

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  $\ell$  - 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;

$\alpha$  - коэффициент, определяемый по номограмме рис.1 в зависимости от значения  $m$  и отношения длины сваи  $\ell$  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:

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

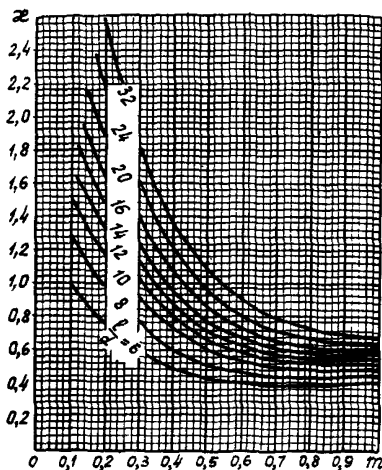


Рис. I Номограмма для определения параметра  $\alpha$

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.

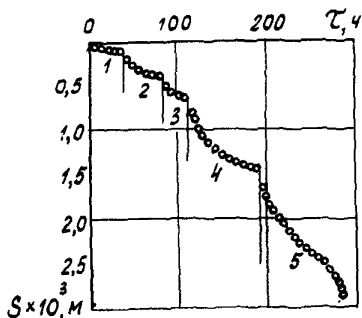


Рис.2 Результаты полевого испытания сваи вдавливающими ступенчато-возрастающими нагрузками, равными: 1-  $3 \times 10^5 \text{Н}$ ; 2-  $4 \times 10^5 \text{Н}$ ; 3-  $5 \times 10^5 \text{Н}$ ; 4-  $6 \times 10^5 \text{Н}$ ; 5-  $7 \times 10^5 \text{Н}$

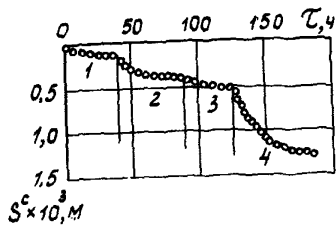


Рис.3 Развитие осадки ползучести сваи во времени. Обозначения те же, что и на рис.2

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  $\tau_{k-1}$ ,  $\tau_k$ .

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  $\beta$  уравнения линейной регрессии

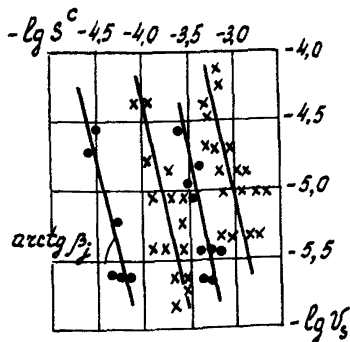
$$Y = -\beta X + \delta, \quad (5)$$

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

3.6. Определяется среднее значение  $\beta$ :

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

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;  
 $\beta_j$  - значение коэффициента  $\beta$  на  $j$ -й ступени.

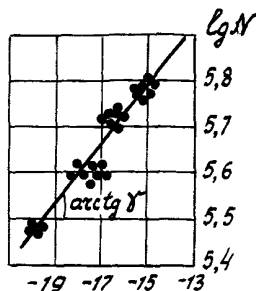
3.7. Рассчитывается значение параметра  $\alpha$  :

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

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  $\gamma$  и  $\omega$  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  $\gamma$  представляет собой тангенс угла наклона опытной прямой к оси абсцисс, а  $\omega$  - 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  $\alpha_0$  :

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

где  $\alpha$  - 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  $m$ ,  $d$ ,  $\alpha_0$  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  $\alpha_0$ ,  $m$ ,  $d$

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  $m$ ,  $d$ ,  $\alpha_0$  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  $\gamma_n$  - интенсивность деформаций сдвига,  $\tau$  - время, ч. Каждая кривая ползучести соответствует своему значению интенсивности касательных напряжений  $\tau_n$ , Па. Выражения для  $\gamma_n$  и  $\tau_n$  приведены в прил.2.

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



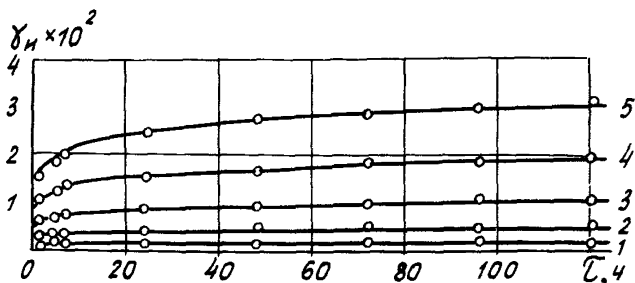


Рис.6 Зависимость интенсивности деформаций сдвига от времени при различных значениях интенсивности касательных напряжений, равных, Па:

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  $\tau_n$  не превышает предела длительной прочности [4]. В процессе обработки определяются параметры  $m$ ;  $\alpha$ ;  $\alpha$ , Па. ч<sup>m</sup>, степенного уравнения ползучести

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

3.15. Параметр  $\alpha_0$  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  $m$ ,  $\alpha$ ,  $\alpha_0$  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  $\dot{v}_s$ , после чего опытные точки наносим на график в координатах  $\lg \dot{v}_s - \lg S^c$  (см.рис.4). Методом наименьших квадратов спрямляем опытные данные на каждой ступени и определяем значения параметра  $\beta$ . Эти значения оказались следующими:  $\beta_1 = 3,26$ ;  $\beta_2 = 3,14$ ;  $\beta_3 = 3,93$ ;  $\beta_4 = 3,27$ . Среднее значение  $\beta$ , согласно полученным данным, равно  $\bar{\beta} = 3,4$ . Тогда

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

Далее опытные точки наносим на график (см.рис.5) в координатах  $\lg N - \lg(\dot{v}_s S^c \frac{1}{\alpha})$  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

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

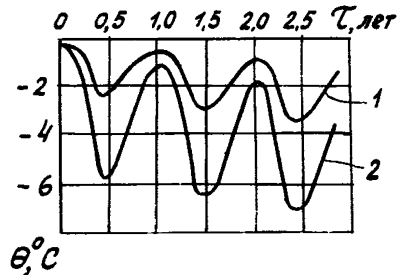
$=0,287$  находим значение  $\alpha = 0,96$ , после чего определим значение  $\alpha_0$  с использованием формулы (10):

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

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  $\alpha$  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).

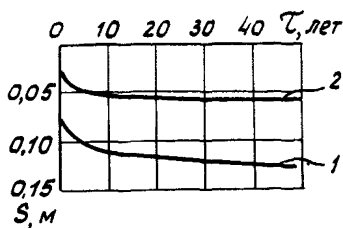


Рис.8. Развитие расчетной осадки сваи во времени: 1- при наличии проветриваемого подполья; 2- при наличии проветриваемого подполья, совмещенного с термосваями

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:  
 $i := 0; \quad \Sigma := 0; \quad i := i + 1.$

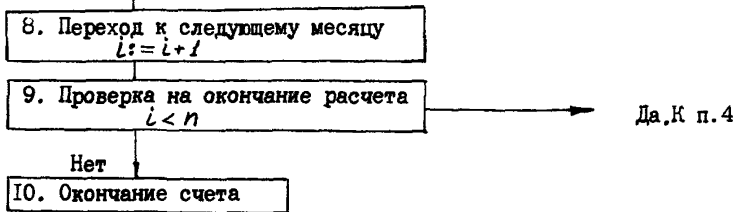
4. Рассчитываются значения нагрузки  $N_i$  и расчетного сопротивления  $\bar{R}_{cm}^i$  в середине  $i$ -го месяца

← 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 60x90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. 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