НИИОСП

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСАДОК СВАЙ В ПЛАСТИЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

gost.e-ecolog.ru

МОСКВА–1983

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСАДОК СВАЙ В ПЛАСТИЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

МОСКВА–1983

I. Общие положения

I.I. Настоящие Рекомендации составлены к главе СНиП П-I8-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и предназначены для проектных и строительных организаций, осуществляющих проектирование и устройство свайных фундаментов на пластичномерзлых грунтах.

I.2. Метод расчета осадок свай, изложенный в настоящих Рекомендациях, позволяет учитывать большинство факторов, определяющих взаимодействие сваи и мерзлого грунта.

2. Расчет осадок свай в пластичномерзлых грунтах

2.I. Осадка S, м, одиночной сваи в пластичномерзлых грунтах определяется по следующей формуле:

$$S=\left(\frac{\varkappa}{a_0\,\ell^{2-m}}\right)^{\frac{1}{m}}\left\{T\sum_{i=1}^{n}\left[\frac{N_i}{\bar{R}^{\,i}_{см}}\right]^{\frac{1}{m\alpha}}\right\}^{\alpha}, \qquad (I)$$

где ℓ - длина сваи, м, отсчитываемая от верхней поверхности вечномерзлых грунтов;

T - средняя продолжительность месяца, равная 730 ч;

n - число месяцев за расчетный период;

$N_i, \bar{R}^{\,i}_{см}$ - соответственно расчетная вертикальная нагрузка, H, на сваю от здания (сооружения) и средневзвешенное по длине сваи значение, $Па$, расчетного сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по боковой поверхности сваи (п.2.3) в середине i-го месяца с начала загружения сваи;

$m; \alpha; a_0; r^{m\alpha}$ - осредненные значения реологических характеристик деформируемости мерзлого грунта (раздел 3 настоящих Рекомендаций), представляющих собой параметры степенного уравнения ползучести;

$\varkappa$ - коэффициент, определяемый по номограмме рис.I в зависимости от значения m и отношения длины сваи ℓ к ее приведенному диаметру d, $м$ (п.2.4).

2.2. Расчет осадок свай по формуле (I) осуществляется вручную или на ЭВМ согласно блок-схеме, приводимой в прил.I.

2.3. Значения $\bar{R}^{\,i}_{см}$ рассчитываются по формуле:

$$\bar{R}^{\,i}_{см}=\frac{1}{\ell}\sum_{j=1}^{M}\ell_j R^{ij}_{см}, \qquad (2)$$

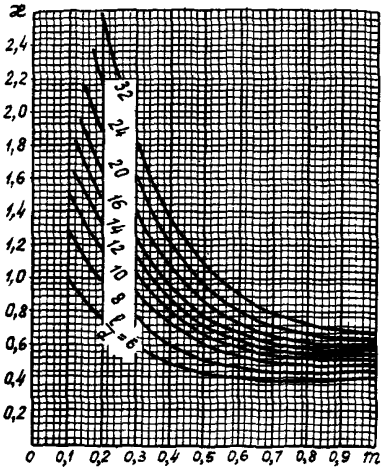


Рис.I Номограмма для определения параметра α

где M - число однородных слоев грунта вдоль рабочей длины сваи;

l_j - мощность j -го слоя;

$R^{ij}_{сн}$ - расчетное сопротивление мерзлого грунта j -го слоя сдвигу по боковой поверхности сваи, определяемое по табл.3 прил.6 главы СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" при средней по длине сваи температуре грунта t_i в середине i -го месяца с начала загружения сваи (п.2.5).

2.4. Приведенный диаметр d сваи рассчитывается по формуле

$$d = \frac{u}{\pi}, \qquad (3)$$

где u - периметр поперечного сечения сваи, м.

2.5. Средняя по длине сваи температура грунта t_i (п.2.3) определяется на основании теплотехнического расчета по аналитическим формулам /I/ или более точно на ЭВМ /2/.

Для зданий с холодным подпольем допускается определять температуру t_i по приближенной формуле:

$$t_i = \begin{cases} t_1 + \frac{i}{i_y}(t_2 - t_1) & \text{при } i < i_y; \\ t_2 & \text{при } i \geq i_y, \end{cases}$$

где t_1 - среднее по длине сваи максимальное значение температуры грунта в естественных условиях;

t_2 - среднее по длине сваи максимальное значение температуры грунта при установившемся стационарно-периодическом режиме;

i_y - число месяцев с начала эксплуатации подполья до установления стационарно-периодического режима.

2.6. Значения t_1 и t_2 (п.2.5) определяются с использованием формул (I4) и (I5) главы СНиП П-I8-76. При этом значение t_1 рассчитывается без учета влияния подполья при $t_o' = t_o$,

где t_o - температура вечномерзлого грунта, °С, на глубине I0 м (см. п.4.I0 главы СНиП П-I8-76);

t_o' - среднегодовая температура вечномерзлого грунта, °С, на его верхней поверхности, устанавливающаяся при эксплуатации зданий и сооружений (см.п.4.II главы СНиП П-I8-76).

3. Определение расчетных характеристик

3.I. Реологические характеристики деформируемости мерзлого грунта m, α, a_o следует определять на основании данных полевых испытаний свай статическими осевыми ступенчато-возрастающими вдавливающими нагрузками /3/ по методике, изложенной в Рекомендациях (пп. 3.2-3.I0).

Примечания: I. Размеры опытной сваи могут отличаться от размеров проектируемых свай. В частности, могут быть использованы инвентарные сваи малого сечения; 2. Если основание неоднородно по глубине, то глубины погружения опытной и проектируемой свай должны быть одинаковы.

3.2. Выбираются ступени затухающего деформирования (рис.2), нагрузка N на которых не превышает нормативного значения предельно длительного сопротивления $P^н$ основания сваи статической нагрузке /3/.

3.3. На каждой ступени затухающего деформирования рассчитывается осадка ползучести S^c (рис.3) по формуле:

$$S^c = S - S_o,$$

где S_o - мгновенная осадка сваи, возникающая в момент приложения внешней нагрузки.

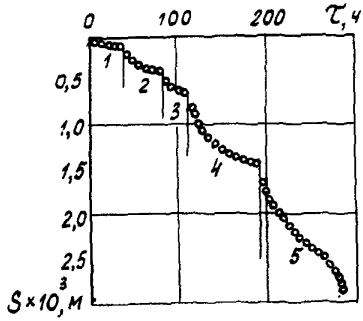


Рис.2 Результаты полевого испытания сваи вдавливающими ступенчато-возрастающими нагрузками, равными: I- 3×10^5Н; 2- 4×10^5Н; 3- 5×10^5Н; 4- 6×10^5Н; 5- 7×10^5Н

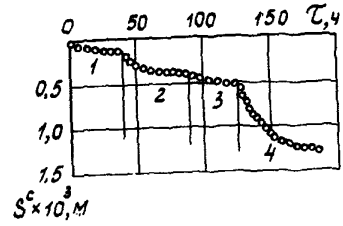


Рис.3 Развитие осадки ползучести сваи во времени. Обозначения те же, что и на рис.2

3.4. Рассчитывается скорость изменения осадки ползучести в процессе испытания сваи:

$$v_S = \frac{\Delta S}{\Delta \tau} = \frac{S_к - S_{к-1}}{\tau_к - \tau_{к-1}}, \qquad (4)$$

где $S_{к-1}$, $S_к$ - значения осадок сваи по результатам испытаний в моменты времени $\tau_{к-1}$, $\tau_к$.

3.5. На каждой ступени затухающего деформирования строится график в координатах $\lg v_S - \lg S^c$ (рис.4) и методом наименьших квадратов определяется коэффициент β уравнения линейной регрессии

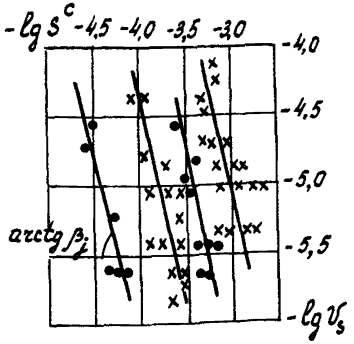
$$Y = -\beta X + \delta, \qquad (5)$$

где $X = \lg S^c$, $Y = \lg v_S$. Графически β представляет собой тангенс угла наклона опытной прямой к оси абсцисс.

3.6. Определяется среднее значение β:

$$\beta = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^{L} \beta_i, \qquad (6)$$

Рис.4 Зависимость скорости осадки от осадки ползучести сваи в логарифмическом масштабе. Обозначения те же, что и на рис.2



где L - число ступеней затухающего деформирования;

β_j - значение коэффициента β на j - й ступени.

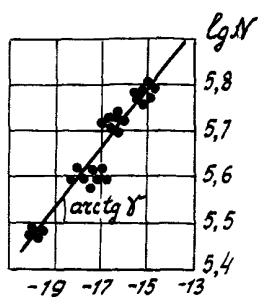
3.7. Рассчитывается значение параметра α :

$$\alpha = \frac{1}{\beta+1} \quad . \tag{7}$$

3.8. Все опытные точки на ступенях затухающего деформирования наносятся на график в координатах $lgN - lg(v_s S^{c\frac{1-\alpha}{\alpha}})$ (рис.5) и методом наименьших квадратов определяются параметры γ и ω уравнения линейной регрессии

$$Y = \gamma X + \omega, \tag{8}$$

Рис.5 Результаты испытания сваи в обобщенных логарифмических координатах



где $X = lg(v_s S^{c\frac{1-\alpha}{\alpha}})$, $Y = lgN$. Графически γ представляет собой тангенс угла наклона опытной прямой к оси абсцисс, а ω - ординату точки пересечения прямой с осью ординат.

3.9. Рассчитывается значение параметра m :

$$m = \frac{\gamma}{\alpha} \cdot \qquad (9)$$

3.10. Рассчитывается значение параметра a_o :

$$a_o = \frac{10^{\omega} \cdot \alpha^{m\alpha} \cdot \varkappa}{\overline{R}_{см}\, \ell_{оп}^{2-m}}, \qquad (10)$$

где $\varkappa$ - определяется по номограмме рис.1 в зависимости от значения m и отношения $\ell_{оп} / d_{оп}$, где $\ell_{оп}$ - длина части опытной сваи, м, находящейся в мерзлом грунте во время испытания; $d_{оп}$ -приведенный диаметр опытной сваи, м (п.2.4);

$\overline{R}_{см}$ - средневзвешенное по длине опытной сваи значение расчетного сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по боковой поверхности сваи, определяемое по формуле (2) при температуре $t_{оп}$ - средней по длине сваи температуре основания в процессе испытания опытной сваи.

3.11. Для предварительных расчетов при наличии однородных оснований характеристики m , α , a_o допускается определять по данным опытов на ползучесть мерзлого грунта в лабораторных условиях (сдвиг, одноосное сжатие, трехосное сжатие и т.д.; пп. 3.12-3.15) или по таблице.

Значение параметров a_o , m , α

Грунты	$a_o, t^{m\alpha}$	m	α
Песчаные	3,5	0,32	0,31
Глинистые	8,3	0,55	0,50

3.12. При определении характеристик m , α , a_o по результатам лабораторных опытов проводится серия испытаний образцов-близнецов мерзлого грунта на ползучесть при постоянных в течение каждого опыта напряжениях и температуре.

3.13. Результаты опытов оформляются в виде серии кривых ползучести $\gamma_и - \tau$ (рис.6), где $\gamma_и$ -интенсивность деформаций сдвига, τ - время, ч. Каждая кривая ползучести соответствует своему значению интенсивности касательных напряжений $\tau_и$, Па. Выражения для $\gamma_и$ и $\tau_и$ приведены в прил.2.

3.14. Обработка результатов опытов осуществляется по методике, аналогично изложенной в [4], с использованием кривых затухающего де-

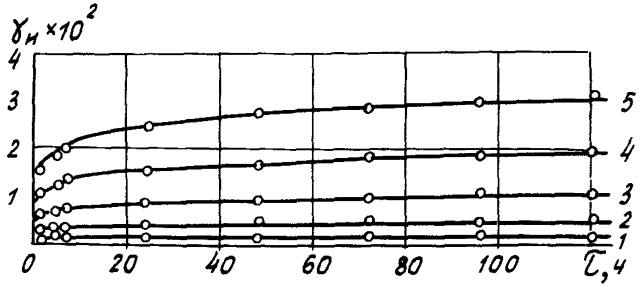


Рис.6 Зависимость интенсивности деформаций сдвига от времени при различных значениях интенсивности касательных напряжений, равных, Па:

I- $0{,}25 \times 10^6$; 2- $0{,}5 \times 10^6$; 3- $0{,}75 \times 10^6$; 4- $1{,}0 \times 10^6$; 5- $1{,}25 \times 10^6$

формирования, для которых значение $\tau_и$ не превышает предела длительной прочности [4]. В процессе обработки определяются параметры m ; α ; a , Па. $ч^{m\alpha}$, степенного уравнения ползучести

$$\gamma_и = \left(\frac{\tau_и}{a}\right)^{\frac{1}{m}} \tau^{\alpha} . \qquad (11)$$

3.15. Параметр α_o рассчитывается по формуле:

$$\alpha_o = \frac{a}{R_{сн}} , \qquad (12)$$

где $R_{сн}$ - расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности сваи, определяемое по табл.3 прил. 6 главы СНиП II-18-76 при температуре испытания.

4. Технико-экономическая эффективность использования рекомендаций

Использование метода расчета осадок свай в пластичномерзлых грунтах, изложенного в настоящих Рекомендациях, позволяет повысить расчетные нагрузки на сваи по сравнению с определенными по главе СНиП II-18-76 и тем самым сократить число свай на 10÷20%. В пересчете на I сваю экономия в среднем составляет около 80 руб.

5. Примеры пользования Рекомендациями

5.I. Пример I. На рис.2 представлены результаты испытания сваи статической, вдавливающей, ступенчато-возрастающей нагрузкой. Свая сечением 40х40 см погружена на глубину 5,5 м в мерзлый песок. Средняя по длине сваи температура грунта в процессе испытания равна - 0,7°С. Требуется определить деформационные характеристики m, α, α_0 исследуемого мерзлого песка.

Для определения указанных характеристик произведем обработку результатов испытаний согласно методике, изложенной в разделе.3. Вначале выбираем ступени затухающего деформирования. Такими ступенями являются первые четыре ступени вплоть до нагрузки P^{II} =6х10^5Н. На каждой ступени затухающего деформирования рассчитываем осадку ползучести S^c (см. рис.3), а также скорость изменения осадки ползучести v_s, после чего опытные точки наносим на график в координатах $lg v_s - lg S^c$ (см.рис.4). Методом наименьших квадратов спрямляем опытные данные на каждой ступени и определяем значения параметра β. Эти значения оказались следующими: β_1 =3,26; β_2 =3,I4; β_3 = 3,93; β_4 =3,27. Среднее значение β, согласно полученным данным, равно β =3,4. Тогда

$$\alpha = \frac{1}{3,4+1} = 0,227.$$

Далее опытные точки наносим на график (см.рис.5) в координатах $lgN - lg(v_s S^c \frac{1-\alpha}{\alpha})$ и спрямляем их методом наименьших квадратов. В результате получим [см.формулу (8)] γ = 0,065I, ω = 6,78. В таком случае

$$m = 0,065I / 0,227 = 0,287 .$$

Рассчитываем значение $\bar{R}_{сн}$ при температуре испытания, равной -0,7°С. Поскольку основание в данном случае однородно и сложено песчаным грунтом, по табл.3 прил. 6 главы СНиП II-I8-76 находим $\bar{R}_{сн}$ = $R_{сн}$ = I,0 $\frac{кг}{см^2}$ = $I0^5$Па.

Определим приведенный диаметр опытной сваи

$$d_{оп} = \frac{4х0,4}{3,I4} = 0,509 \text{ м}.$$

Длина опытной сваи по условию равна $l_{оп}$ =5,5 м. В таком случае $l_{оп}/d_{оп}$ = I0,8. По номограмме рис.I при l/d =I0,8 и m =

=0,287 находим значение α =0,96, после чего определим значение a_o с использованием формулы (I0):

$$a_o = \frac{10^{6,78} \cdot 0,227^{0,065I} \cdot 0,96}{10^5 \cdot 5,5^{2-0,287}} = 2,84\ \tau^{m\alpha}.$$

Итак, окончательно имеем: m =0,287; α = 0,227; a_o =2,84 $\tau^{m\alpha}$.

5.2. П р и м е р 2. Требуется оценить эффективность применения термосвай в фундаменте здания. Расчетные средние по длине сваи температуры грунта при наличии только проветриваемого подполья и подполья, совмещенного с термосваями, приведены на рис.7 [2].

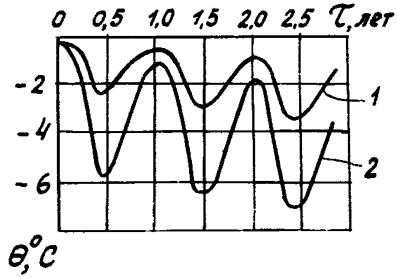


Рис. 7. Изменение средней по длине сваи температуры грунта под зданием: I- при наличии проветриваемого подполья; 2- при наличии проветриваемого подполья, совмещенного с термосваями

Сваи сечением 30х30 см погружены в вечномерзлый грунт на глубину 6,8 м. В основании залегают глинистые грунты. Расчетные характеристики грунтов следующие: m =0,5I; α =0,50; a_o =I4,7 $\tau^{m\alpha}$. На сваи действует постоянная нагрузка N =3,03 х 10^5 . Предельно допустимая величина совместной деформации основания и здания равна $S_{пр}$ =8 см.

Рассчитаем осадку свай в случаях, когда предусматривается только проветриваемое подполье и подполье, совмещенное с термосваями. Приведенный диаметр свай

$$d = \frac{4x0,3}{3,I4} = 0,382 \text{ м}.$$

Отношение ℓ / d =6,8/0,382 = I7,8. По номограмме рис.I определим значение α при m =0,5I и ℓ/d = I7,8: α =0,88. Подставляя найденные значения, а также значения температур согласно рис.7 в формулу (I), получим расчетные кривые изменения осадок свай (рис.8).

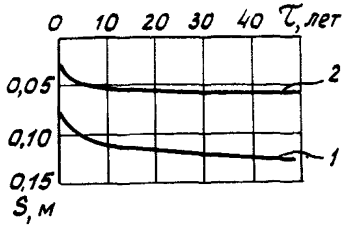
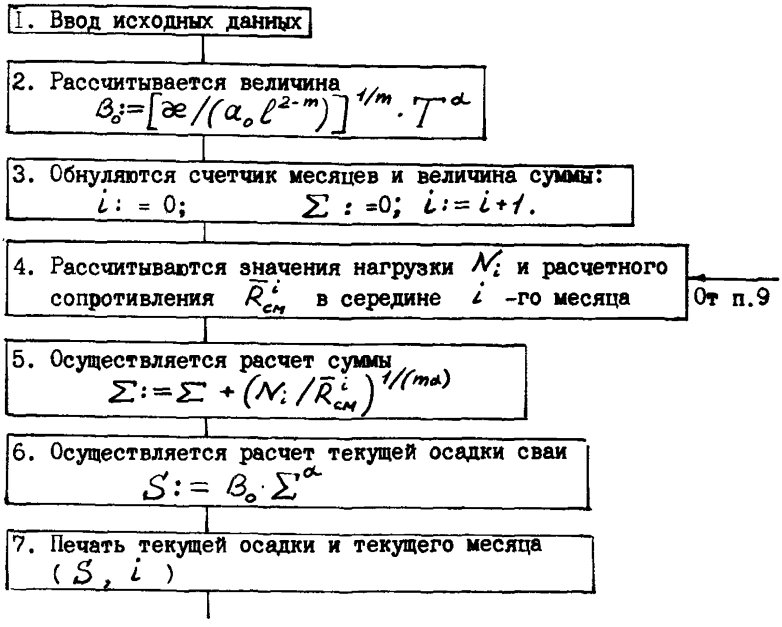


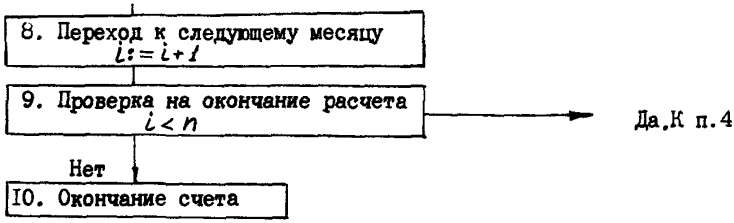
Рис.8. Развитие расчетной осадки сваи во времени: I- при наличии проветриваемого под - полья; 2- при наличии проветриваемого подполья, совмещенного с термосваями

Как видно, когда охлаждение осуществляется только с помощью проветриваемого подполья, осадки свай за 50 лет достигают I3 см, что превышает $S_{пр}$=8 см. В случае, когда проветриваемое подполье совмещено с термосваями, конечная осадка не достигает и 6 см. Таким образом, расчет осадок свай показал, что в условиях данного примера применение термосвай является весьма эффективным.

Приложение I. Блок-схема для расчета осадок сваи на ЭВМ

Расчет осадок свай по формуле (I) может выполняться на ЭВМ по следующему алгоритму.





Приложение 2. Определение $\tau_и$ и $\gamma_и$.

Значения интенсивностей касательных напряжений и деформаций сдвига определяются по следующим формулам:

$$\tau_и = \frac{1}{\sqrt{6}}\sqrt{(\sigma_x-\sigma_y)^2+(\sigma_x-\sigma_z)^2+(\sigma_y-\sigma_z)^2+6(\tau_{xy}^2+\tau_{xz}^2+\tau_{yz}^2)};$$

$$\gamma_и = \sqrt{\frac{2}{3}}\sqrt{(\varepsilon_x-\varepsilon_y)^2+(\varepsilon_x-\varepsilon_z)^2+(\varepsilon_y-\varepsilon_z)^2+\frac{3}{2}(\gamma_{xy}^2+\gamma_{xz}^2+\gamma_{yz}^2)},$$

где σ_x , σ_y , σ_z , τ_{xy} , τ_{xz} , τ_{yz} и ε_x , ε_y , ε_z , γ_{xy} , γ_{xz} , γ_{yz} - соответственно компоненты напряжений и деформаций в декартовой системе координат x , y , z .

Список литературы

I. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами, М., Наука, I970.

2. Makarov V.I. at all. Construction of multy-storey buildings on refrigerated piles in the city of Mirnyi. Int. Conf. on Permafrost (Third). Proc., Edmonton, Canada, I978, vol. I.

3.ГОСТ 24546-8I. Сваи. Методы полевых испытаний в вечномерзлых грунтах. М., Издательство стандартов, I98I.

4.Вялов С.С. и др. Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М., Наука, I966.

Содержание

I.Общие положения 3
2.Расчет осадок свай в пластичномерзлых грунтах 3
3.Определение расчетных характеристик 5
4.Технико-экономическая эффективность использования Рекомендаций 9
5.Примеры пользования Рекомендациями. . . . . IO
Приложение I. Блок-схема для расчета осадок сваи на ЭВМ . . I2
Приложение 2. Определение $\tau_и$ и $\gamma_и$ I3
Список литературы I3

Научно-исследовательский институт оснований и подземных сооружений имени Н.М.Герсеванова

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСАДОК СВАЙ В ПЛАСТИЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Отдел патентных исследований и научно-технической информации
Зав.отделом А.И.Юшин
Редактор Л.В.Пузанова

Л - I05509. Подп.к печати 25/X I983 г. . Заказ № 1175
Формат 60x90 1/16. Бумага офсетная. Набор машинописный
Уч.-изд. л 0,95 . Тираж 500 экз. Цена 20 коп.

Производственные экспериментальные мастерские ВНИИИС Госстроя СССР
I2I47I, Москва, Можайское шоссе, 25

gost.e-ecolog.ru