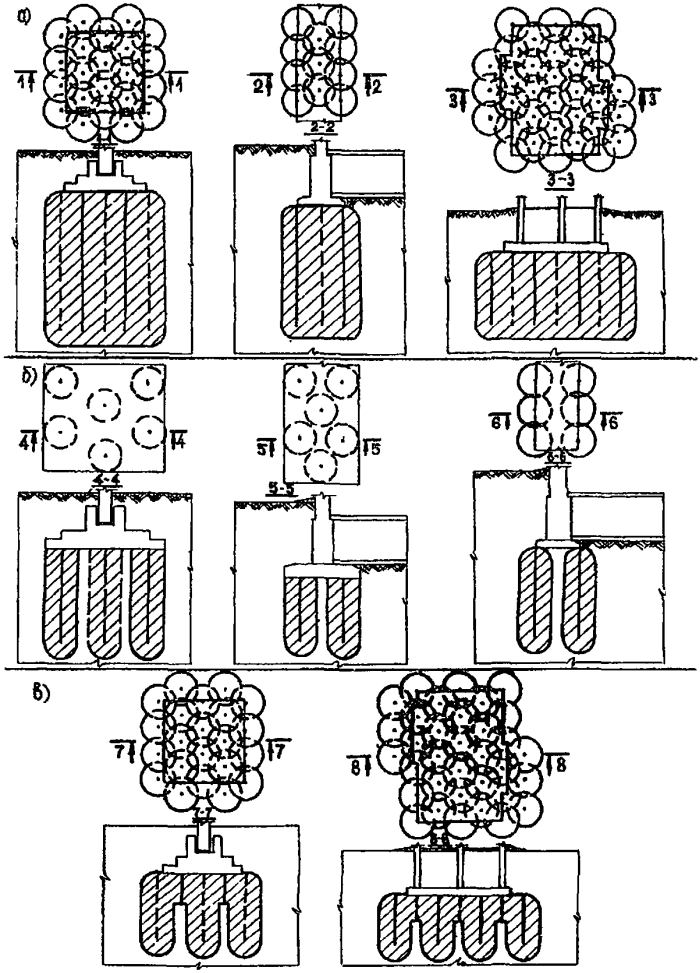


Рис. I. Конструктивные схемы закрепления грунтов:
а) сплошное закрепление под фундаментом;
б) армирование основания;
в) комбинированная схема закрепления

ственно под подошвой фундамента остаются участки незакрепленного грунта (рис. I,б);

в) комбинированная схема, предусматривающая сплошное закрепление на некоторую глубину непосредственно под подошвой фундамента и армирование элементами из закрепленного грунта нижележащей просадочной толщи, либо образование опорного слоя из закрепленного грунта и армирование вышележащей просадочной толщи отдельными элементами из закрепленного грунта.

2.3. Глубина заложения подошвы фундамента на закрепленном массиве должна быть не менее расчетной глубины промерзания грунта.

2.4. Конструктивная схема закрепления выбирается с учетом инженерно-геологических условий строительства, конструктивных особенностей зданий и сооружений и условий их дальнейшей эксплуатации, нагрузок, действующих на фундаменты, должна быть оптимальной по технико-экономическим показателям и обеспечивать наиболее полное использование прочностных и деформационных характеристик закрепленного грунта.

Назначение прочности закрепленного грунта в основании зданий и сооружений

2.5. Нормативное значение прочности закрепленного силикатизацией грунта в основании зданий и сооружений $R_б''$ (при степени влажности $G \geqslant 0,8$) должно быть, как правило, не менее прочности, определяемой в зависимости от результатов лабораторного или контрольного полевого закрепления из выражения

$$R_б'' = R_{б\,I0}'' + \eta \frac{(R_{б\,I5}'' - R_{б\,I0}'')^2}{R_{б\,I5}''}, \qquad (2.I)$$

где $R_{б\,I0}''$, $R_{б\,I5}''$ – нормативные значения прочности грунта, закрепленного раствором жидкого стекла плотностью соответственно I,I0 и I,I5 г/см^3, в водонасыщенном состоянии;

η – коэффициент, принимаемый при сплошном закреплении грунтов основания $\eta = 0,3$; при армировании основания отдельными элементами из закрепленного грунта $\eta = 0,9$.

Определение размеров подошвы фундамента и закрепленного массива

2.6. Размеры подошвы фундамента определяются исходя из условий:

при сплошном закреплении грунтов под подошвой фундамента с выносом закрепления за его контуры среднее давление на закрепленный грунт не должно превышать расчетного давления, определяемого по формуле (I7) СНиП II-I5-74, в которой используются расчетные значения характеристик φ_I и C_I грунта, закрепленного раствором жидкого стекла плотностью, принятой по проекту, в водонасыщенном состоянии, коэффициент m_1 принимается $m_1 = 0,7$, а m_2 определяется по табл. I7 СНиП II-I5-74 как для глинистых грунтов с консистенцией $J_L \leq 0,5$;

при армировании основания отдельными элементами из закрепленного грунта, когда непосредственно под подошвой фундамента остаются участки незакрепленного грунта, среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать расчетного давления на армированное основание, определяемое по формуле

$$R_a = p_0 + \left(\frac{K_1 \cdot K_2}{K_н} R_I - p_0\right) \frac{1 + \frac{E_н F_н}{F_з F_з}}{1 + \frac{F_н}{F_з}}, \qquad (2.2)$$

где p_0 – природное (бытовое) давление в грунте на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих грунтов (до отметки природного рельефа);

K_1 – коэффициент условий работы закрепленного грунта в основании сооружения, определяемый по табл. 2 в зависимости от степени армирования основания (отношения площади закрепленного грунта непосредственно под подошвой фундамента к площади подошвы) и глубины заложения фундамента;

K_2 – коэффициент линейной деформируемости закрепленного грунта при длительном действии нагрузки, принимаемый равным 0,6;

$K_н$ – коэффициент надежности, принимаемый по п. 3.52 СНиП II-I5-74;

R_I – расчетное значение прочности закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии, определяемое по результатам лабораторного или полевого закрепления грунтов раство-

ром жидкого стекла, имеющим проектную плотность. Если степень влажности закрепленного грунта в момент испытаний меньше 0,8, то значение прочности и модуля деформации следует умножить на коэффициент K_s (табл.3);

$E_н, E_з$ – соответственно модули деформации незакрепленного и закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии;

$F_н, F_з$ – соответственно площади незакрепленного и закрепленного грунта под подошвой фундамента;

при закреплении грунтов основания по комбинированной схеме, предусматривающей сплошное закрепление на некоторую глубину под подошвой фундамента и армирование нижележащей просадочной толщи отдельными элементами из закрепленного грунта, среднее давление под подошвой фундамента не должно превышать расчетного, определяемого по формуле (I7) СНиП II-I5-74 с учетом указаний п. 2.6 настоящих рекомендаций, а армирование основания должно назначаться таким, чтобы выполнялось условие

$$p_{oz} + p_{bz} \leqslant R_{az} \quad , \qquad (2.3)$$

где R_{az} – расчетное давление на кровлю армированного основания, вычисленное по формуле (2.2) для условного фундамента, размеры которого определяются в соответствии с п. 3.62 СНиП II-I5-74.

2.7. Предварительные размеры фундаментов зданий и сооружений, возводимых на закрепленных силикатизацией лессовых просадочных грунтах, должны назначаться по конструктивным соображениям или из условия, чтобы среднее давление на основание под подошвой фундамента было равно условному значению расчетного давления R_o, принимаемому по табл. 4.

2.8. Величина краевого давления при действии изгибающего момента вдоль каждой оси фундамента не должна превышать $I,2R$ при сплошном закреплении грунта под фундаментом и $I,2R_o$ при армировании основания отдельными элементами, а в угловой точке – соответственно $I,5R$ и $I,5R_o$.

Таблица 2

Коэффициент условий работы K_1

Глубина заложения фундамента, м	Коэффициент K_1 при степени армирования основания под подошвой фундамента, равной			
	0,25	0,50	0,75	1,00
1	1,05	1,10	1,20	1,30
2	1,10	1,15	1,25	1,40
3	1,15	1,25	1,35	1,50
4	1,20	1,30	1,45	1,65
5	1,30	1,40	1,55	1,75
7	1,40	1,55	1,70	1,90
10	1,50	1,65	1,85	2,10

Примечание. Для промежуточных значений глубины заложения фундамента и степени армирования основания значения коэффициента K_1 определяются интерполяцией.

Таблица 3

Коэффициент K_2

Степень влажности образца	Коэффициент K_2 для корректировки	
	прочности	модуля деформации
0,30	0,42	0,50
0,35	0,45	0,53
0,40	0,48	0,55
0,45	0,53	0,58
0,50	0,60	0,62
0,55	0,70	0,67
0,60	0,85	0,70
0,65	0,93	0,75
0,70	0,95	0,86
0,75	0,98	0,94
0,80	1,00	1,00

Примечание. Степень влажности образца закрепленного грунта определяется непосредственно после проведения испытания.

Таблица 4

Условное расчетное давление R_o на закрепленные грунты основания

Нормативное значение прочности закрепленного грунта под подошвой фундамента, МПа	R_o, МПа	
	сплошное закрепление основания под подошвой фундамента	армирование основания отдельными элементами из закрепленного грунта
0,4	0,35	0,22
0,6	0,45	0,30
0,8	0,60	0,40
1,0	0,75	0,55
1,5	-	0,80
2,0	-	1,20

Примечание. Величину R_o для промежуточных значений прочности закрепленного грунта допускается определять интерполяцией.

2.9. Минимальный вынос закрепления за контуры фундамента при сплошном закреплении назначается в зависимости от давления под подошвой фундамента и начального просадочного давления окружающего закрепленный массив лессового грунта по табл. 5.

В грунтовых условиях II типа по просадочности предварительные размеры в плане отдельно стоящих закрепленных массивов принимаются равными не менее 1/4 глубины просадочной толщи.

Таблица 5

Минимальный вынос закрепления за контуры фундамента в долях от его ширины

Начальное просадочное давление, МПа	Минимальный вынос при давлении под подошвой, МПа, равном			
	0,20	0,25	0,30	0,35
0,05	0,20	0,25	0,30	0,35
0,10	0,15	0,15	0,20	0,30
0,15	0,10	0,15	0,20	0,25
0,20	0,05	0,05	0,10	0,10

2.10. Радиус закрепления грунта r от одной инъекции назначается в зависимости от его проницаемости по табл.6.

Таблица 6

Радиус закрепления грунта

Коэффициент фильтрации грунта при нагнетании раствора жидкого стекла, м/сут.	0,1	0,5	1,0	1,5
Радиус закрепления грунта r, м	0,5	0,6	0,8	1,0

Для образования сплошного закрепленного массива инъекторы (скважины) располагаются в шахматном порядке (рис. 2), причем расстояние между рядами l_n должно быть равным $l_n = 1{,}5r$, а между инъекторами (скважинами) в ряду - $l_p = 1{,}73r$.

Количество раствора жидкого стекла Q, л, для закрепления грунта определяется из выражения

$$Q = V \cdot n \cdot \alpha ,$$

где V - объем закрепленного грунта, м^3;

n - пористость грунта, %;

α - коэффициент насыщения грунта раствором, принимаемый равным 5,5.

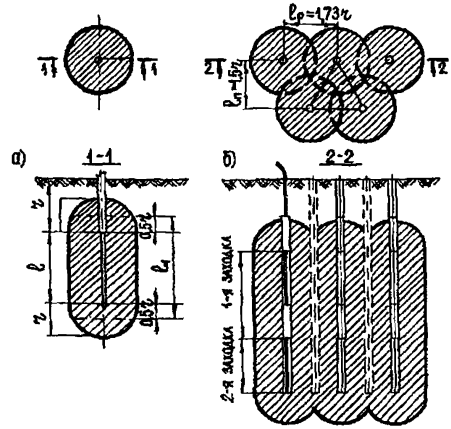


Рис. 2. Схема образования сплошного закрепленного массива из отдельных инъекций:
а) отдельная инъекция; б) сплошной массив

Расчет закрепленных массивов по предельным состояниям

2.II. Закрепленные массивы должны рассчитываться по двум группам предельных состояний:

по первой группе – по несущей способности;

по второй группе – по деформациям (осадкам, прогибам и пр.), создающим препятствия для нормальной эксплуатации зданий и сооружений.

При расчете закрепленных массивов в лессовых просадочных грунтах по деформациям ожидаемые деформации должны сопоставляться с предельно допустимыми.

2.I2. Расчет закрепленных массивов по несущей способности производится в случаях, предусмотренных п. 3.4 СНиП II-I5-74.

2.I3. Расчет закрепленных массивов по предельным состояниям допускается производить инженерными методами в соответствии с указаниями п.п. 2.I6-2.26 и с использованием численных методов решения уравнений теории упругости и реализующих программ для ЭВМ в соответствии с указаниями п.п. 2.27-2.34 настоящих рекомендаций.

Расчет по деформациям

2.I4. Расчет закрепленных массивов по деформациям производится исходя из условия

$$S \leqslant S_{пр} \quad ,$$

где S – величина совместной деформации основания и здания или сооружения;

$S_{пр}$ – предельно допустимая величина совместной деформации основания и здания или сооружения, устанавливаемая в соответствии с п.п. 3.63-3.69 СНиП II-I5-74.

Примечание. Под величинами S и $S_{пр}$ может пониматься любая из перечисленных в п. 3.46 СНиП II-I5-74 характеристик деформации.

2.I5. При расчете деформаций закрепленных массивов с использованием расчетных схем, указанных в п.п. 2.I6, 2.I7 настоящих рекомендаций, должны быть выполнены условия, изложенные в п.2.6.

Определение осадки фундамента

2.16. Осадка фундамента при закреплении основания способом силикатизации в грунтовых условиях I типа по просадочности определяется с использованием расчетной схемы в виде упругого линейно-деформированного полупространства методом послойного суммирования отдельных слоев в пределах сжимаемой толщи по формуле (5) прил. 3 СНиП II-15-74, в которой модуль деформации i-го слоя принимается равным:

при закреплении грунтов основания под подошвой фундамента в виде сплошного массива с выносом за края фундамента - модулю деформации закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии;

при армировании основания отдельными элементами из закрепленного грунта, когда непосредственно под подошвой фундамента остаются участки незакрепленного грунта - средневзвешенному по площади подошвы фундамента модулю деформации, определяемому из выражения:

$$E_{i\,ср} = E_{i\,н}\frac{F_н}{F} + E_{i\,з}\frac{F_з}{F}\,, \qquad (2.4)$$

где $E_{i\,н}$, $E_{i\,з}$ - соответственно значения модулей деформации незакрепленного и закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии в i-ом слое;

$F_н$, $F_з$ - соответственно площадь незакрепленного и закрепленного грунта непосредственно под подошвой фундамента;

F - площадь подошвы фундамента;

при закреплении грунтов основания по комбинированной схеме, предусматривающей сплошное закрепление на некоторую глубину под подошвой фундамента и армирование нижележащей просадочной толщи отдельными элементами из закрепленного грунта - модулю деформации закрепленного грунта в водонасыщенном состоянии до нижней границы сплошного по глубине закрепления, а в пределах нижележащей армированной толщи - средневзвешенному значению модуля деформации, вычисленному по формуле (2.4) для условного фундамента, размеры которого определяются в соответствии с требованиями п. 3.62 СНиП II-15-74.

2.17. Осадка фундамента на закрепленном массиве, работающем в условиях возможного замачивания и просадки под собственным ве-

сом окружающих грунтов II типа по просадочности, определяется методом послойного суммирования деформаций слоев массива и подстилающих его грунтов в пределах сжимаемой толщи под действием дополнительных к природному давлений, вызванных весом сооружения и силами нагружающего трения, которые развиваются по боковой поверхности массива.

2.18. Распределение по глубине дополнительных к природному вертикальных давлений в массиве и подстилающей его сжимаемой толще принимается в соответствии со схемой (рис. 3), в которой приняты следующие обозначения:

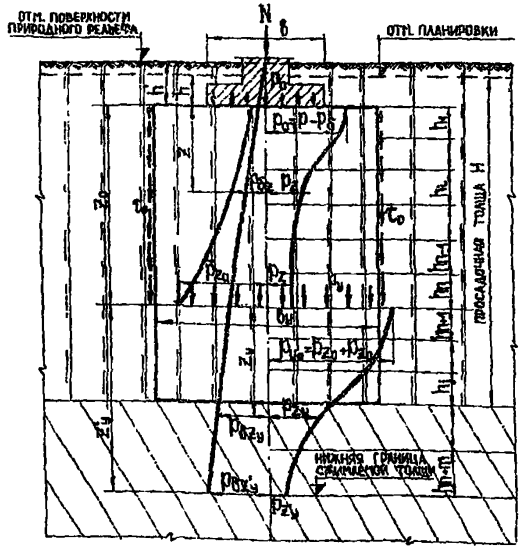


Рис. 3. Схема для расчета осадки фундамента на закрепленном методом силикатизации лессовом массиве

b, l – ширина и длина фундамента, м;

h, h' – глубина заложения фундамента соответственно от планировочной отметки (подсыпки или срезки) и от поверхности природного рельефа, м;

p – среднее фактическое давление под подошвой фундамента, МПа;

$p_б$ – природное (бытовое) давление в массиве на уровне подошвы фундамента от веса вышележащих грунтов (до отметки природного рельефа), МПа;

$p_o = p - p_б$ – дополнительное (к природному) вертикальное давление от веса сооружения на массив по подошве фундамента, МПа;

p_z – дополнительное давление в массиве от веса сооружения на глубине z ниже подошвы фундамента, определяемое по п. 2.19, МПа;

$\tilde{p}_z$ – дополнительное давление в массиве на глубине z ниже подошвы фундамента от сил нагружающего трения грунта по боковой поверхности массива, определяемое по п.2.20, МПа;

z_o – глубина, м, заложения условного фундамента (от подошвы фундамента сооружения), принимаемая равной глубине, где просадка нижележащих грунтов от собственного веса равна 5 см;

$p_{z_o}, \tilde{p}_{z_o}$ – соответственно значения давлений p_z и $\tilde{p}_z$ на глубине заложения условного фундамента z_o, МПа;

b_y – ширина условного фундамента, равная ширине закрепленного массива, м;

$p_{oy} = p_{z_o} + \tilde{p}_{z_o}$ – дополнительное (к природному) давление по подошве условного фундамента, МПа;

p_{z_y} – дополнительное (к природному) давление на глубине z_y от подошвы условного фундамента, определяемое по п.2.21, МПа;

z'_y – расстояние от подошвы условного фундамента до нижней границы сжимаемой толщи, определяемое из соотношения величин дополнительного давления $p_{z'_y}$ и природного на той же глубине $p_{бz'_y}$. Для песчаных и глинистых грунтов это соотношение принимается из условия

$$p_{z'_y} = 0{,}2\, p_{бz'_y} . \qquad (2.5)$$

Если найденная нижняя граница сжимаемой толщи заканчивается в слое грунта с модулем деформации $E < 5$ МПа или такой слой залегает непосредственно ниже этой границы, то он должен быть

включен в состав сжимаемой толщи. В этих случаях граница сжимаемой толщи ограничивается соотношением $p_{zy} = 0.1\, p_{\delta z y}$.

2.19. Дополнительное (к природному) давление в массиве p_z, МПа, от веса сооружения определяется по формуле:

$$p_z = \alpha \cdot p_o \qquad (2.6)$$

до глубины, где оно достигает значения, равного $\frac{p_o \cdot F_o}{F_м}$.

Здесь α – коэффициент, которым учитывается изменение дополнительного давления по глубине массива, принимаемый по табл. I прил. 3 СНиП II-I5-74;

$F_ф, F_м$ – соответственно площадь фундамента сооружения и горизонтального сечения массива, $м^2$.

Ниже, до глубины заложения условного фундамента z_o, давление p_z принимается равным постоянному значению $\frac{p_o \cdot F_o}{F_м}$.

2.20. Дополнительное давление в массиве $\bar{p}_z$, МПа, от сил нагружающего трения на глубине z от подошвы фундамента определяется по формуле

$$\bar{p}_z = \frac{0{,}01 \cdot u_м}{a \cdot F_м}\left(100\, p_{\delta z} - K_z \cdot p_z\right);\ 0 < z < z_o \qquad (2.7)$$

где $u_м$ – периметр сечения закрепленного массива, м;

a – параметр, принимаемый для отдельно стоящих массивов $a = \frac{40\,\ell}{z\ell}$ (ℓ – единица длины, м), а для массивов, работающих в пространственной системе армирования просадочной толщи (когда отношение ширины незакрепленных участков просадочного грунта между массивами и армирующими элементами к высоте массивов не превышает 0,25).

$$a = \frac{u_к}{S_н} \qquad (2.8)$$

$u_к$ – общий периметр закрепленных массивов и армирующих элементов в пространственной системе, м;

$S_н$ – площадь незакрепленного просадочного грунта в пространственной системе, $м^2$;

$p_{\delta z}$ – природное давление в грунте на глубине z от веса вышележащих грунтов (до отметки планировки), МПа;

K_z – безразмерный коэффициент, принимаемый для отдельных массивов в зависимости от приведенной глубины

$m' = \alpha(z + h)$ и средневзвешенного значения угла внутреннего трения водонасыщенного грунта естественной структуры по табл. 7 настоящих рекомендаций, а для массивов, работающих в пространственной системе, из выражения

$$\kappa_z = \frac{1 - e^{-\xi m' tg\varphi_I}}{\xi \cdot tg\varphi_I} \quad ; \qquad (2.9)$$

p_I – давление, МПа, определяемое из выражения

$$p_I = \frac{0{,}1\gamma_{II} - 100\alpha c_{II}}{\alpha} \quad , \quad p_I > 0 \quad . \qquad (2.10)$$

Здесь γ_{II} , c_{II} – соответственно средневзвешенные значения объемного веса, кН/м^3, и сцепления, МПа, от отметки планировки до подошвы условного фундамента.

2.21. Дополнительное к природному давлению p_{z_y} , МПа, на глубине z_y от подошвы условного фундамента определяется по формуле

$$p_{z_y} = \alpha\, p_{oy} \quad , \qquad (2.11)$$

где α – коэффициент, принимаемый по табл. I, прил. 3, СНиП II-I5-74 в зависимости от относительной глубины $m = \frac{2z_y}{b_y}$, формы условного фундамента (горизонтального сечения массива), а в случае прямоугольного массива в плане и от отношения его сторон $n = \frac{l_y}{b_y}$.

2.22. Осадка фундамента на закрепленном методом силикатизации лессовом массиве в условиях замачивания и просадки под собственным весом окружающего грунта II типа по просадочности определяется по формуле

$$S = S_o + S_y \quad , \qquad (2.12)$$

где S – осадка фундамента сооружения, см;

S_o – осадка массива от подошвы фундамента сооружения до подошвы условного фундамента под действием веса сооружения и сил нагружающего трения, определяемая по п.2.23, см;

S_y – осадка условного фундамента, определяемая по п.2.24,см.

Таблица 7

Коэффициент K_z

$m'=a(z+h)$	Коэффициент K_z при значении угла внутреннего трения φ_{II}, град., равном									
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099	0,099
0,2	0,198	0,198	0,197	0,197	0,197	0,197	0,197	0,196	0,196	0,196
0,3	0,295	0,294	0,294	0,294	0,293	0,293	0,292	0,292	0,292	0,291
0,4	0,391	0,390	0,389	0,388	0,388	0,387	0,387	0,386	0,385	0,384
0,5	0,486	0,485	0,484	0,482	0,481	0,480	0,479	0,478	0,477	0,476
0,6	0,580	0,578	0,576	0,575	0,573	0,572	0,570	0,568	0,567	0,565
0,7	0,672	0,670	0,668	0,666	0,664	0,662	0,659	0,657	0,655	0,653
0,8	0,764	0,761	0,759	0,756	0,753	0,750	0,747	0,745	0,742	0,740
0,9	0,855	0,851	0,848	0,844	0,841	0,837	0,834	0,830	0,827	0,823
1,0	0,944	0,940	0,936	0,932	0,927	0,923	0,919	0,914	0,910	0,905
1,1	1,033	1,028	1,023	1,018	1,012	1,007	1,002	0,997	0,992	0,986
1,2	1,121	1,115	1,109	1,102	1,096	1,090	1,084	1,078	1,072	1,066
1,3	1,207	1,200	1,193	1,186	1,179	1,172	1,165	1,158	1,151	1,143
1,4	1,293	1,285	1,227	1,268	1,260	1,252	1,244	1,236	1,228	1,219
1,5	1,377	1,368	1,359	1,350	1,341	1,331	1,322	1,313	1,303	1,294
1,6	1,461	1,451	1,440	1,430	1,419	1,409	1,399	1,388	1,378	1,367
1,7	1,544	1,532	1,520	1,509	1,497	1,485	1,474	1,462	1,451	1,439
1,8	1,625	1,612	1,599	1,587	1,574	1,561	1,548	1,535	1,522	1,509
1,9	1,706	1,692	1,677	1,663	1,649	1,635	1,621	1,606	1,592	1,578

Продолжение табл. 7

$m'=a(z+h)$	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22
2,0	I,786	I,770	I,754	I,739	I,723	I,708	I,692	I,676	I,66I	I,645
2,I	I,865	I,848	I,830	I,8I3	I,796	I,779	I,762	I,745	I,728	I,7II
2,2	I,943	I,924	I,905	I,887	I,868	I,850	I,83I	I,8I3	I,795	I,776
2,3	2,020	2,000	I,979	I,959	I,939	I,9I9	I,899	I,879	I,860	I,840
2,4	2,096	2,074	2,052	2,03I	2,009	I,988	I,966	I,945	I,923	I,902
2,5	2,I72	2,I48	2,I24	2,I0I	2,078	2,055	2,032	2,009	I,986	I,963
2,6	2,246	2,22I	2,I96	2,I70	2,I46	2,I2I	2,096	2,07I	2,047	2,023
2,7	2,320	2,293	2,266	2,239	2,2I2	2,I86	2,I59	2,I33	2,I07	2,08I
2,8	2,393	2,364	2,335	2,306	2,278	2,250	2,222	2,I94	2,I66	2,I39
2,9	2,465	2,434	2,403	2,373	2,343	2,3I3	2,283	2,253	2,224	2,I95
3,0	2,536	2,503	2,470	2,438	2,406	2,375	2,343	2,3I2	2,28I	2,250
3,I	2,606	2,57I	2,573	2,503	2,469	2,436	2,402	2,369	2,337	2,304
3,2	2,676	2,639	2,602	2,566	2,53I	2,495	2,460	2,426	2,39I	2,357
3,3	2,744	2,706	2,667	2,629	2,592	2,554	2,5I8	2,48I	2,445	2,409
3,4	2,8I2	2,77I	2,73I	2,69I	2,652	2,6I3	2,574	2,535	2,497	2,459
3,5	2,879	2,836	2,794	2,752	2,7II	2,670	2,629	2,589	2,549	2,509
3,6	2,946	2,90I	2,856	2,8I2	2,769	2,726	2,683	2,64I	2,599	2,558
3,7	3,0II	2,964	2,9I8	2,87I	2,826	2,78I	2,737	2,693	2,649	2,606
3,8	3,076	3,027	2,978	2,930	2,882	2,835	2,789	2,743	2,698	2,653
3,9	3,I40	3,089	3,038	2,987	2,938	2,889	2,84I	2,793	2,746	2,699
4,0	3,204	3,I50	3,097	3,044	2,993	2,942	2,89I	2,842	2,792	2,744
4,I	3,266	3,2I0	3,I55	3,I00	3,046	2,993	2,94I	2,889	2,838	2,788
4,2	3,328	3,270	3,2I2	3,I55	3,099	3,044	2,990	2,936	2,883	2,83I

Продолжение табл. 7

$m=a(z+h)$	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	20	2I	22
4,3	3,390	3,329	3,269	3,2I0	3,I52	3,094	3,038	2,982	2,928	2,874
4,4	3,450	3,387	3,324	3,263	3,203	3,I44	3,085	3,028	2,97I	2,9I5
4,5	3,5I0	3,444	3,380	3,3I6	3,254	3,I92	3,I32	3,072	3,0I4	2,956
4,6	3,569	3,50I	3,434	3,368	3,304	3,240	3,I78	3,II6	3,055	2,996
4,7	3,628	3,557	3,488	3,420	3,353	3,287	3,222	3,I59	3,096	3,035
4,8	3,685	3,6I2	3,54I	3,470	3,40I	3,333	3,267	3,20I	3,I37	3,073
4,9	3,742	3,667	3,593	3,520	3,449	3,379	3,3I0	3,242	3,I76	3,III
5,0	3,799	3,72I	3,644	3,569	3,496	3,423	3,353	3,283	3,2I5	3,I47
5,I	3,855	3,774	3,695	3,6I8	3,542	3,468	3,395	3,323	3,253	3,I84
5,2	3,9I0	3,827	3,745	3,666	3,587	3,I5I	3,436	3,362	3,290	3,2I9
5,3	3,965	3,879	3,795	3,7I3	3,632	3,554	3,476	3,40I	3,326	3,253
5,4	4,0I8	4,930	3,844	3,759	3,676	3,595	3,5I6	4,438	3,362	3,287
5,5	4,072	3,98I	3,892	3,805	3,720	3,637	3,555	3,475	3,397	3,32I
5,6	4,I24	4,03I	3,939	3,850	3,763	3,677	3,594	3,5I2	3,432	3,353
5,7	4,I77	4,080	3,986	3,894	3,804	3,7I7	3,632	3,548	3,466	3,385
5,8	4,228	4,I29	4,033	3,938	3,846	3,757	3,669	3,583	3,499	3,4I7
5,9	4,279	4,I77	4,078	3,982	3,887	3,795	3,705	3,6I7	3,53I	3,448
6,0	4,329	4,225	4,I23	4,024	3,927	3,833	3,74I	3,65I	3,563	3,477

2.23. Осадка массива вычисляется по формуле

$$S_o = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{(p_i + \bar{p}_i) h_i}{E_i} , \qquad (2.13)$$

где n – число слоев, на которые разделен массив от подошвы фундамента сооружения до глубины заложения условного фундамента z_o;

h_i – толщина i-го слоя, см;

E_i – модуль деформации i-го слоя, МПа;

p_i – среднее дополнительное к природному давление в i-ом слое массива, равное полусумме давлений p_z на его верхней и нижней границах, МПа;

$\bar{p}_i$ – среднее дополнительное давление в i-ом слое массива, равное полусумме давлений $\bar{p}_z$ на его верхней и нижней границах, МПа;

β – безразмерный коэффициент, равный 0,8.

Примечание. Рекомендуется делить массив от подошвы фундамента до глубины, на которой p_z достигает значения $p \frac{F_\Phi}{F_H}$, на слои толщиной $0,4\,b$, а ниже – $0,4\,b_y$.

2.24. Осадка условного фундамента S_y определяется по формуле

$$S_y = \beta \sum_{j=n}^{n+m} \frac{p_j \cdot h_j}{E_j} , \qquad (2.14)$$

где m – число слоев, на которое разбита сжимаемая толща под подошвой условного фундамента;

h_j – толщина j-го слоя, см;

E_j – модуль деформации j-го слоя, МПа;

p_j – среднее дополнительное к природному давление в j-ом слое, равное полусумме давлений p_{z_y} на его верхней и нижней границах, МПа.

Определение крена фундамента

2.25. Крен фундамента при действии внецентренной нагрузки определяется согласно п.II, прил. 3 СНиП II-15-74, где модуль деформации определяется как при расчете осадок по п.2.16, а коэффициент Пуассона закрепленного грунта принимается по табл. 1 настоящих рекомендаций.

Расчет по несущей способности

2.26. Расчет по несущей способности оснований, закрепленных способом силикатизации, допускается определять графоаналитическим методом с построением круглоцилиндрических поверхностей скольжения в соответствии с указаниями п.п. 3.79 и 3.81 СНиП II-15-74. При разделении призмы обрушения грунта на элементарные вертикальные полосы границы полос должны проходить по контакту закрепленного грунта с незакрепленным.

Определение напряженно-деформированного состояния системы "закрепленный массив - лессовый грунт" с применением ЭВМ

2.27. Определение напряжений и перемещений в системе "закрепленный массив - лессовый грунт" с применением ЭВМ производится численными методами на основе теории линейно-деформируемой среды.

2.28. Расчетная схема "закрепленный массив - лессовый грунт" принята в виде линейно-деформируемой области с включением элементов повышенной жесткости (закрепленных массивов).

На вертикальных границах исследуемой области допускаются только вертикальные перемещения, а на нижней границе - горизонтальные. По контакту закрепленного массива с окружающим лессовым грунтом предусматривается условие склеивания (рис. 4).

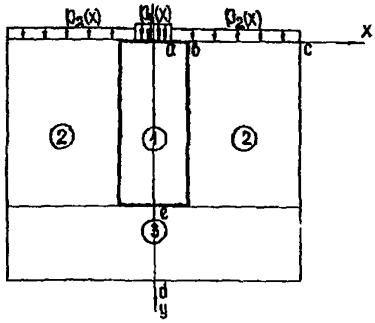
Просадочные свойства лессового грунта учитываются изменением деформационных характеристик при замачивании:

в грунтовых условиях I типа по просадочности модуль деформации и коэффициент Пуассона принимается по результатам испытаний лессового грунта в водонасыщенном состоянии;

в грунтовых условиях II типа по просадочности определяется приведенный модуль деформации в зависимости от относительной просадочности при бытовом давлении и начального просадочного давления лессового грунта по формулам

$$E_{пр}=\frac{(1-\mu-2\mu^2)\,p_{бz}}{(1-\mu)\,\delta_{пр}}\quad\text{, если}\quad \delta_{пр}\geqslant 0{,}01;$$
$$E_{пр}=\frac{(1-\mu-2\mu^2)\,p_{пр}}{(1-\mu)\,0{,}01}\quad\text{, если}\quad \delta_{пр}< 0{,}01, \qquad (2.15)$$

где $E_{пр}$ – приведенный модуль деформации лессового грунта, МПа;
$\delta_{пр}$ – относительная просадочность при бытовом давлении;
$p_{пр}$ – начальное просадочное давление, МПа;
$p_{бz}$ – бытовое давление, МПа, на рассматриваемой глубине;
μ – коэффициент Пуассона лессового грунта.



Граничные условия:

при $y=0$ — $\tau=0$, $\sigma_y=\begin{cases}p_1(x), & |x|<a\\ p_2(x), & |x|>a\end{cases}$,

$\lvert x\rvert=b$	$0<y<\ell$	$u_1=u_2$	$v_1=v_2$
$\lvert x\rvert<b$	$y=\ell$	$u_2=u_3$	$v_2=v_3$
$\lvert x\rvert=c$		$\tau=0$	$u=0$
$y=d$	—	$\tau=0$	$v=0$

Рис. 4. Расчетная схема системы "закрепленный массив – лессовый грунт"

Приведенный модуль деформации обеспечивает осадку лессового просадочного грунта под действием собственного веса, равную произведению относительной просадочности при бытовом давлении на высоту рассматриваемого слоя грунта.

Решение задачи в такой постановке позволяет получить значения всех составляющих перемещений и напряжений при просадке грунта под собственным весом с учетом его просадочных свойств, многослойности основания и сжимаемости закрепленного массива.

2.29. Определение перемещений и напряжений в системе "закрепленный массив – лессовый грунт" производится методом конечных

разностей по программам "Массив-I" и "Массив-2" на ЭВМ М-222 на языке АЛГОЛ-60, транслятор ТА-IМ.

2.30. По программе "Массив-I" производится расчет закрепленных массивов в лессовом грунте, выполненных в виде отдельных или равномерно расположенных по площади основания столбов (осесимметричная задача), а по программе "Массив-2" рассчитываются массивы, выполненные в виде отдельных или параллельных лент (плоская задача).

Для расчета системы "закрепленный массив - лессовый грунт" с применением ЭВМ устанавливаются границы области, в которой определяются перемещения и напряжения.

Левой вертикальной границей области является линия симметрии закрепленного массива. Ширина области (расстояние от левой до правой вертикальной границы) принимается равной:

для отдельных массивов - 7-I0 R (где R - расстояние от линии симметрии до боковой поверхности закрепленного массива);

для равномерно расположенных по площади основания столбов или параллельных лент - половине расстояния между линиями симметрии соседних массивов.

Верхняя горизонтальная граница области проходит по верху закрепления, а нижняя - на расстоянии не менее трех диаметров столбчатых массивов или тройной ширины ленточных массивов ниже подошвы закрепления.

2.3I. На выделенную область наносится прямоугольная сетка, причем высота и ширина закрепленного массива в области должны быть кратны соответственно высоте и ширине ячейки сетки, отношение сторон ячейки не должно превышать I0, а количество узлов сетки во всей области должно быть не более 600.

2.32. Исходные данные заносятся в табл. 8, где приняты следующие обозначения:

N - отношение ширины области к ширине ячейки;

M - отношение высоты области к высоте ячейки;

n - отношение ширины массива к ширине ячейки;

m - отношение высоты массива к высоте ячейки;

a - число узлов на верхней горизонтальной границе, которые находятся под подошвой фундамента;

H - высота ячейки сетки, см;

κ - отношение ширины ячейки к ее высоте;

p_1 – давление под подошвой фундамента, МПа;

p_2 – давление на лессовый просадочный грунт на верхней границе области, МПа;

γ_{II} – объемный вес лессового грунта в водонасыщенном состоянии, кН/м^3; в грунтовых условиях I типа по просадочности γ_{II} принимается равным нулю, при этом просадка грунта от собственного веса не учитывается;

E_1, E_2, E_3 – модули деформации, МПа, соответственно закрепленного грунта, просадочного грунта, подстилающего слоя в водонасыщенном состоянии; в грунтовых условиях II типа по просадочности E_2 полагается равным нулю, при этом автоматически задается модуль деформации просадочного грунта, вычисляемый по формуле (2.15);

μ_1, μ_2, μ_3 – коэффициенты Пуассона соответственно закрепленного грунта, просадочного грунта и подстилающего слоя в водонасыщенном состоянии;

$\delta_1, \delta_2, \ldots \delta_m$ – относительная просадочность при бытовом давлении лессового просадочного грунта, задаваемая по глубине с шагом равным H;

$p^1_{пр}, p^2_{пр}, \ldots p^m_{пр}$ – начальное просадочное давление, МПа, лессового грунта, задаваемое по глубине с шагом, равным H.

Таблица 8

Исходные данные к расчету на ЭВМ

Объект _____

Тип грунтовых условий по просадочности _____

Конструктивная схема закрепления _____

_____

Номер строки	Параметры
1	N, M, n, m, H, κ
2	a, p_1, p_2
3	$\gamma_{II}, E_1, E_2, E_3, \mu_1, \mu_2, \mu_3$
4	$\delta_1, \delta_2, \ldots \delta_m$
5	$p^1_{пр}, p^2_{пр}, \ldots p^m_{пр}$

2.33. Каждая строка таблицы исходных данных набивается на отдельной перфокарте, которые при вводе отделяются картами контрольной суммы; исключение составляют 4 и 5 строки, которые набиваются массивами с последующим их отделением картой контрольной суммы.

2.34. В результате счета на ЭВМ на печать выводятся:

исходные данные;

текст программы;

сетка с контуром закрепленного массива и границами рассчитываемой области;

вертикальные и горизонтальные перемещения в узлах сетки;

нормальные и касательные напряжения в узлах сетки.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Требуется запроектировать фундамент под колонну промышленного здания в лессовых грунтах I типа по просадочности с применением способа силикатизации грунтов.

Дано: продольная сила от расчетных нагрузок в основном сочетании без учета собственного веса фундамента и грунта на его уступах N = 2500 кН, изгибающий момент от расчетных нагрузок M = 250 кН.м.

Геологические условия площадки характеризуются следующим напластованием грунтов: сверху на глубину 9,7 м залегают лессовидные просадочные суглинки, объемный вес которых γ_{II} = I8 кН/м^3, влажность 0,I2, модуль деформации в водонасыщенном состоянии $E_н$ = 7 МПа, начальное просадочное давление $p_{пр}$ = 0,I МПа.

По результатам лабораторного закрепления нормативные значения прочности закрепленного грунта составляют:

при плотности раствора жидкого стекла $\gamma_р$ = I,I0 г/см^3 – 0,38 МПа;

при плотности раствора жидкого стекла $\gamma_р$ = I,I5 г/см^3 – 0,68 МПа.

Расчет выполняется в следующем порядке:

I. Для устранения просадочных свойств лессовых грунтов в деформируемой зоне принимаем комбинированную схему закрепления:

на глубину 3 метра от подошвы фундамента предусматриваем сплошное закрепление основания с выносом за края фундамента;

нижележащую просадочную толщу армируем элементами из закрепленного грунта.

2. Назначаем нормативную прочность закрепленного грунта в основании

$$R_в^н = R_{б\,I,0}^н + \eta \frac{(R_{б\,I,5}^н - R_{б\,I,0}^н)^2}{R_{б\,I,5}^н} =$$

$$= 0,38 + 0,3 \cdot \frac{(0,68 - 0,38)^2}{0,68} = 0,42 \text{ МПа}$$

Минимальное значение плотности раствора жидкого стекла для обеспечения нормативного значения прочности закрепленного грунта 0,42 МПа составляет $\gamma_p'' = 1{,}11$ г/см^3.

Коэффициент фильтрации грунта при нагнетании раствора жидкого стекла плотностью 1,11 г/см^3 равен 1 м/сутки.

Расчетные значения характеристик закрепленного грунта при нормативном значении прочности 0,42 МПа равны: $R_в = 0{,}4$ МПа, $C_н = 0{,}04$ МПа, $\varphi_н = 24^0$, $E_з = 31$ МПа.

3. Определяем размеры подошвы фундамента.

Конструктивно назначаем ширину фундамента $в = 2{,}4$ м, а глубину заложения $h = 3$ м.

Расчетное давление равно

$$R = \frac{m_1 \cdot m_2}{k_н}\left(A \cdot в \cdot \gamma_н + B \cdot h \cdot \gamma_н + Д \cdot c_н\right) =$$

$$= \frac{0{,}7 \times 1{,}1}{1}\cdot(0{,}72 \times 2{,}4 \times 18 \times 0{,}001 + 3{,}87 \times 3 \times 18 \times 0{,}001 +$$

$$+ 6{,}45 \times 0{,}04) = 0{,}384 \text{ МПа}.$$

Определяем площадь фундамента и его длину

$$в \cdot l = \frac{0{,}001 \cdot N}{R - \gamma_{ср} \cdot h} = \frac{0{,}001 \times 2500}{0{,}384 - 20 \times 3 \times 0{,}001} = 7{,}7 \text{ м}^2,$$

$$l = 3{,}2 \text{ м}.$$

Определяем краевое давление

$$p_{max} = \frac{0{,}001 \cdot (N + G)}{F}\cdot\left(1 + \frac{6 \times e}{l}\right) = \frac{0{,}001 \times (2500 + 7{,}7 \times 20 \times 3)}{7{,}7} \times$$

$$\times \left(1 + \frac{6 \times \frac{250}{2500 \times 7{,}7 \times 20 \times 3}}{3{,}2}\right) = 0{,}446 \text{ МПа}.$$

$$p_{max} < 1{,}2 \times R.$$

Принимаем размеры подошвы фундамента $в = 2{,}4$ м; $l = 3{,}2$ м.

4. Определяем размеры закрепленного массива в плане.

Вынос закрепленного массива за контуры подошвы фундамента составляет $0{,}3\,в$ (по табл. 4) и равен $2{,}4 \times 0{,}3 = 0{,}72$ м.

Тогда минимальные размеры закрепленного массива в плане равны:

ширина - 2,4 + 0,7 + 0,7 = 3,8 м,

длина - 3,2 + 0,7 + 0,7 = 4,6 м.

Радиус закрепления грунта от одной инъекции определяется по табл. 6 и составляет 0,8 м.

Расстояние между скважинами в ряду ℓ_p = 0,8 х 1,73 = 1,4 м, расстояние между рядами ℓ_n = 0,8 х 1,5 х 1,2 м.

Размещение инъекционных скважин приведено на рис. 1 .

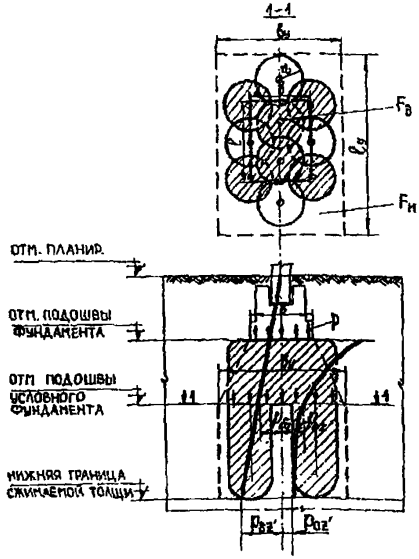


Рис. 1 . Схема к расчету осадки фундамента при комбинированном закреплении грунтов основания

Всего предусматривается 10 инъекций для закрепления грунтов, шесть из них выполняется на глубину 6,7 м от подошвы фундамента для армирования основания (рис. 1). Сплошное закрепление выполняется на глубину 3 м от подошвы фундамента.

Дополнительное давление p_{oz} на кровлю армированного основания равно p_{oz} = 0,095 МПа.

Рассчитываем площадь условного фундамента:

$$F_y = \frac{0{,}001 \times (2500 + 2{,}4 \times 3{,}2 \times 3 \times 20)}{0{,}095} = 31 \text{ м}^2.$$

Ширину условного фундамента определяем по формуле

$$b_y = \sqrt{a^2 + F_y'} - a ,$$

где $a = \frac{b-b}{2} = \frac{3{,}2 - 2{,}4}{2} = 0{,}4$ м, $b_y = \sqrt{0{,}4^2 + 31} - 0{,}4 = 5{,}2$ м,

$$l_y = \frac{31}{5{,}2} = 5{,}96 = 6 \text{ м}.$$

Находим площади закрепленного и незакрепленного грунта под подошвой условного фундамента (см.рис. 1):

$F_з = 3{,}14 \times 0{,}8^2 \times 6 = 12$ м^2; $F_н = 31 - 12 = 19$ м^2.

5. Определяем расчетное давление на армированное основание

$$R_{az} = p_б + \left(\frac{K_1 \cdot K_2}{K_н} R_б - p_б\right) \frac{1 + \frac{E_н \cdot F_н}{E_з \cdot F_з}}{1 + \frac{F_н}{F_з}} =$$

$$= 0{,}108 + \left(\frac{1{,}45 \times 0{,}6}{1} \times 0{,}40 - 0{,}108\right) \times \frac{1 + \frac{7 \times 19}{31 \times 12}}{1 + \frac{19}{12}} = 0{,}235 \text{ МПа}.$$

Сумма бытового и дополнительного давления на кровлю армированного основания равна

$$p_{бz} + p_{oz} = 0{,}001 \times 18 \times 6 + 0{,}095 = 0{,}203 \text{ МПа}.$$

Среднее давление под подошвой фундамента и на кровлю армированного основания (под подошвой условного фундамента) меньше расчетных значений R и R_{az}, следовательно, условие расчета по деформациям методом послойного суммирования выполнено.

6. Определение осадки фундамента

Средневзвешенный модуль деформации армированного основания равен

$$E_{ср} = E_н \frac{F_н}{F} + E_з \frac{F_з}{F} = 7 \times \frac{12}{31} + 31 \times \frac{12}{31} = 16{,}3 \text{ МПа}.$$

Вычисляем дополнительные давления в сжимаемой толще и находим осадку фундамента. Вычисления приведены в табличной форме.

Таблица I

Расчет осадки фундамента

z, м	$m = \frac{2z}{b}$	α	p_{0z}, МПа	p_i, МПа	$\frac{p_i \cdot h_i}{E_i}$, см
0	0	1	0,331		
0,96	0,8	0,848	0,281	0,306	0,948
1,92	1,6	0,532	0,176	0,229	0,709
2,88	2,4	0,325	0,108	0,142	0,440
3,84	3,2	0,210	0,070	0,089	0,524
4,8	4,0	0,145	0,048	0,059	0,347
5,76	4,8	0,105	0,035	0,042	0,247
6,72	5,6	0,08	0,026	0,031	0,183

Осадка фундамента равна

$$S = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{p_i \cdot h_i}{E_i} = 0{,}8 \times (0{,}948 + 0{,}709 + 0{,}440 + 0{,}524 + 0{,}347 + 0{,}247 + 0{,}183) = 2{,}7 \text{ см}.$$

По табл. 18 СНиП II-15-74 для фундаментов одноэтажных промышленных зданий, в конструкциях которых не возникают дополнительные усилия от неравномерных осадок, $S_{пр} = 15$ см. Осадка фундамента меньше предельно допустимой.

Пример 2. Требуется определить осадку фундамента на отдельном закрепленном массиве в лессовых грунтах II типа по просадочности.

Исходные данные

Ширина фундамента b	2,1 м
Длина фундамента l	3,0 м
Давление под подошвой фундамента p	0,3 МПа
Глубина заложения от отметки	
природного рельефа h'	3,0 м
планировки h	2,5 м
Ширина массива b_y	5,0 м
Длина массива l_y	6,0 м
Мощность просадочной толщи H	24,0 м
Глубина закрепления грунта	24,0 м
Глубина от подошвы фундамента сооружения z_0, на которой просадка нижележащих грунтов от собственного веса равна 5 см	18 м
Средневзвешенные значения характеристик водонасыщенного грунта естественной структуры:	
объемного веса γ_{II}	19,0кН/м^3
сцепления c_{II}	0,015 МПа
угла внутреннего трения φ_{II}	18^0
Модуль деформации закрепленного грунта $E_з$	65 МПа
Модуль деформации грунта, подстилающего закрепленный массив, $E_н$	30 МПа

Расчет выполняется в следующей последовательности.

Вычисляем постоянные величины, входящие в расчетные формулы для определения давлений в отдельном массиве:

$$p_0 = p - p_б = 0,3 - 0,001 \times 19 \times 3 = 0,243 \text{ МПа},$$

$$p_0 \frac{F_т}{F_м} = \frac{0,243 \times 2,1 \times 3}{5 \times 6} = 0,051 \text{ МПа}; \quad \alpha = \frac{4Q}{z_0^2} = \frac{40,1}{18^2} = 0,123.$$

$$R_I = \frac{0,1\gamma_{II} - 100\alpha c_{II}}{\alpha} = \frac{0,1 \times 19 - 0,123 \times 0,015 \times 100}{0,123} = 13,95 \text{ МПа}.$$

$$\frac{0,01\ U_м}{\alpha\ F_м} = \frac{0,01 \times (5 + 6) \times 2}{0,123 \times 5 \times 6} = 0,06.$$

Далее вычисления производим в табличной форме (табл. 2, 3).

Таблица 2

Определение осадки массива S_o

h_i, см	z, м	$m=\frac{2z}{b}$	α	ρ_z, МПа	ρ_i, МПа	$(z+h)$, м	$m'=\alpha(z+h)$	K_z	$K_z \cdot \rho_z$, МПа	$100\rho_{bz}$, МПа	$\bar{\rho}_z$, МПа	$\bar{\rho}_i$, МПа	$\frac{(\rho_i+\bar{\rho}_i)h_i}{E_i}$
0	0	0	I,000	0,243	-	2,50	0,3	0,283	4,09	4,75	0,040	-	-
84	0,84	0,8	0,848	0,206	0,224	3,34	0,4	0,387	5,40	6,35	0,057	0,049	0,35
84	I,68	I,6	0,522	0,I29	0,I68	4,I8	0,5	0,480	6,70	7,94	0,074	0,066	0,30
84	2,52	2,4	0,325	0,079	0,I04	5,02	0,6	0,572	7,98	9,54	0,094	0,084	0,24
200	5,36	-	-	0,05I	0,05I	7,86	I,0	0,923	I2,88	I4,93	0,I23	0,I09	0,49
200	7,36	-	-	0,05I	0,05I	9,86	I,2	I,090	I5,2I	I8,73	0,2II	0,I67	0,67
200	9,36	-	-	0,05I	0,05I	II,86	I,5	I,33I	I8,57	22,72	0,249	0,230	0,86
200	II,36	-	-	0,05I	0,05I	I3,86	I,7	I,485	20,72	26,33	0,337	0,293	I,06
200	I3,36	-	-	0,05I	0,05I	I5,86	2,0	I,708	23,89	30,I3	0,378	0,358	I,26
200	I5,36	-	-	0,05I	0,05I	I7,86	2,2	I,850	25,6I	33,93	0,487	0,433	I,49
264	I8,00	-	-	0,05I	0,05I	20,50	2,5	2,055	28,67	38,95	0,6I7	0,552	2,45

$$S_o=\beta\sum\frac{(\rho_i+\bar{\rho}_i)h_i}{E_i}=0,8\times(0,35+0,30+0,24+0,49+0,67+0,86+I,06+I,26+I,49+2,45)=$$

$$=7,3\text{ см}.$$

Таблица 3

Определение осадки условного фундамента

h_j, см	z_y, м	$m=\frac{2z_y}{b_y}$	α	p_{z_y}, МПа	p_j, МПа	$0{,}2\,p_{bz}$, МПа	$\frac{p_j \cdot h_j}{E_j}$, см
0	0	0	1,000	0,668	-	0,080	-
200	2,0	0,8	0,824	0,550	0,609	0,087	1,87
100	3,0	1,2	0,644	0,430	0,490	0,091	0,75
200	5,0	2,0	0,375	0,251	0,341	0,099	2,27
200	7,0	2,8	0,183	0,122	0,187	0,106	1,25
200	9,0	3,6	0,151	0,101	0,112	0,114	0,75

$$S_y = \beta \sum_{j=n}^{n+m} \frac{p_j \cdot h_j}{E_j} = 0{,}8\cdot(1{,}87 + 0{,}75 + 2{,}27 + 1{,}25 + 0{,}75) = 5{,}5 \text{ см}.$$

По формулам (2.6), (2.7) и (2.11) рассчитываем давления p_z, p_{zg} и p_{z_y}, а по формулам (2.13) и (2.14) определяем соответственно осадку массива S_o и осадку условного фундамента S_y.

Осадка фундамента сооружения определяется как сумма осадки массива и осадки условного фундамента

$$S = S_o + S_y = 7{,}3 + 5{,}5 = 12{,}8 \text{ см}.$$

Пример 3. Определить осадку фундамента, выполненного в виде перекрестных железобетонных лент на закрепленных массивах, образующих пространственную систему. Закрепленные массивы выполнены в виде перекрестных стен под железобетонными лентами на всю глубину просадочной толщи (рис. 2).

Исходные данные

Ширина железобетонных лент . . . . . 1,6 м
Глубина заложения от отметки:
природного рельефа h' . . . . . 2,5 м
планировки h . . . . . 3,0 м
Давление под подошвой p . . . . . 0,2 МПа
Ширина массива b_y . . . . . 2,8 м
Мощность просадочной толщи . . . . . 24 м
Глубина закрепления грунта . . . . . 24 м

Глубина от подошвы фундамента z_0, на которой просадка нижележащих слоев грунта от собственного веса равна 5 см,..19,3м—
Средневзвешенные значения характеристик водонасыщенного грунта естественной структуры:

объемный вес γ'_{II} . . . . . 19 кН/м^3
сцепление C_{II} . . . . . 0,015 МПа
угол внутреннего трения φ_{II} . . . . . 18^0

Модуль деформации закрепленного грунта E_3 . . . . . 65 МПа
Модуль деформации грунта, подстилающего закрепленный массив, E_H . . . . . 30 МПа

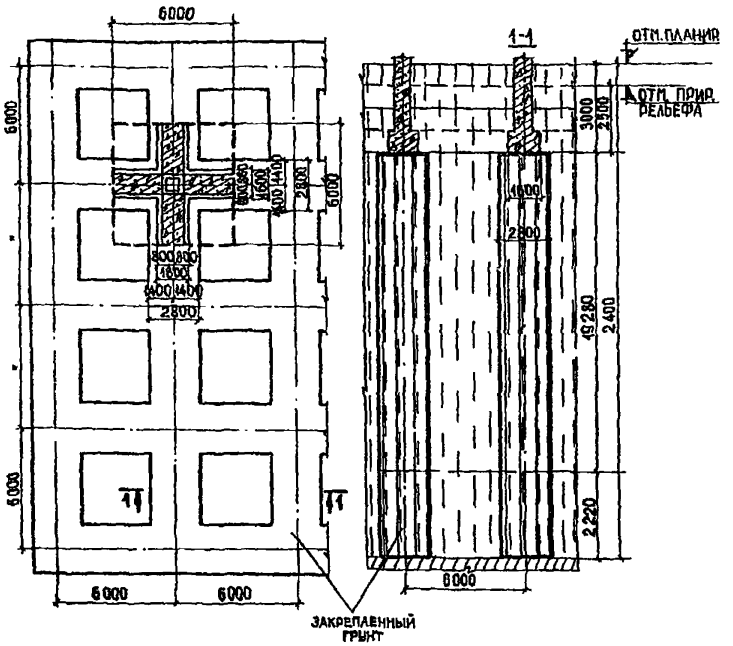


Рис. 2. Пространственная система закрепленных массивов

Расчет производится для симметричной ячейки системы размером 6 х 6 м.

I. Вычисляем постоянные величины, входящие в расчетные формулы для пространственной системы массивов.

Таблица 4

Расчет осадки фундамента на закрепленных массивах, образующих пространственную систему (пример 3)

Определение осадки массива S_o

h_i, см	z, м	$m=\frac{2z}{b}$	α	ρ_z, МПа	ρ_i, МПа	$z+h$, м	$m=\alpha(z+h)$	K_z	$K_z\cdot\rho_I$, МПа	$100\ \rho_{bz}$, МПа	$\bar{\rho}_z$, МПа	ρ_i, МПа	$\frac{(\rho_i+\bar{\rho}_i)h_i}{E_i}$ см
0	0	0	I	0,I43	-	3,00	3,75	2,84	0,06	4,75	0,020	-	-
64	0,64	0,8	0,88I	0,I26	0,I35	3,64	4,55	3,24	0,06	5,97	0,024	0,022	0,I5
64	I,28	I,6	0,642	0,092	0,I09	4,28	5,35	3,59	0,07	7,I9	0,028	0,026	0,I3
200	3,28	-	-	0,092	0,092	6,28	7,85	4,47	0,09	II,00	0,044	0,036	0,39
200	5,28	-	-	0,092	0,092	8,28	I0,35	5,06	0,I0	I4,79	0,059	0,052	0,44
200	7,28	-	-	0,092	0,092	I0,28	I2,85	5,45	0,II	I8,59	0,074	0,067	0,49
200	9,28	-	-	0,092	0,092	I2,28	I5,35	5,7I	0,II	22,39	0,089	0,082	0,54
200	II,28	-	-	0,092	0,092	I4,28	I7,85	5,89	0,I2	26,I9	0,I04	0,097	0,58
200	I3,28	-	-	0,092	0,092	I6,28	20,35	6,0I	0,I2	29,99	0,II9	0,II2	0,63
200	I5,28	-	-	0,092	0,092	I8,28	22,85	6,09	0,I2	33,79	0,I35	0,I27	0,67
200	I7,28	-	-	0,092	0,092	20,28	25,35	6,I4	0,I2	37,59	0,I50	0,I43	0,72
200	I9,28	-	-	0,092	0,092	22,28	27,85	6,I8	0,I2	4I,39	0,I65	0,I58	0,77

$$S_o = \beta \sum_{i=1}^{n} \frac{(\rho_i + \bar{\rho}_i)h_i}{E_i} = 0{,}8 \cdot 5{,}5I = 4{,}4I \text{ см}.$$

Площадь незакрепленного просадочного грунта в ячейке

$$S_н = 36 - 2,8 \times 6 - 2,8 \times (6 - 2,8) = 10,24 \text{ м}^2.$$

Периметр закрепленных массивов в ячейке

$$U_м = 24 - 4 \times 2,8 = 12,8 \text{ м}.$$

Площадь закрепленных массивов в ячейке

$$F_м = 2,8 \times 6 + 2,8 \cdot (6 - 2,8) = 25,76 \text{ м}^2.$$

Площадь железобетонного фундамента в ячейке

$$F_ф = 1,6 \times 6 + 1,6 \times (6 - 1,6) = 16,64 \text{ м}^2.$$

$$p_0 = p - p_б = 0,2 - 0,001 \times 19 \times 3 = 0,143 \text{ МПа}.$$

$$\frac{p_0 \cdot F_ф}{F_м} = \frac{0,149 \times 16,64}{25,76} = 0,092 \text{ МПа}.$$

$$\alpha = \frac{12,8}{10,24} = 1,25.$$

$$p_I = \frac{0,1 \times 19 - 1,25 \times 0,015 \times 100}{1,25} = 0,02 \text{ МПа}.$$

$$\frac{0,01 \cdot U_м}{\alpha \cdot F_м} = \frac{0,01 \cdot 12,8}{1,25 \times 25,76} = 0,004.$$

2. По формулам (2.6) и (2.7) рассчитываем давление p_z и $\bar{p}_z$ и определяем осадку массива S_0. По формуле (2.11) определяем дополнительные давления под подошвой условного фундамента p_{z_y} и находим суммарную осадку фундамента S. Вычисления приведены в табличной форме (табл. 4 и 5).

3. Осадка фундамента сооружения определяется как сумма осадки массива и осадки условного фундамента

$$S = S_0 + S_y = 4,41 + 1,37 = 5,78 \text{ см}.$$

Таблица 5

Определение осадки условного фундамента S_y

h_j, см	z_y, м	$m = \frac{2z_y}{b_y}$	α	p_{z_y}, МПа	p, МПа	$0,2p_б$, МПа	$\frac{p_j \cdot h_j}{E_j}$, см
0	0	0	1,000	0,257	-	0,083	
112	112	0,8	0,881	0,226	0,242	0,087	0,42

Продолжение табл. 5

h_j, см	z_y, м	$m=\frac{2z_y}{b_y}$	α	p_{z_y}, МПа	p, МПа	$0{,}2p_g$, МПа	$\frac{p_j \cdot h_j}{E_j}$, см
II2	2,24	I,6	0,642	0,I65	0,I96	0,09I	0,34
II2	3,36	2,4	0,477	0,I23	0,I44	0,096	0,54
II2	4,48	3,2	0,374	0,096	0,II0	0,I00	0,4I

$$S_y = \beta \sum_{j=n}^{n+m} \frac{p_j \cdot h_j}{E_j} = 0{,}8 \times I{,}7 = I{,}37 \text{ см}.$$

Пример 4. Составление исходных данных для определения напряженно-деформированного состояния системы "закрепленный массив - лессовый грунт" с применением ЭВМ.

Требуется составить исходные данные для счета на ЭВМ при армировании основания столбами из закрепленного грунта. Схема армирования основания приведена на рис.3.

I. Устанавливаем границы расчетной области по п.2.30 настоящих рекомендаций. Левой вертикальной границей является линия АС, правой - линия ВД, верхней горизонтальной границей - линия АВ, нижней - линия СД. Напряженное состояние в расчетной области характеризует напряжения в любой точке основания.

2. Выбираем сетку по п. 2.3I. Высота закрепленного грунта в выделенной области равна 2400 см. Принимаем высоту ячейки H = I00 см, отсюда m = 24.

Ширина закрепленного грунта в выделенной области равна 80см. Принимаем ширину ячейки I0 см, отсюда n = 8. Отношение ширины ячейки к ее высоте равно κ = 0,I.

Ширина области равна II0 см. Отношение ширины области к ширине ячейки N = II.

Высота всей области равна 3400 см. Отношение высоты области к высоте ячейки M = 34.

Ввиду того, что напряженное состояние определяется только от собственного веса грунта при его замачивании, нагрузка p_1 на закрепленный грунт и нагрузка p_2 на просадочный грунт равны нулю. Отсюда α = 0.

3. Заполняем таблицу исходных данных.

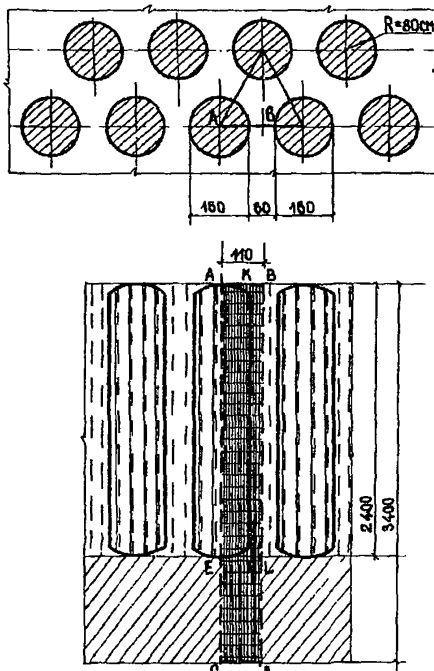


Рис.3 . Схема к определению расчетной области для программы "Массив - I"

Таблица 6

Исходные данные для счета на ЭВМ

Объект – промышленное здание
Тип грунтовых условий по просадочности – II
Конструктивная схема закрепления – подготовка основания столбами из закрепленного грунта, расположенными равномерно по площади основания

Номер строки	Параметры
1.	$N = 11$; $M = 34$; $n = 8$; $m = 24$; $H = 100$ см; $\kappa = 0{,}1$
2.	$\alpha = 0$; $\rho_1 = 0$; $\rho_2 = 0$.
3.	$\gamma_{II} = 19$ кН/м^3; $E_1 = 30$ МПа; $E_2 = 0$; $E_3 = 20$ МПа $\mu_1 = 0{,}30$; $\mu_2 = 0{,}35$ $\mu_3 = 0{,}35$
4.	$\delta_1 = 0$; $\delta_2 = 0$; $\delta_3 = 0$; $\delta_4 = 0{,}01$; $\delta_5 = 0{,}02$; $\delta_6 = 0{,}035$; $\delta_7 = 0{,}045$; $\delta_8 = 0{,}048$
5.	$\delta_9 = 0{,}05$; $\delta_{10} = 0{,}05$; $\delta_{11} = 0{,}05$; $\delta_{12} = 0{,}055$; $\delta_{13} = 0{,}065$; $\delta_{14} = 0{,}07$; $\delta_{15} = 0{,}075$; $\delta_{16} = 0{,}065$
6.	$\delta_{17} = 0{,}055$; $\delta_{18} = 0{,}04$; $\delta_{19} = 0{,}025$; $\delta_{20} = 0{,}025$; $\delta_{21} = 0{,}027$; $\delta_{22} = 0{,}02$; $\delta_{23} = 0{,}015$; $\delta_{24} = 0{,}01$
7.	$\rho_1 = 0{,}05$; $\rho_2 = 0{,}05$; $\rho_3 = 0{,}05$; $\rho_4 = 0{,}05$; $\rho_5 = 0{,}055$; $\rho_6 = 0{,}06$; $\rho_7 = 0{,}06$; $\rho_8 = 0{,}06$ (МПа)
8.	$\rho_9 = 0{,}065$; $\rho_{10} = 0{,}07$; $\rho_{11} = 0{,}07$; $\rho_{12} = 0{,}075$; $\rho_{13} = 0{,}11$; $\rho_{14} = 0{,}11$; $\rho_{15} = 0{,}115$; $\rho_{16} = 1{,}5$ (МПа)
9.	$\rho_{17} = 0{,}15$; $\rho_{18} = 0{,}20$; $\rho_{19} = 0{,}21$; $\rho_{20} = 0{,}25$; $\rho_{21} = 0{,}30$; $\rho_{22} = 0{,}35$; $\rho_{23} = 0{,}35$; $\rho_{24} = 0{,}45$ (МПа)

Приложение 2

ПРОГРАММА " МАССИВ—I "
осесимметричная задача

```
_BEG_INTИI,И2,И3,И4;_REAЯ,Ц,RE,ER,P2;_INTO;_INTR,N1,N5,N6,K1,
K2;_REAX,У,Z,ХУ,Ю1,Ю2,Ю3,ПС1,ПС2,ПС3,P1,H,UD,AG;_INTI,J,P,Q,N2
,N3,N4,Г,П,Ш;_REAC1,Ф,Н1,Н2;P0042(И1,N3,N4,Ш,Г,Н,Я);P0042(N5,
P1,P2);P0042(Н2,Ю3,Ю2,Ю1,ПС3,ПС2,ПС1);N3:=N3+1;N4:=N4+1;Г:=Г+1
;Ш:=Ш+1;_BEG_ARRNP[1:N4];_ARRW1[1:Г],Н[1:Г];_ARRД[1:N4],U,W,E,
V[1:N3,1:N4];_PRO ПЕЧАТЬ;_INTI,J;_REAA,B,C,D,EE,F,G,N,M,R,L,S1,
AB;_BEGP0501(9,11);_FOR J:=1_STE3_UNT106_DO_BEGP0501(4,J,3,86,
11,11);_END;_FOR I:=3_STE 6_UNT 87_DO_BEGP0501(3,1,I,106,66,11)
;P0501(3,1,6×Ш-3,3×Г-3,32,11);P0501(4,3×Г-3,3*6×Ш-3,32,11);
P0501(6,0,25,'ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ,СМ',11);P0501(6,2,90,'
ГЛУБИНА,СМ',11);_FORI:=1_STE1_UNT N3_DO_BEG_FORJ:=1_STE1_UNTN4
_DO_BEGQ:=3+6×(I-1);P:=1+3×(J-1);K:=Q-2;AG:=H×Я×(I-1);P0501(2,
107,Q,AG,2,3,11);ER:=H×(J-1);P0501(2,P,94,ER,2,3,11);S1:=W(I,J)
;_IFN2<0.0001_THE_GOTBTИП;A:=(1-ПС1-2×ПС1↑2)×(Г-1)×M2×H/(Ю1×(1
-ПС1));B:=A×(N4-Г))H;C:=A×I;_IFJ<Г_THEW[I,J]:=B[I,J]-B_ELSW[I,J]
:=W[I,J]-C;ВТИП:P0501(5,P,K,10,11);P0501(2,P,Q,W(I,J],2,3,11);
W(I,J];=S1;_END_END;P0501(10,108,11);P0501(6,0,25,'ГОРИЗОНТАЛЬ-
НЫЕ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ,СМ',11);_FORI:=1_STE1_UNT N3_DO_BEG_FOR J:=1_
STE 1_UNT N4_DO_BEGQ:=3+6×(I-1);P:=1+3×(J-1);K:=Q-2;P0501(5,P,
K,10,11)P0501(2,P,Q,U(I,J],2,3,11);_END_ENDP0501(10,108,11)_END
;_PRO ИСХОД;_BEG_REA A,B,C,D,EE;_FOR J:=1_STE 1_UNT N4_DO_BEG
_FOR I:=1_STE 1_UNT N3_DO_BEGE[I,J]:=Ю1;V[I,J]:=ПС1;_END_END;N
1:=1;_FOR I:=1_STE 1_UNT N3_DO_BEG_FOR J:=1_STE 1_UNT Г_DO_BEG
E[I,J]:=Ю2;V[I,J]:=ПС2;_END;_END;_IF M2=0_THE_GOT KA;_FOR I:=1
 _STE 1_UNT N3_DO_BEG_FOR J:=1_STE 1_UNT Г_DO_BEGA:=(1+ПС2)×(1-
```

```
2×ПС2)/(1-ПС2);_IF Д[J]<0,01_THEE[I,J]:=10Г×NP[J]×A_ELSE[I,J]:
=A×H×(J-1)×UD/Д[J];_END_END;КА:_FOR I:=1_STE 1_UNT Ш-1_DO_BEG
_FOR J:=1_STE 1_UNT Г-1_DO_BEG E[I,J]:=Ю3;V[I,J]:=ПС3;_END;_
_END;_FORI:=1_STE 1_UNT N3_DO_BEG _FOR J:=1_STE 1_UNT N4_DO_
BEGU[I,J]:=0;W[I,J]:=0;_END_END;P0501(9,11);RE:=Ю2×H×(Г-1);
Л:_IF И1=1_THE P0501(6,1,60,'МАССИВ-1ТТТЮСЕСИММЕТРИЧНАЯТЗАДАЧА
',11)_ELS P0501(6,1,60,'МАССИВ-2ТТТПЛОСКАЯТЗАДАЧА',11);P0501(6,
1,1,'ОТНОШЕНИЕ≠ШИРИНЫ≠ОБЛАСТИ≠К≠ШИРИНЕ≠ЯЧЕЙКИ....',11);P0501(6,
3,1,'ОТНОШЕНИЕ≠ВЫСОТЫ≠ОБЛАСТИ≠К≠ВЫСОТЕ≠ЯЧЕЙКИ....',11);P0501(6
,5,1,'ОТНОШЕНИЕ≠ШИРИНЫ≠МАССИВА≠К≠ШИРИНЕ≠ЯЧЕЙКИ....',11);P0501(
6,7,1,'ОТНОШЕНИЕ≠ВЫСОТЫ≠МАССИВА≠К≠ВЫСОТЕ≠ЯЧЕЙКИ....',11);P0501
(6,9,1,'ВЫСОТА≠ЯЧЕЙКИ≠СЕТКИ,СМ.....',11);P050
1(6,11,1,'ОТНОШЕНИЕ≠ШИРИНЫ≠ЯЧЕЙКИ≠К≠ЕЕ≠ВЫСОТЕ.....',11);P0501
 (6,13,1,'ЧИСЛО≠УЗЛОВ≠ПОД≠ПОДОШВОЙ≠ФУНДАМЕНТА.....',11);P05
 01(6,15,1,'ДАВЛЕНИЕ≠ПОД≠ПОДОШВОЙ≠ФУНДАМЕНТА,          ,11);
P0501(6,17,1,'ДАВЛЕНИЕ≠НА≠ГРУНТ≠ВНЕ≠ФУНДАМЕНТА'          ,11);
P0501(6,19,1,'ОБЪЕМНЫЙ≠ВЕС≠ГРУНТА,      .....',11);
P0501(6,21,1,'МОДУЛЬ≠ДЕФОРМАЦИИ≠ЗАКРЕПЛЕННОГО≠ГРУНТА.....',11);
P0501(6,23,1,'МОДУЛЬ≠ДЕФОРМАЦИИ≠ПОДСТИЛАЮЩЕГО≠СЛОЯ.....',11);
P0501(6,25,1,'КОЭФФИЦИЕНТ≠ПУАССОНА≠ЗАКРЕПЛЕННОГО≠МАССИВА.',11);
P0501(6,27,1,'КОЭФФИЦИЕНТ≠ПУАССОНА≠ПРОСАДОЧНОГО≠ГРУНТА...',11);
P0501(6,29,1,'КОЭФФИЦИЕНТ≠ПУАССОНА≠ПОДСТИЛАЮЩЕГО≠СЛОЯ....',11);
N3:=N3-1;N4:=N4-1;P0501(2,1,47,N3,0,2,11);P0501(2,3,47,N4,0,2,
11);N3:=N3+1;N4=N4+1;M7:Ш :=Ш-1;Г:=Г-1;P0501(2,5,47,Ш,0,2,11);
P0501(2,7,47,Г,0,2,11);P0501(2,9,47,H,0,3,11);Ш:=Ш+1;Г:=Г+1;
 P0501(2,11,45,Я,1,2,11);P0501(2,13,45,N5,0,2,11);P0501(2,15,
 45,P1,1,3,11);P0501(2,17,45,P2,1,3,11);P0501(2,19,45,Ю2,4,5,
 11);P0501(2,21,47,Ю3,0,3,11);P0501(2,25,47,ПС3,2,3,11);P0501(
 2,27,47,ПС2,2,3,11);P0501(2,23,47,Ю2,0,3,11);P0501(2,23,47,Ю1,
```

```
0,3,11);P05 01(2,29,47,ПС1,2,3,11);P05 01(10,35,11);P05 01(9,11);
P05 01(6,1,1,'ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПРОСАДОЧНОСТЬ',6,2,1,'ПРИ БЫТОВОМ
ДАВЛЕНИИ',11)P05 01(6,1,30,'НАЧАЛЬНОЕ ПРОСАДОЧНОЕ',6,2,30,'ДАВЛЕ
НИЕ,                11);P05 01(6,1,60,'ПРИВЕДЕННЫЙ МОДУЛЬ ДЕФОРМАЦИИ',
6,2,60,'ПРОСАДОЧНОГО ГРУНТА,                11);P05 01(6,2,90,'ГЛУБИНА
,СМ',11);_FOR J:=1_STE1_UNTN4_DO_BEGP05 01(2,2×J+2,5,Д[J],3,3,11
);ER:=H×(J-1);P05 01(2,2×J+2,94,ER,2,3,11);P05 01(2,2×J+2,35,NP[
J],3,3,11);P05 01(2,2×J+2,65,E[Ш+1,J],3,3,11);_END;P05 01(10,80,
11);_END;_PRO NAP1;_BEG_REA A,B,C,D,EE;_REA F;_REA N;P05 01(9,1
1);_FOR J:=1_STE 3_UNT 106_DO_BEGP05 01(4,J,3,86,11,11);_END;_
FOR I:=3_STE 6_UNT 87_DO_BEG P05 01(3,1,I,106,66,11);_END;P05 01
(3,1,6×Ш-3,3×Г-3,32,11);P05 01(4,3×Г-3,3'6×Ш-3,32,11);P05 01(6,0
,40,'СИГМА ТАУ,                11);P05 01(6,2,90,'ГЛУБИНА,СМ',11);_
FOR I:=2_STE 1_UNT N3-1_DO_BEG_FOR J:=2_STE 1_UNT N4-1_DO_BEG
P:=1+3×(J-1);Q:=3+6×(I-1);K:=Q-2;AG:=H×Я×(I-1);P05 01(2,107,Q,
AG,2,3,11);ER:=H×(J-1);P05 01(2,P,94,ER,2,3,11);XУ:=E[I,J]/(4×
N1×H×(1+V[I,J]));XУ:=XУ×(U(I,J+1]-U[I,J-1]+(W[I+1,J]-W[I-1,J])
/Я);P05 01(5,P,K,10,11);P05 01(2,P,Q,XУ,2,3,11);_END;_END;I:=Ш;_
FOR J:=2_STE 1_UNT Г_DO_BEG P:=1+3×(J-1);Q:=3+6×(I-1);K:=Q-2;
A:=E[I+1,J]/(2×H×N1×2×(1+V[I,J]));B:=U[I,J+1]-U[I,J-1];C:=BW[1
'0)/Я;XУ:=A×(B+C);F:=F+XУ;P05 01(5,P,K,10,11);P05 01(2,P,Q,XУ,2,
3,11);_END;P05 01(10,108,11);P05 01(6,0,40,'СИГМА Z,                11
);P05 01(6,2,90,'ГЛУБИНА,СМ',11);_FORI:=I_STE 1_UNT N3-0_DO_BEG
_FOR J:=2_STE1_UNT N4-1_DO_BEGP:=1+3×(J-1);Q:=3+6×(I-1);K:=Q-2;
AG:=H×Я×(I-1);P05 01(2,107,Q,AG,2,3,11);ER:=H×(J-1);P05 01(2,P,9
4,ER,2,3,11);A:=0;B:=0;C:=W[I,J+1]-W[I,J-1];D:=(1-V[I,J])/V[I,
J];EE:=(E[I,J]×V[I,J]/((1+V[I,J])×(1-2×V[I,J])))/(2×N1×H);Z:=E
E×(A+B+C×D);_IF J=N4-1_ THE X:=Z;_IF I<Ш_THE_BEG_IF J<Г_THE Z
:=Z-H2×H×(J-1)_END;
```

```
P0501(5,P,R,10,11);P0501(2,P,Q,Z,2,3,11);_END;_END;P0501(10,
108,11);_END;_PRO PERO;_BEG_REA S;_INT I,J;_REA A,B,C,D,EE,F,
G,N,M,R,L,S1,AB;AB:=3;J:=1;_FOR I:=I_STE 1_UNT N3_DO_BEG _IF
I<N5_THE C1:=P1_ELS C1:=P2;A:=(1+ПС3)×(1-2×ПС3)/(E[I,J]×ПС3);
W[I,J]:=(4×W[I,J+1]-W[I,J+2]+AB×W[I,J]-2×A×C1×H×ПС3/(1-ПС3))/
(3+AB);_END;A:=1/(2×(1+ПС2)×Я×Я);B:=(1-ПС2)/(1-ПС2-ПС2×ПС2×2)
;Ц:=2×(A+B);A:=A/Ц;B:=B/Ц;У:=Ш2×H×H/Ц;_FOR J:=Г+1_STE 1_UNT
N4-1_DO_BEG_FOR I:=2_STE 1_UNT N3-1_DO_BEG S1:=W[I,J];W[I,J]:
=A×(W[I+1,J]+W[I-1,J])+B×(W[I,J+1]+W[I,J-1])+У/E[I,J];_END_
END;J:=Г;_FOR I:=2_STE 1_UNT N3-1_DO_BEG ГОР:W[I,J]:=(W[I,J+1
]×E[I,J+1]+W[I,J-1]×E[I,J-1])/(E[I,J+1]+E[I,J]);_IF I<Ш_THE
W[I,J]:=W[I,J]+RE×H×5:2/(7×(D1+D3));_END;_FOR J:=2_STE 1_UNT
Г-1_DO_BEG_FOR I:=Ш+1_STE 1_UNT N3-1_DO_BEG W[I,J]:=A×(W[I+1
,J]+W[I-1,J])+B×(W[I,J+1]+W[I,J-1])+У/E[I,J];_END_END;I:=Ш;_
FOR J:=2_STE 1_UNT Г-1_DO_BEG W[I,J]:=(W(I-1,J]×E[I-1,J]+W[I+
1,J]×E[I+1,J])/(E[I-1,J]+E[I+1,J]);_END;У:=0;_FOR J:=2_STE 1_
UNT Г-1_DO_BEG_FOR I:=2_STE 1_UNT Ш-1_DO_BEG W[I,J];=A×(W[I+1
,J]+W[I-1,J])+B×(W[I,J+1]+W[I,J-1])+У/E[I,J];_END_END;I:=N3;_
FOR J:=2_STE 1_UNT N4-1_DO_BEG W[I,J]:=(4×W[I-1,J]+AB×W[I,J]-
W[I-2,J])/(3+AB);_END;I:=1;_FOR J:=2_STE 1_UNT N4-1_DO_BEG
W[I,J]:=(4×W[I+1,J]+AB×W[I,J]-W[I+2,J])/(3+AB);_END;_END;_REA_
PRO BW(P,Q);_INT P,Q;_BEG BW:=-3×W[I,J]+4×W[I+P,J+Q]-W[I+2×P,
J+2×Q];_END;_REA_PRO BU(P,Q);_INT P,Q;_BEG BU:=-3×U[I,J]+4×U[
I+P,J+Q]-U[I+2×P,J+2×Q];_END;P0042(Д);P0042(NP);UD:=H2;P0717(
BW,BU);ИСХОД;M4:Я:=0,5;_FOR N2:=1_STE 1_UNT 1000_DO_BEG PERO;
_END;Я:=0,1;ПЕЧАТЬ;NAP1;_GOT M4;M9:_END;_END;0000m0
```

ПРОГРАММА " МАССИВ — 2 "

плоская задача

Программа "МАССИВ-2 " формируется из программы "МАССИВ —I " путем следующей замены описания процедуры PERO:

```
_PRO PERO;_BEG_REA S;_INT N5;_INT I,J;_REA A,B,C,D,EE,F,G,N,
M,R,L,S1,AB;AB:=0;J:=1;_FOR I:=1_STE 1_UNT N3_DO_BEG _IF I<N5
_THE C1:=P1_ELS C1:=P2;A:=(1+ПС3)×(1-2×ПС3)/(E[I,J]×ПС3);W[I,
J];=(4×W[I,J+1]-W[I,J+2]+AB×W[I,J]-2×A×C1×H×ПС3/(1-ПС3))/(3+AB
);_END;EE:=0;A:=D1/2.6;B:=A×3,5;A:=A/(Я×Я);_FOR J:=Г+1_STE 1_
UNT N4-1_DO_BEG_FOR I:=2_STE 1_UNT N3-1_DO_BEG D:=A/(I-1);S1:
=W[I,J];W[I,J]:=(2×B+EE)×W[I,J+1]+(2×B-EE)×W[I,J-1]+(2×A+D)×
W[I+1,J]+(2×A-D)×W[I-1,J];W[I,J]:=W[I,J]/(4×(A+B));W[I,J]:=S1
+2,0×(W[I,J]-S1);_END_END;J:=Г;_FOR I:=2_STE 1_UNT N3-1_DO_
BEG ГОР:W[I,J];=(W[I,J+1]×E[I,J+1]+W[I,J-1]×E[I,J-1])/(E[I,J
+1]+E[I,J-1]);_IF I<Ш_THE W[I,J]:=W[I,J]+RE×H×5,2/(7×(D1+D3))
;_END;_FOR J:=2_STE 1_UNT Г-1_DO_BEG_FOR I:=Ш+1_STE 1_UNT N3-
1_DO_BEGS1:=W[I,J];EE:=0,67×(E[I,J+1]-E[I,J-1]);A:=E[I,J]/2.6;
B:=A×3,5;D:=A/(Я×(I-1));A:=A/(Я×Я);D:=D/Я;W[I,J]:=(2×B+EE)×W
[I,J+1]+(2×B-EE)×W[I,J-1]+(2×A+D)×W[I+1,J]+(2×A_D)×W[I-1,J]+
UD×2×N1↑2×H↑2;W[I,J]:=W[I,J]/(4×(A+B));W[I,J]:=S1+2.0×(W[I,J]
-S1);_END_END;I:=Ш;_FOR J:=2_STE 1_UNT Г-1_DO_BEG W[I,J]:=(W[I
-1,J]×E[I-1,J]+W[I+1,J]×E[I+1,J])/(E[I-1,J]+E[I+1,J]);_END;
UD:=0;A:=D3/2.6;B:=A×3,5;EE:=0;A:=A/(Я×Я);_FOR J:=2_STE 1_UNT
 Г-1_DO_BEG_FOR I:=2_STE 1_UNT Ш-1_DO_BEG S1:=W[I,J];D:=A/(I-
 1);_END;
```

НИИ оснований и подземных сооружений
Редактор Осокин В.А.

Л-142733 Подп. к печати 11.08.1980г. Заказ 1514
Уч.-изд.л. 2.85 Цена 20 коп. Тираж 500 экз.

Отпечатано в Производственных экспериментальных мастерских ВНИИИС Госстроя СССР.

gost.e-ecolog.ru