

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**

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

1. Общие положения

1.1. Настоящие Рекомендации составлены к главе СНиП П-18-76 "Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах" и предназначены для проектных и строительных организаций, осуществляющих проектирование и устройство свайных фундаментов на пластичномерзлых грунтах.

1.2. 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

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

$$S = \left(\frac{\alpha}{\alpha_0 \ell^{2-m}} \right)^{\frac{1}{m}} \left\{ T \sum_{i=1}^n \left[\frac{N_i}{\bar{R}_{cm}^i} \right]^{\frac{1}{m}} \right\}^m \quad (1)$$

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}_{cm}^i - соответственно расчетная вертикальная нагрузка, H , на сваю от здания (сооружения) и средневзвешенное по длине сваи значение, Pa , расчетного сопротивления мерзлых грунтов сдвигу по боковой поверхности сваи (п.2.3) в середине i -го месяца с начала загрузки сваи;

$m; d; \alpha_0; \alpha$ - осредненные значения реологических характеристик деформируемости мерзлого грунта (раздел 3 настоящих Рекомендаций), представляющих собой параметры степенного уравнения ползучести;

α - коэффициент, определяемый по номограмме рис.1 в зависимости от значения m и отношения длины сваи ℓ к ее приведенному диаметру d , см (п.2.4).

2.2. Расчет осадок свай по формуле (1) осуществляется вручную или на ЭВМ согласно блок-схеме, приводимой в прил.1.

2.3. Значения \bar{R}_{cm}^i рассчитываются по формуле:

$$\bar{R}_{cm}^i = \frac{1}{\ell} \sum_{j=1}^M \ell_j R_{cm}^{ij} \quad (2)$$

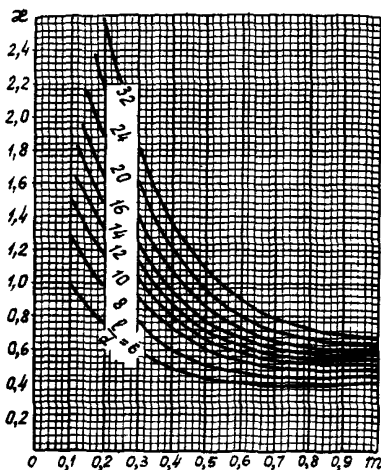


Рис. I Номограмма для определения параметра α

где M - число однородных слоев грунта вдоль рабочей длины сваи;
 l_j - мощность j -го слоя;
 $R_{сн}^{i,j}$ - 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 загрузки сваи (п.2.5).

2.4. Приведенный диаметр d сваи рассчитывается по формуле

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

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 [1] 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-18-76. При этом значение t_1 рассчитывается без учета влияния подполья при $t'_0 = t_0$, где t_0 - температура вечномерзлого грунта, °С, на глубине 10 м (см. п.4.10 главы СНиП П-18-76);

t'_0 - среднегодовая температура вечномерзлого грунта, °С, на его верхней поверхности, устанавливающаяся при эксплуатации зданий и сооружений (см.п.4.11 главы СНиП П-18-76).

3. 0 п р е д е л е н и е р а с ч е т н ы х х а р а к т е р и с т и к

3.1. Реологические характеристики деформируемости мерзлого грунта m , d , a_0 следует определять на основании данных полевых испытаний свай статическими осевыми ступенчато-возрастающими вдавливающими нагрузками [3] по методике, изложенной в Рекомендациях (ш. 3.2-3.10).

П р и м е ч а н и я: 1. 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 R^H основания сваи статической нагрузке [3].

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

$$S^c = S - S_0,$$

где S_0 - мгновенная осадка сваи, возникающая в момент приложения внешней нагрузки.

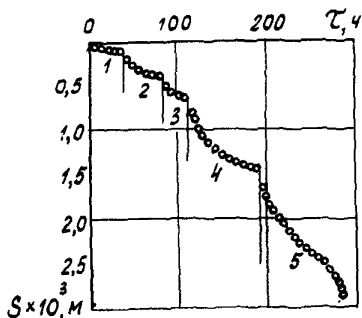


Рис.2 Результаты полевого испытания сваи вдавливающими ступенчато-возрастающими нагрузками, равными: 1- $3 \times 10^5 \text{ Н}$; 2- $4 \times 10^5 \text{ Н}$; 3- $5 \times 10^5 \text{ Н}$; 4- $6 \times 10^5 \text{ Н}$; 5- $7 \times 10^5 \text{ Н}$

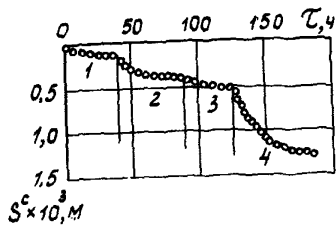


Рис.3 Развитие осадки ползучести сваи во времени. Обозначения те же, что и на рис.2

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

$$v_s = \frac{\Delta S}{\Delta \tau} = \frac{S_k - S_{k-1}}{\tau_k - \tau_{k-1}}, \quad (4)$$

где S_{k-1} , S_k - значения осадок сваи по результатам испытаний в моменты времени τ_{k-1} , τ_k .

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

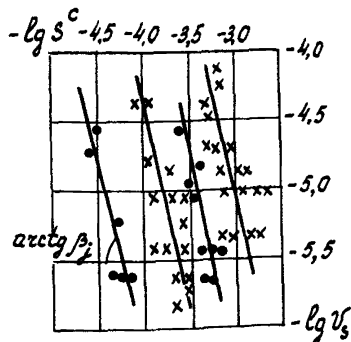
$$Y = -\beta X + \delta, \quad (5)$$

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 :

$$\beta = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L \beta_j, \quad (6)$$

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.

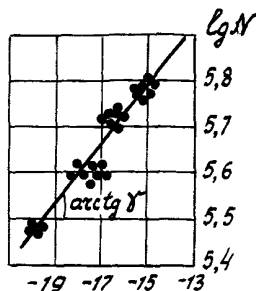
3.7. Рассчитывается значение параметра α :

$$\alpha = \frac{1}{\beta + 1} \quad (7)$$

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

$$Y = \gamma X + \omega, \quad (8)$$

Рис.5 Результаты испытания сваи в обобщенных логарифмических координатах



где $X = \lg(v_s S^c \frac{1-\alpha}{\alpha})$, $Y = \lg N$. 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 :

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

3.10. Рассчитывается значение параметра α_0 :

$$\alpha_0 = \frac{10^{\omega} \cdot d^{m\alpha} \cdot \alpha}{\bar{R}_{cm} l_{on}^{2-m}}, \quad (10)$$

где α - определяется по номограмме рис. I в зависимости от значения m и отношения l_{on}/d_{on} , где l_{on} - длина части опытной сваи, м, находящейся в мерзлом грунте во время испытания; d_{on} - приведенный диаметр опытной сваи, м (п.2.4);

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

3.11. Для предварительных расчетов при наличии однородных оснований характеристики m , d , α_0 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 α_0 , m , d

| Грунты | $\alpha_0, \tau^{m\alpha}$ | m | d |
|-----------|----------------------------|------|------|
| Песчаные | 3,5 | 0,32 | 0,31 |
| Глинистые | 8,3 | 0,55 | 0,50 |

3.12. При определении характеристик m , d , α_0 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 $\gamma_n - \tau$ (рис.6), где γ_n - интенсивность деформаций сдвига, τ - время, ч. Каждая кривая ползучести соответствует своему значению интенсивности касательных напряжений τ_n , Па. Выражения для γ_n и τ_n приведены в прил.2.

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

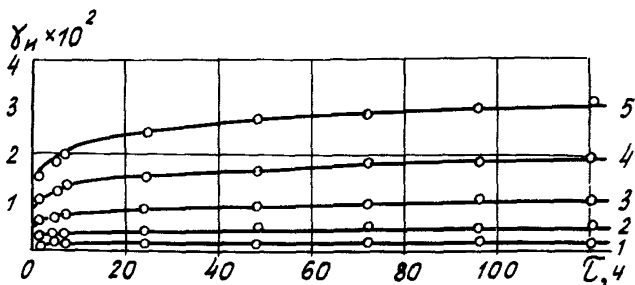


Рис.6 Зависимость интенсивности деформаций сдвига от времени при различных значениях интенсивности касательных напряжений, равных, Па:

1- $0,25 \times 10^6$; 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 τ_n не превышает предела длительной прочности [4]. В процессе обработки определяются параметры m ; α ; α , Па. ч^{m α} , степенного уравнения ползучести

$$\gamma_n = \left(\frac{\tau_n}{\alpha} \right)^{\frac{1}{m}} \tau^\alpha. \quad (II)$$

3.15. Параметр α_0 рассчитывается по формуле:

$$\alpha_0 = \frac{\alpha}{R_{cm}}, \quad (I2)$$

где R_{cm} - расчетное сопротивление мерзлого грунта сдвигу по боковой поверхности свай, 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

5.1. 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°C. 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 $P'' = 6 \times 10^5 \text{ Н}$. 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: $\beta_1 = 3,26$; $\beta_2 = 3,14$; $\beta_3 = 3,93$; $\beta_4 = 3,27$. Среднее значение β , согласно полученным данным, равно $\beta = 3,4$. Тогда

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

Далее опытные точки наносим на график (см.рис.5) в координатах $\lg N - \lg(V_s S^c)$ и спрямляем их методом наименьших квадратов. В результате получим [см.формулу (8)] $\gamma = 0,0651$, $\omega = 6,78$. В таком случае

$$m = 0,0651 / 0,227 = 0,287.$$

Рассчитываем значение $\bar{R}_{сн}$ при температуре испытания, равной -0,7°C. Поскольку основание в данном случае однородно и сложено песчаным грунтом, по табл.3 прил. 6 главы СНиП П-18-76 находим $\bar{R}_{сн} = R_{сн} = 1,0 \frac{\text{кг}}{\text{см}^2} = 10^5 \text{ Па}$.

Определим приведенный диаметр опытной сваи

$$d_{он} = \frac{4 \times 0,4}{3,14} = 0,509 \text{ м}.$$

Длина опытной сваи по условию равна $L_{он} = 5,5 \text{ м}$. В таком случае

$$L_{он} / d_{он} = 10,8. \text{ По номограмме рис.1 при } L/d = 10,8 \text{ и } m =$$

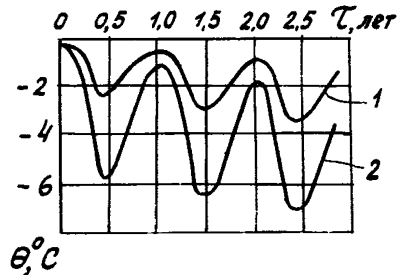
$=0,287$ находим значение $\alpha = 0,96$, после чего определим значение α_0 с использованием формулы (10):

$$\alpha_0 = \frac{10^{6,78} \cdot 0,227^{0,0651} \cdot 0,96}{10^5 \cdot 5,52^{-0,287}} = 2,84 \text{ } \mu\text{m}^2.$$

Итак, окончательно имеем: $m = 0,287$; $\alpha = 0,227$; $\alpha_0 = 2,84 \text{ } \mu\text{m}^2$.

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: 1- при наличии проветриваемого подполья; 2- при наличии проветриваемого подполья, совмещенного с термосваями



Сваи сечением 30x30 см погружены в вечномерзлый грунт на глубину 6,8 м. В основании залегают глинистые грунты. Расчетные характеристики грунтов следующие: $m = 0,51$; $\alpha = 0,50$; $\alpha_0 = 14,7 \text{ } \mu\text{m}^2$. На сваи действует постоянная нагрузка $N = 3,03 \times 10^5$. Предельно допустимая величина совместной деформации основания и здания равна $S_{np} = 8$ см.

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

$$d = \frac{4 \times 0,3}{3,14} = 0,382 \text{ м.}$$

Отношение $l/d = 6,8/0,382 = 17,8$. По номограмме рис.1 определим значение α при $m = 0,51$ и $l/d = 17,8$: $\alpha = 0,88$. Подставляя найденные значения, а также значения температур согласно рис.7 в формулу (1), получим расчетные кривые изменения осадок свай (рис.8).

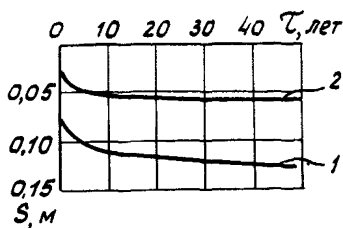


Рис.8. Развитие расчетной осадки сваи во времени: 1- при наличии проветриваемого подполья; 2- при наличии проветриваемого подполья, совмещенного с термосваями

Как видно, когда охлаждение осуществляется только с помощью проветриваемого подполья, осадки сваи за 50 лет достигают 13 см, что превышает $S_{np} = 8$ см. В случае, когда проветриваемое подполье совмещено с термосваями, конечная осадка не достигает и 6 см. Таким образом, расчет осадок сваи показал, что в условиях данного примера применение термосвай является весьма эффективным.

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

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

1. Ввод исходных данных

2. Рассчитывается величина $B_0 = [\alpha / (\alpha_0 l^{2-m})]^{1/m} \cdot T^\alpha$

3. Обнуляются счетчик месяцев и величина суммы:
 $i := 0; \quad \Sigma := 0; \quad i := i + 1.$

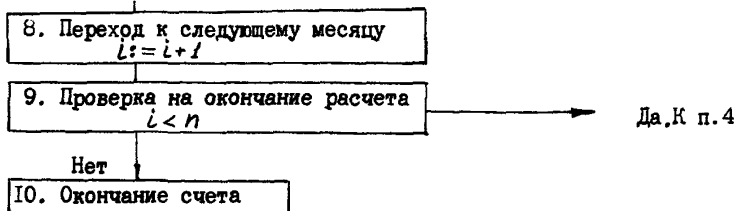
4. Рассчитываются значения нагрузки N_i и расчетного сопротивления \bar{R}_{cm}^i в середине i -го месяца

← От п.9

5. Осуществляется расчет суммы $\Sigma := \Sigma + (N_i / \bar{R}_{cm}^i)^{1/(m\alpha)}$

6. Осуществляется расчет текущей осадки сваи $S := B_0 \cdot \Sigma^\alpha$

7. Печать текущей осадки и текущего месяца (S, i)



Приложение 2. Определение $\tau_{и}$ и $\gamma_{и}$.

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

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

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

где $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yz}$ и $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \delta_{xy}, \delta_{xz}, \delta_{yz}$ - соответственно компоненты напряжений и деформаций в декартовой системе координат x, y, z .

Список литературы

1. Порхаев Г.В. Тепловое взаимодействие зданий и сооружений с вечномерзлыми грунтами, М., Наука, 1970.
2. Makarov V.I. et al. Construction of multi-storey buildings on refrigerated piles in the city of Mirnyi. Int. Conf. on Permafrost (Third). Proc., Edmonton, Canada, 1978, vol. I.
3. ГОСТ 24546-81. Сваи. Методы полевых испытаний в вечномерзлых грунтах. М., Издательство стандартов, 1981.
4. Вялов С.С. и др. Методика определения характеристик ползучести, длительной прочности и сжимаемости мерзлых грунтов. М., Наука, 1966.

Содержание

| | |
|---|----|
| 1. Общие положения | 3 |
| 2. Расчет осадок свай в пластичномерзлых грунтах | 3 |
| 3. Определение расчетных характеристик | 5 |
| 4. Техничко-экономическая эффективность использования Рекомен- даций | 9 |
| 5. Примеры пользования Рекомендациями | 10 |
| Приложение 1. Блок-схема для расчета осадок свай на ЭВМ | 12 |
| Приложение 2. Определение $\tau_{и}$ и $\chi_{и}$ | 13 |
| Список литературы | 13 |

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

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАСЧЕТУ ОСАДОК СВАЙ В ПЛАСТИЧНОМЕРЗЛЫХ ГРУНТАХ

Отдел патентных исследований и научно-технической информации

Зав.отделом А.И.Кшин

Редактор Л.В.Пузанова

Л - 105509. Подп.к печати 25/Х 1983 г. . Заказ № 1175
Формат 60x90¹/₁₆. Бумага офсетная. Набор машинописный
Уч.-изд. л 0,95 . Тираж 500 экз. Цена 20 коп.

Производственные экспериментальные мастерские ВНИИИС Госстроя СССР
121471, Москва, Можайское шоссе, 25