МИНИСТЕРСТВО МОРСКОГО ФЛОТА

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СВАЙ И СВАЙ-ОБОЛОЧЕК НА ДИНАМИЧЕСКИЕ УСИЛИЯ ПРИ ИХ ПОГРУЖЕНИИ

РТМ 31.3017—78

Срок введения в действие с 1 января 1980 г.

МОСКВА·ЦРИА «МОРФЛОТ»
1980

[illegible]

Методика расчета предварительно напряженных свай и свай-оболочек на динамические усилия при их погружении. РТМ 31.3017—78. М., ЦРИА «Морфлот», 1980, 44 с.

ИСПОЛНИТЕЛИ:

Ленинградский филиал «Ленморниипроект» Государственного проектно-изыскательского и научно-исследовательского института морского транспорта (Союзморниипроект)

канд. техн. наук, ст. науч. сотр. *А. А. Долинский*

Одесский институт инженеров морского флота

канд. техн. наук, доцент *Ю. И. Васильевский*

СОГЛАСОВАН:

Управлением развития капитального строительства портов и СРЗ ММФ (УРиКС)

главный инженер *М. Г. Тетенко*

Государственным проектно-изыскательским и научно-исследовательским институтом морского транспорта (Союзморниипроект)

главный инженер *А. А. Ларин*

УТВЕРЖДЕН:

20 декабря 1978 г. и введен в действие директивным письмом НТУ ММФ от 22 декабря 1978 г. НТУ-3-49/1770.

УДК 624.155:624.012.36.001.2 Группа ЖО2

РУКОВОДЯЩИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

Методика расчета предварительно напряженных свай и свай-оболочек на динамические усилия при их погружении

РТМ 31.3017—78

Введен впервые

Директивным письмом НТУ ММФ от 22 декабря 1978 г. № НТУ-3-49/1770 срок введения установлен с 1 января 1980 г.

Настоящий РТМ устанавливает требования к расчету предварительно напряженных свай и свай-оболочек на воздействие динамических усилий, возникающих при погружении свай забивкой и свай-оболочек вибрированием, и содержит указания, направленные на обеспечение их трещиностойкости и прочности.

РТМ распространяется на проектирование и строительство оснований портовых гидротехнических сооружений из предварительно напряженных свай и свай-оболочек, изготавливаемых из гидротехнического бетона со стержневой арматурой.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Предварительное напряжение в сваях и сваях-оболочках необходимо применять в целях повышения динамической прочности, трещиностойкости и долговечности бетона, а также снижения материалоемкости и стоимости конструкций.

1.2. Для свай, погружаемых в грунт забивкой, и свай-оболочек, погружаемых вибрированием, следует принимать проектную марку бетона по прочности на сжатие не менее М400, а когда эксплуатационные качества свай и свай-оболочек определяются работой растянутой зоны бетона, следует назначать проектную марку на растяжение, величина которой должна быть не менее Р25.

1.3. Сваи-оболочки и сваи должны изготавливаться в соответствии с типовыми проектами серий 3.504-5, 3.504-6, 3.504-10, а бетон — удовлетворять требованиям ГОСТ 4795—68.

1.4. Прочность бетона свай и свай-оболочек к моменту погружения должна быть не менее проектной.

2. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.1. Предварительно напряженные сваи и сваи-оболочки должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности

(предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы).

2.2. Расчет по предельным состояниям свай и свай-оболочек должен производиться в соответствии с требованиями главы СНиП II-56—77 по проектированию бетонных и железобетонных конструкций гидротехнических сооружений.

2.3. При расчете свай и свай-оболочек на усилия, возникающие при их подъеме, транспортировании и монтаже, нагрузку от собственного веса элемента следует вводить в расчет с коэффициентом динамичности, равным 1,3, при этом коэффициент перегрузки к собственному весу принимается равным единице.

При надлежащем обосновании коэффициент динамичности может приниматься до 1,5 включительно.

2.4. В расчетах свай и свай-оболочек необходимо учитывать коэффициенты надежности $k_н$ и сочетания нагрузок n_c, значения которых следует принимать в соответствии с требованиями главы СНиП II-50—74 по проектированию речных гидротехнических сооружений.

2.5. Напряжения в бетоне и арматуре свай и свай-оболочек следует вычислять как для упругого тела от действия внешних сил и усилия предварительного обжатия N_0.

2.6. Динамические усилия, возникающие при погружении свай и свай-оболочек, не должны превышать величин, при которых создаются условия для образования в бетоне продольных или поперечных трещин или происходит разрушение бетона от сжимающих, а разрыв продольной арматуры от растягивающих усилий.

2.7. Сваи-оболочки, погружаемые вибрированием, следует проверять расчетом на выносливость в соответствии с требованиями главы СНиП II-56—77.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ И БЕТОНЕ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ И СВАЙ-ОБОЛОЧЕК

3.1. Предельную величину предварительного напряжения σ_0 в арматуре следует назначать с учетом допустимых отклонений величины предварительного напряжения таким образом, чтобы выполнялось условие

$$0{,}30R_а^н \leqslant \sigma_0 \leqslant 0{,}95R_а^н. \qquad (1)$$

3.2. Величина напряжения σ_k в напрягаемой арматуре, контролируемая по окончании натяжения на упоры, определяется по формуле

$$\sigma_k = \sigma_0 - \frac{\lambda}{l_а} E_а, \qquad (2)$$

где λ — обжатие опрессованных шайб, смятие высаженных головок и т. п., принимаемое в соответствии с требованиями

главы СНиП II-21—75 по проектированию бетонных и железобетонных конструкций;

$l_а$ — длина натягиваемого стержня (расстояние между наружными гранями упоров формы или стенда), мм.

3.3 .При расчете предварительно напряженных свай и свай-оболочек следует учитывать потери предварительного напряжения арматуры, проявляющиеся в период изготовления элементов (первые потери) и в период их хранения и эксплуатации (вторые потери).

Величину потерь предварительного напряжения при натяжении арматуры на упоры следует определять в соответствии с главой СНиП II-21—75.

3.4. Напряжение, действующее в напряженной арматуре к моменту погружения свай или свай-оболочек, определяют по формуле

$$\sigma_н = \left(1 - \frac{n\mu}{1+n\mu}\right)(\sigma_k - \Delta\sigma_0), \qquad (3)$$

где μ — коэффициент армирования, равный отношению площадей поперечного сечения напряженной арматуры $F_н$ и бетона $F_б$;

n — коэффициент приведения, равный отношению модулей упругости арматуры $E_а$ и бетона $E_б$, определяемых по таблицам главы СНиП II-56—77;

$\Delta\sigma_0$ — потери предварительного напряжения арматуры, определяемые в соответствии с требованиями главы СНиП II-21—75.

3.5. Сжимающее напряжение в бетоне $\sigma_{б.н}$ к моменту погружения определяют по формуле

$$\sigma_{б.н} = \frac{\mu}{1+n\mu}(\sigma_k - \Delta\sigma_0). \qquad (4)$$

3.6. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия не должны превышать величин (в долях от передаточной прочности бетона R_0), указанных в главе СНиП II-21—75, а для свай, погружаемых в грунт забивкой, степень обжатия бетона не должна превышать 0,4.

4. УСЛОВИЯ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЙ, ПОГРУЖАЕМЫХ ЗАБИВКОЙ

4.1. Сжимающие динамические напряжения в бетоне забивных свай не должны превышать величин, определяемых условиями:

продольной трещиностойкости —

$$k_н n_с \sigma_{с.д} \leqslant m_{св} m_{гр} R^{н}_{пр} - \sigma_{б.н}; \qquad (5)$$

прочности по сжатому бетону —

$$k_н n_с \sigma^{с}_{с.д} \leqslant m R_{пр} - \sigma_{б.н}, \qquad (6)$$

где $\sigma_{с.д}$ — сжимающие динамические напряжения в бетоне головной части сваи; определяются в соответствии с п. 5.1;

$\sigma^{с}_{с.д}$ — сжимающие динамические напряжения в бетоне средней и нижней частей сваи; определяются в соответствии с п. 5.8;

$R_{пр}$, $R^{н}_{пр}$ — соответственно расчетное и нормативное значения призменной прочности бетона, принимаемые в соответствии с требованиями главы СНиП II-56—77;

$\sigma_{б.н}$ — сжимающее напряжение (эффективное обжатие), определяемое по формуле (4);

$m_{св}$ — коэффициент условий работы сваи по продольной трещиностойкости; принимается в соответствии с указаниями п. 4.2;

$m_{гр}$ — коэффициент условий погружения, учитывающий характер и количество циклов динамического загружения бетона; принимается в соответствии с указаниями п. 4.3;

m — коэффициент условий работы по прочности бетона при сжатии, принимаемый равным 1,5.

4.2. Коэффициент $m_{св}$ в зависимости от условий работы свай принимается равным:

для особо суровых условий (северные и дальневосточные моря) — 1,10;

для суровых условий (северо-западная часть Черного моря, Азовское, Каспийское и Аральское моря) — 1,15;

для умеренных условий (Черное и Балтийское моря) — 1,20;

для благоприятных условий (пресная вода, отсутствие приливно-отливных колебаний, умеренные температурные условия) — 1,25.

4.3. Коэффициент $m_{гр}$ в зависимости от плотности грунтов принимается равным:

для слабых грунтов — 0,90;

для грунтов средней плотности — 0,85;

для плотных грунтов — 0,80.

4.4. Максимальное продольное динамическое растягивающее усилие в свае не должно превышать величины, определяемой условиями:

образования поперечных трещин —

$$k_н n_с N_{р.д} - N_о \leqslant (m_{св} F_б + 3nF_а) R_{рII}; \qquad (7)$$

разрыва продольной арматуры —

$$k_н n_c N_{р.д} \leqslant (R_а F_а + R_{а.н} F_н), \qquad (8)$$

где $N_{р.д}$ — максимальное продольное динамическое растягивающее усилие, определяемое в соответствии с п. 5.13;

$N_о$ — равнодействующая сил обжатия;

$F_б$ — площадь поперечного сечения бетона;

$R_{рII}$ — расчетное сопротивление бетона при растяжении для второй группы предельных состояний;

$F_а$ — площадь поперечного сечения продольной ненапрягаемой арматуры;

$F_н$ — площадь поперечного сечения продольной напрягаемой арматуры;

$R_а$, $R_{а.н}$ — расчетные сопротивления соответственно ненапрягаемой и напрягаемой арматуры;

$k_н$, n_c — соответственно коэффициенты надежности и сочетания нагрузок, принимаемые согласно требованиям главы СНиП II-50—74;

$m'_{св}$ — коэффициент условия работы по поперечной трещиностойкости, равный 1,95 при отсутствии растягивающих напряжений в свае в период эксплуатации и 1,80 в случае, если растягивающие напряжения в бетоне сваи имеются.

5. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ И УСИЛИЙ В ПРИЗМАТИЧЕСКИХ СВАЯХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИХ ЗАБИВКЕ

5.1. Величина максимальных динамических сжимающих напряжений в бетоне при проверке на продольную трещиностойкость $\sigma_{с.д}$ принимается равной

$$\sigma_{с.д} = \alpha k_{вн} \frac{v_{о.}}{a} E_{б.д}, \qquad (9)$$

где $E_{б.д}$ — динамический модуль упругости бетона, принимаемый в соответствии с указаниями п. 5.2;

$v_{о.}$ — расчетная скорость соударения молота со сваей, определяемая в соответствии с п. 5.3;

a — скорость распространения упругой волны (звука) в материале сваи, определяемая в соответствии с п. 5.4;

$k_{вн}$ — коэффициент внецентренности удара; принимается в соответствии с указаниями п. 5.5;

α — коэффициент, зависящий от обобщенной характеристики системы «молот—прокладка—свая»; определяется в соответствии с указаниями п. 5.6.

5.2. Динамический модуль упругости бетона принимается на 20% выше начального модуля упругости бетона при статическом загружении.

5.3. Расчетная скорость соударения молота со сваей определяется с учетом влияния веса наголовника и тормозящих движение сил трения для молота свободного падения

$$v_0 = k_v \frac{Q}{Q + Q_н} \sqrt{2gH}, \qquad (10)$$

где H — высота подъема молота;
g — ускорение свободного падения;
Q — вес ударной части молота;
$Q_н$ — вес наголовника;
k_v — коэффициент снижения скорости удара за счет сил, тормозящих движение молота. Значение его принимается по опытным данным. При отсутствии опытных данных коэффициент допускается вычислять по формуле

$$k_v = \sqrt{k_1 + \cos\varphi - k_2 \sin\varphi - 1}, \qquad (11)$$

где φ — угол наклона сваи к вертикали;
k_1 — коэффициент, принимаемый равным:
для паровоздушных молотов простого действия — 0,7;
для молотов двойного действия и дизель-молотов — 0,9;
k_2 — коэффициент, принимаемый равным:
для паровоздушных молотов простого действия — 0,3;
для молотов двойного действия и дизель-молотов — 0,1.

5.4. Скорость распространения упругой волны в железобетонной свае определяется по формуле

$$a = \sqrt{\frac{(1 + n\mu) E_{б.д} g}{\gamma_{св}}}, \qquad (12)$$

где $\gamma_{св}$ — объемный вес железобетона сваи.

5.5. При использовании обычных Н-образных наголовников коэффициент внецентренности удара следует принимать равным 1,25, а при использовании сферических (центрирующих) наголовников — 1,10.

5.6. Коэффициент α определяется по графику (рис. 1) в зависимости от обобщенной характеристики системы «молот—прокладка—свая» ψ

$$\psi = 4 \frac{q}{Q} \eta \delta, \qquad (13)$$

где q — вес 1 м длины сваи;

δ — толщина прокладки;

η — отношение динамических модулей упругости материалов сваи $E_{св}$ и прокладки $E_п$:

$$E_{св} = (1 + n\mu)\, E_{б.д}. \qquad (14)$$

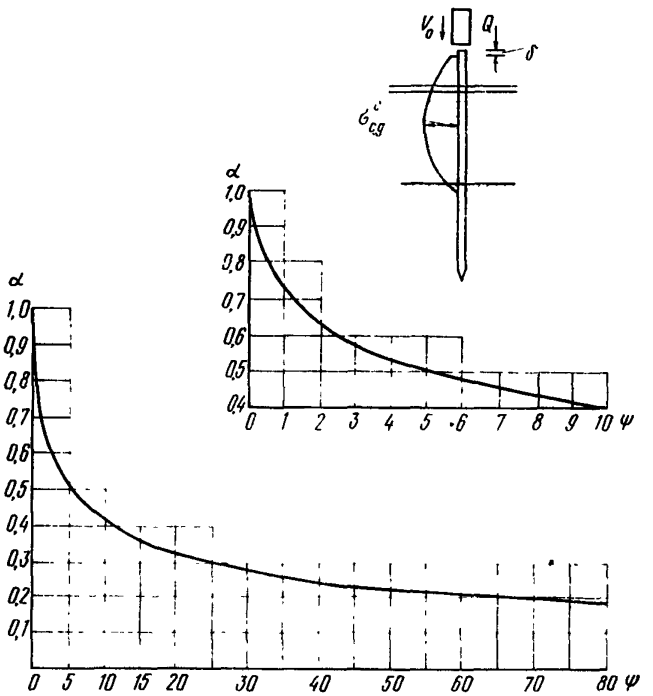

Рис. 1. График $\alpha = f(\psi)$

5.7. Динамический модуль упругости материала прокладки принимается в соответствии с ожидаемым уровнем динамических сжимающих напряжений:

$$E_п = k_п\, \sigma^o_{с.д}, \qquad (15)$$

где $\sigma^o_{с.д}$ — ожидаемый уровень динамических сжимающих напряжений в бетоне головной части сваи;

$k_п$ — коэффициент пропорциональности, принимаемый по таблице.

Коэффициент пропорциональности $k_п$ для железобетонных свай

Материал прокладки	Коэффициент пропорциональности $k_п$ при количестве ударов	
	25	2000—4000
Техническая теплостойкая резина (пластина) (ГОСТ 7338—77)	4,7—5,2	4,7—5,2
Войлок технический грубошерстный (ГОСТ 6418—67)	6,4	14,0
Асбест шнуровой (ГОСТ 1779—72)	9,6—10,0	10,0—10,6
Пеньковый бельный канат (ГОСТ 483—75)	10,0—10,5	14,4—16,7
Сухая древесина (при деформации поперек волокон)	4,8—12,4	17,0—52,0
Мешковина	8,0	12,0—15,7

Примечание. Ожидаемый уровень динамических напряжений при выборе безопасного режима погружения принимается равным допустимой величине динамических сжимающих напряжений, определяемых по формуле (9) п. 4.1 РТМ.

5.8. Проверка на прочность при сжатии производится только при условии, когда $\beta+\xi_1>1$.

Величина максимальных динамических сжимающих напряжений в бетоне $\sigma^c_{с.д}$ определяется по формулам:

при $v_{max} \leqslant v^*$

$$\sigma^c_{с.д} = \frac{2(\beta+\xi_1)}{1+\beta+\xi_1} 0{,}9\sigma_{с.д} e^{-\gamma l}; \qquad (16)$$

при $v_{max} > v^*$

$$\sigma^c_{с.д} = \frac{v_0}{a} E_{б.д} \left[\alpha + \frac{\xi_2-1}{1+\xi_2} \left(\alpha - \frac{\beta+\xi_1-\xi_2}{1-\xi_2} \cdot \frac{v^*}{v_0} \right) \right] e^{-\chi l}, \qquad (17)$$

где l — длина сваи;

χ — коэффициент, характеризующий потери энергии ударной волны при прохождении вдоль сваи (1/м), принимаемый равным 0,01;

v_{max} — максимальная скорость движения острия сваи в упругой фазе деформации грунта; определяется в соответствии с п. 5.9;

v^* — скорость перехода из упругой фазы движения острия сваи в пластическую; определяется в соответствии с п. 5.10;

β — отношение акустических сопротивлений грунта и материала сваи; определяется в соответствии с п. 5.11;

ξ_1, ξ_2 — относительные величины коэффициентов вязкости грунта в упругой и пластической фазе движения сваи; определяются в соответствии с п. 5.12.

5.9. Максимальная скорость движения острия сваи v_{max} в упругой фазе деформации грунта определяется по формуле

$$v_{max} = \frac{2a}{1+\beta+\xi_1} v_0 e^{-\gamma l}. \quad (18)$$

5.10. Скорость v^* определяется по формуле

$$v^* = a \frac{R^н F + k' u \Sigma f_i^н l_i - ql}{\beta E_{св} F}, \quad (19)$$

где F — площадь опирания на грунт сваи;

$R^н$ — нормативное сопротивление грунта под нижним концом сваи, принимаемое в соответствии с требованиями главы СНиП П-17—77 по проектированию свайных фундаментов;

$f_i^н$ — нормативное сопротивление i-го слоя грунта основания на боковой поверхности, принимаемое в соответствии с требованиями главы СНиП II-17—77;

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

u — периметр поперечного сечения сваи;

k' — коэффициент снижения бокового сопротивления при погружении сваи; принимается равным 0,05—0,06 при непрерывном процессе забивки и 1,00 при возобновлении забивки после длительного перерыва.

5.11. Коэффициент β вычисляется по формулам:

при известных динамических характеристиках грунта (на уровне острия сваи) —

$$\beta = \frac{E_{гр} a}{E_{св} a_{гр}} = \frac{a_{гр} \gamma_{гр}}{a \gamma_{св}}; \quad (20)$$

при отсутствии данных о динамических характеристиках грунта —

$$\beta = \frac{1425}{a \gamma_{св}} \gamma_{гр}^{2,25}, \quad (21)$$

где $E_{гр}$ — динамический модуль упругости грунта, тс/м^2;

$a_{гр}$ — скорость распространения звука в грунте, м/с;

$\gamma_{гр}$ — объемный вес водонасыщенного грунта, тс/м^3;

$\gamma_{св}$ — объемный вес материала сваи, тс/м^3.

5.12. Коэффициенты ξ_1 и ξ_2 определяются по формулам:

$$\xi_1 = \frac{k_1 a}{E_{св} F}; \quad \xi_2 = \frac{k_2 a}{E_{св} F}, \quad (22)$$

где k_1 — коэффициент вязкости грунта в упругой фазе движения сваи, тс·с/м, определяемый по формуле

$$k_1 = l (R^н F + \frac{1}{3} k' u \Sigma f_i^н l_i), \quad (23)$$

где l — коэффициент, принимаемый по графику (рис. 2), с/м;

k_2 — коэффициент вязкости грунта в пластической фазе движения сваи, определяемый по формуле

$$k_2 = \lambda_p k_1, \tag{24}$$

где λ_p — коэффициент пассивного сопротивления грунта.

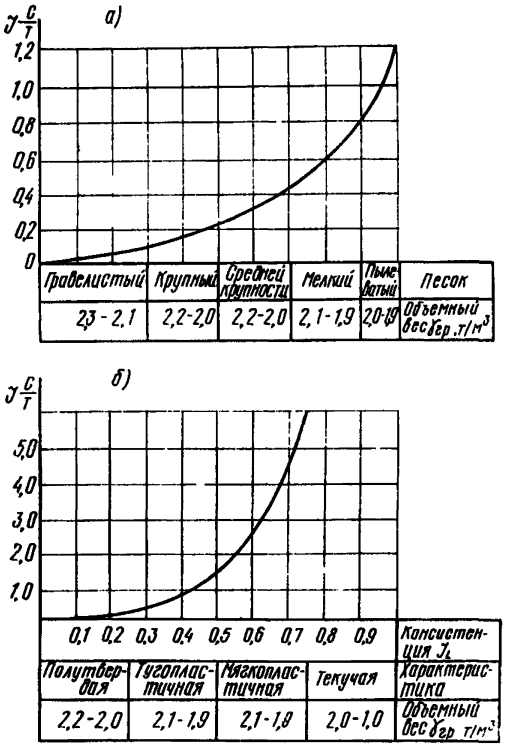

Рис. 2. График для выбора коэффициента l:
а — песчаные грунты; *б* — глинистые грунты

5.13. Расчет свай на динамические растягивающие усилия производится только в случае отражения от грунта волны растяжения, т. е. при $\beta + \xi_1 < 1$.

Место проявления x_p и максимальная величина динамических растягивающих усилий $N_{р.д}$ определяются в зависимости от длины ударной волны L и скорости смещения острия сваи:

короткие волны ($L \leqslant 2l$):

$$x_p = l - \gamma_1 \eta \delta; \tag{25}$$

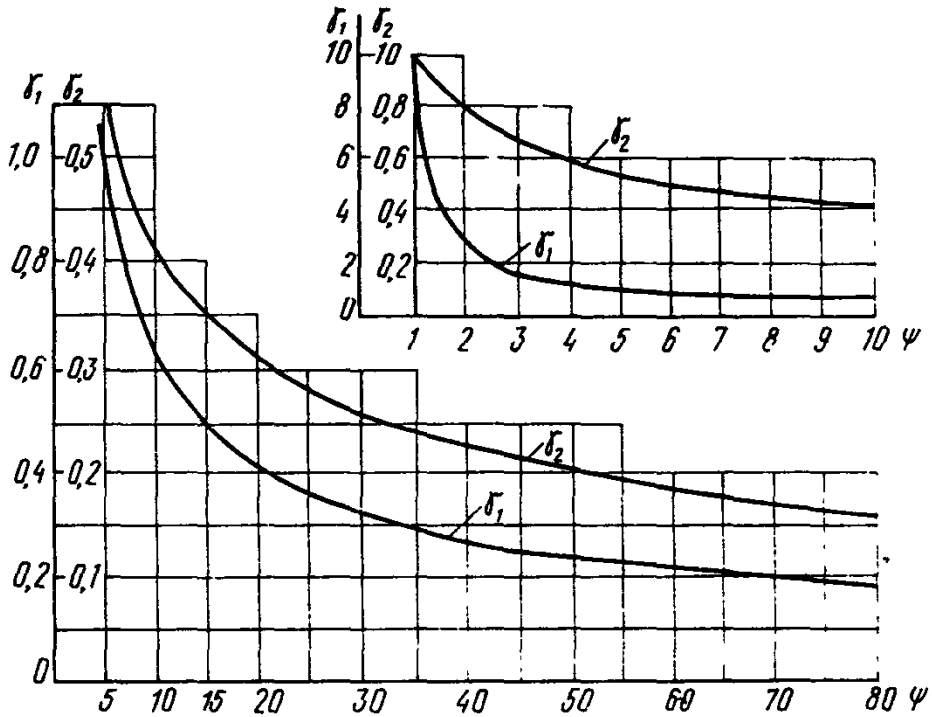

Рис. 3 Графики $\gamma_1 = f(\psi)$ и $\gamma_2 = f(\psi)$

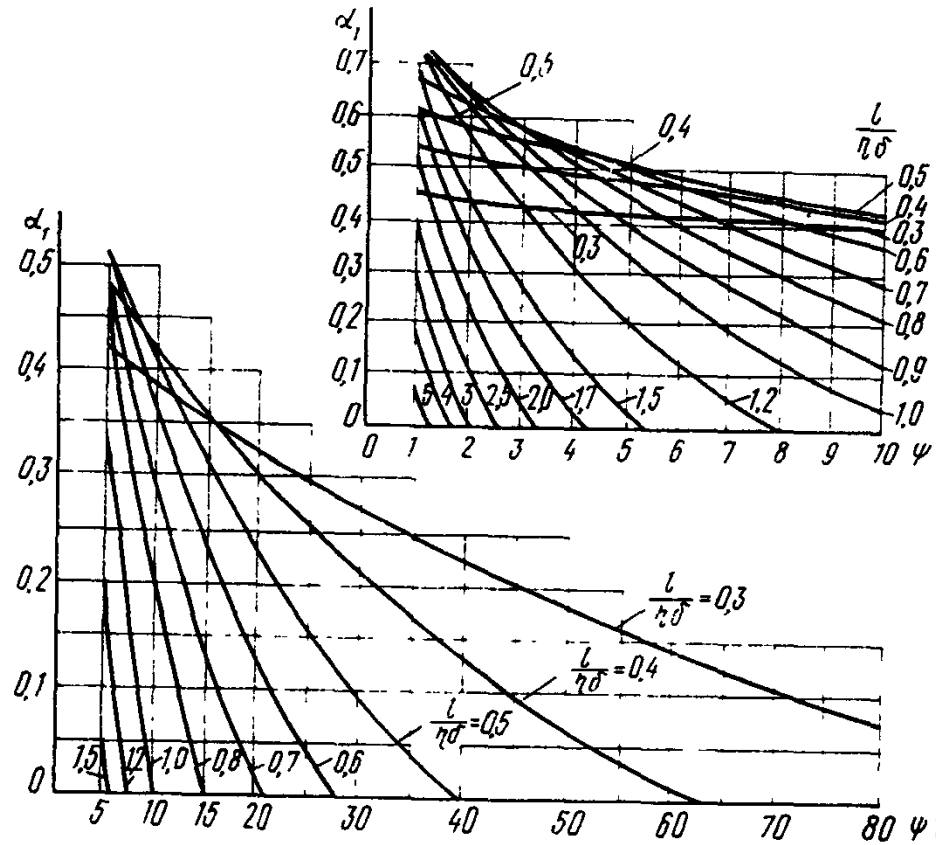

Рис. 4. Графики $\alpha_1 = f(\psi, l/\eta\delta)$

при $v_{max} \leqslant v^*$

$$N_{р.д} = \frac{1-(\beta+\xi_1)}{1+\beta+\xi_1}\,\alpha\,\frac{v_0}{a}\,E_{св}Fe^{-\chi(2l-x_р)}; \qquad (26)$$

при $v_{max} > v^*$

$$N_{р.д} = \frac{1-\xi_2}{1+\xi_2}\,\frac{v_0}{a}\,E_{св}\,F\left(\alpha - \frac{\beta+\xi_1-\xi_2}{1-\xi_2}\,\frac{v^*}{v_0}\right)e^{-\chi(2l-x_р)}; \qquad (27)$$

длинные волны $(L>2l)$:

$$x_р = \gamma_2\eta\delta; \qquad (28)$$

при $v_{max} \leqslant v^*$

$$N_{р.д} = \frac{v_0}{a}\,E_{св}F\left[\alpha\,\frac{1-(\beta+\xi_1)}{1+\beta+\xi_1}\,e^{-\chi(2l-x_р)} - \alpha_1 e^{-\chi x_р}\right]; \qquad (29)$$

при $v_{max} > v^*$

$$N_{р.д} = \frac{v_0}{a}\,E_{св}F\left[\frac{1-\xi_2}{1+\xi_2}\left(\alpha - \frac{\beta+\xi_1-\xi_2}{1-\xi_2}\,\frac{v^*}{v_0}\right)e^{-\chi(2l-x_р)} - \alpha_1 e^{-\chi x_р}\right], \qquad (30)$$

где $x_р$ — расстояние от головы сваи до сечения с максимальными динамическими растягивающими усилиями;

$L = \frac{2\pi}{B}\eta\delta$ — длина исходной ударной волны;

$$\gamma_1 = \frac{\pi - \operatorname{arc\,tg} B}{B}; \quad \gamma_2 = \frac{\operatorname{arc\,tg} B}{B};$$

$$\alpha_1 = \frac{2}{B}\sin\frac{Bl}{\eta\delta}\,e^{-\frac{l}{\eta\delta}}; \quad B = \sqrt{\psi - 1}.$$

Примечание. При $N_{р.д} < 0$ растягивающие усилия в свае отсутствуют.

5.14 Коэффициенты γ_1, γ_2, α_1 определяются по графикам (рис. 3 и 4) в зависимости от обобщенной характеристики системы «молот—прокладка—свая» ψ в соответствии с указаниями п. 5.6.

6. УСЛОВИЯ ПРОЧНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО НАПРЯЖЕННЫХ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК, ПОГРУЖАЕМЫХ ВИБРИРОВАНИЕМ

6.1. Расчет по прочности сечений свай-оболочек, нормальных к продольной оси элемента, должен производиться из условий:

для сжатого бетона —

$$k_н n_с N_с^р \leqslant m_б R_{пр} F_б - \sigma_{б.н} F_б + m_б n R_{пр} F_н; \qquad (31)$$

для растянутой арматуры —

$$k_н n_с N_р^р \leqslant m_а R_а F_н, \quad (32)$$

где $N_с^р$, $N_р^р$ — расчетные значения сжимающей и растягивающей нагрузок, определяемые в соответствии с п. 7.1;

$m_б$, $m_а$ — коэффициенты условий работы бетона и арматуры, определяемые в соответствии с требованиями главы СНиП II-56—77;

$\sigma_{б.н}$, $\sigma_н$ — соответственно сжимающее напряжение в бетоне и растягивающее напряжение в напряженной арматуре к моменту погружения свай-оболочек, определяемые в соответствии с пп. 3.4 и 3.5.

6.2. Расчет по прочности сечений свай-оболочек, параллельных продольной оси элемента, должен производиться из условия

$$k_н n_с \sigma_{\theta(max)} \leqslant m_б R_р, \quad (33)$$

где $\sigma_{\theta\,(max)}$ — действующее в стенке оболочки на уровне верха грунтовой пробки тангенциальное растягивающее напряжение, определяемое по формуле

$$\sigma_{\theta(max)} = \frac{2r^2}{R^2 - r^2} q^р, \quad (34)$$

где R, r — наружный и внутренний радиусы сваи-оболочки;

$q^р$ — расчетное значение давления воды в полости сваи-оболочки, определяемое в соответствии с п. 7.3.

6.3. Расчет по образованию продольных трещин в свае-оболочке от действия гидродинамического пульсирующего давления в полости производится только для синхронного режима погружения, определяемого по п. 7.2 в соответствии с требованиями главы СНиП II-21—75 из условия

$$k_н n_с \sigma_{\theta(max)} \leqslant R_{pII}. \quad (35)$$

В случае, если анализ, проведенный в соответствии с п. 7.2, покажет возможность возникновения резонансного или виброударного режимов, погружение свай-оболочек следует осуществлять без воды в полости, о чем должно быть дано указание в проекте.

7. ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ И НАПРЯЖЕНИЙ В СВАЯХ-ОБОЛОЧКАХ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ИХ ВИБРОПОГРУЖЕНИИ

7.1. Расчетные значения сжимающей и растягивающей нагрузок определяются по формулам:

$$N_с^р = n_д N; \quad (36)$$

$$N_р^р = 0{,}5 N_с^р, \quad (37)$$

где N — максимальное значение вынуждающей силы вибратора, принимаемое в соответствии с приложением 6 (справочное) к РТМ (указывается также в прилагаемой к вибратору документации);

n_A — коэффициент перегрузки, принимаемый для синхронного режима погружения 2,0, а для виброударного и резонансного — соответственно 2,5 и 3,5.

7.2. Характеристики режимов погружения определяются из условий:

резонансного —

$$\omega = \omega_0 = \sqrt{\frac{k_s}{m}}, \tag{38}$$

где ω — вынужденная круговая частота дебалансов вибратора, принимаемая в соответствии с приложением 6 (справочное) к РТМ (указывается также в прилагаемой к вибратору документации);

ω_0 — собственная круговая частота системы «вибратор с наголовником — свая-оболочка с грунтом и водой в полости»;

m — масса этой же системы;

k_s — коэффициент квазиупругой силы, определяемый по формуле

$$k_s = \frac{1}{\frac{l_0}{1{,}2E_б F(1+n\mu)} + \frac{(1+n_R)\,l}{2{,}4E_б F(1+n\mu)} + \frac{n_R}{c_z F}}, \tag{39}$$

где l_0 и l — соответственно свободная и погруженная длины сваи-оболочки;

n_R — отношение действующего на уровне низа сваи-оболочки сжимающего усилия к действующему в ней полному усилию, принимаемое (при отсутствии опытных данных) равным: 0,75 при погружении через пески разной крупности и плотности (за исключением пылеватых) и 1,00 при погружении через илы, суглинки, пластичные супеси, глины и пылеватые пески;

c_z — коэффициент постели грунта, определяемый по формуле

$$c_z = k_z l, \tag{40}$$

где k_z — коэффициент пропорциональности, принимаемый в зависимости от вида грунта, расположенного под нижним концом сваи-оболочки, по табл. приложения 7 (справочное) к РТМ;

виброударного —

$$\frac{A\omega^2}{g} > 1; \tag{41}$$

синхронного —

$$\frac{A\omega^2}{g} < 1, \qquad (42)$$

где A — амплитуда колебаний системы, определяемая по формуле

$$A = \frac{M}{Q_c}, \qquad (43)$$

где M — статический момент дебалансов, принимаемый в соответствии с приложением 6 (справочное) к РТМ (указывается также в прилагаемой к вибратору документации);

Q_c — вес системы «вибратор с наголовником — свая-оболочка».

Примечания: 1. При определении массы и веса системы по формулам (38) и (43) взвешивающее действие воды не учитывается.

2. При анализе установления возможности возникновения резонансного режима по условию (38) величины k_s и m следует проварьировать в диапазоне возможных их изменений в процессе погружения.

7.3. Расчетное значение давления в полости свай-оболочки определяется по формуле

$$q^p = q\,(n_д - 1), \qquad (44)$$

где q — гидростатическое давление в полости свай-оболочки, действующее на уровне верха грунтовой пробки.

Примечание. Коэффициенты перегрузки $n_д$ могут уточняться по результатам опытных измерений давлений в полости датчиками гидродинамических давлений, приведенными в приложении 8 (справочное) к РТМ, в соответствии с методикой, приведенной в приложении 9 (обязательное) к РТМ, при условии измерения давлений с погрешностью не более 0,04 при обеспеченности 0,95.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1.
Справочное

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВАЙНЫХ МОЛОТОВ

Таблица 1

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОВОЗДУШНЫХ МОЛОТОВ ПРОСТОГО ДЕЙСТВИЯ*

Наименование показателей	СССМ-570	СССМ-750	СССМ-582	СССМ-680	Молоты треста «Гидроспецфундаментстрой»				Молоты Всесоюзного научно-исследовательского института строительно-дорожных машин			
					3000	4250	6500	8200	С-276А	С-811А	С-812А	С-1800
Вес ударной части, тс	1,8	1,8	3,0	6,0	3,0	4,2	6,5	8,2	3,0	6,0	8,0	1,8
Энергия удара, тс·м	2,7	2,7	3,2	8,2	3,2	5,2	8,2	11,0	4,1	8,2	10,0	2,2
Число ударов в 1 мин	30,0	30,0	30,0	30,0	10	4—8	4—10	4—5	40—50	40—50	35—40	30,0

Таблица 2

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПАРОВОЗДУШНЫХ МОЛОТОВ ДВОЙНОГО ДЕЙСТВИЯ*

Наименование показателей	СССМ-502	СССМ-501	С-35	ССМ-708	С-32	С-231	С-977
Вес ударной части, тс	0,181	0,363	0,614	0,680	0,655	1,130	2,250
Энергия удара, тс·м	0,345	0,573	1,085	1,120	1,590	1,800	1,700—2,700
Скорость удара, м/с	6,12	6,33	5,90	5,70	6,92	5,58	3,85—4,85
Число ударов в 1 мин	275	225	135	140	125	95—112	100—105

Таблица 3

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ШТАНГОВЫХ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ*

Наименование показателей	С подвижными штангами				С неподвижными штангами			
	ДБ-45	ДИ-58	ДМ-150 (С-1010)	ДМ-150А	С-254	С-222	С-268	С-330
Вес ударной части, тс	0,14	0,18	0,19	0,24	0,60	1,20	1,80	2,50
Энергия удара, тс·м	0,10	0,15	0,15	0 195—0,2	0,30	0,52	1,60	2,00
Скорость удара, м/с	3,75	4,04	3,95	3,98—4,04	3,13	2,88	3,95	3,54
Число ударов в 1 мин	95—100	100—110	100	60—65	55—60	55—60	55—60	50—55

Таблица 4

ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРУБЧАТЫХ ДИЗЕЛЬ-МОЛОТОВ В ОБЫЧНОМ ИСПОЛНЕНИИ*

Наименование показателей	С воздушным охлаждением						С водяным охлаждением					
	УР-1-500	С-858 (УР-1-1250)	С-859 (УР-1-1800)	С-949	С-951	С-974	С-994	С-995	С-996	С-1047	С-1048	СП-54
Вес ударной части тс	0,50	1,25	1,80	2,50	3,50	5,00	0,60	1,25	1,80	2,50	3,50	5,00
Энергия удара, тс·м	1,30	3,30	4,80	6,70	9,40	13,50	1,60	3,30	4,80	6,70	9,40	13,50
Скорость удара, м/с	7,12	7,15	7,18	7,26	7,26	7,26	7,22	7,15	7,18	7,26	7,26	7,26
Число ударов в 1 мин			50—60							50—60		

Примечание Начальная скорость удара $v_н$ определена из равенства $\frac{mv_н^2}{2} = w$, где $m = \frac{Q}{g}$, w — энергия удара.

* Сваи и свайные фундаменты Справочное пособие Київ, «Будівельник», 1977, 254 с

ПРИЛОЖЕНИЕ 2
Справочное

ТАБЛИЦА ЗНАЧЕНИЙ ВЕЛИЧИН e^{-z} и e^{z}

z	0	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
e^{-z}	1,00	0,95	0,90	0,86	0,82	0,78	0,74	0,70	0,67	0,64	0,61	0,58	0,55	0,52	0,50	0,45	0,41	0,37
e^{z}	1,00	1,05	1,10	1,16	1,22	1,28	1,35	1,42	1,49	1,57	1,65	1,73	1,82	1,92	2,01	2,22	2,46	2,72

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
Справочное

ПРИМЕРЫ ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ЗАБИВНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ СВАИ

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РАСЧЕТЫ

1.1. Исходные данные

1.1.1. Предварительно напряженная железобетонная свая длиной 24 м, сечением 45×45 см изготовлена из бетона марки М400 и армирована восемью стержнями диаметром 25 мм из стали класса А-IV Объемный вес железобетона сваи 2,5 т/м³.

1.1.2. Сжимающее напряжение в бетоне $\sigma_{б.н}$ к моменту погружения, определенное в соответствии с п. 3.5 настоящего РТМ, равно 60,0 кгс/см².

1.2. Грунты основания

1.2.1. Свая погружается на глубину 10,0 м в районе строительства на Азовском море в глинистые грунты с показателем консистенции 0,5

1.2.2. Сопротивления грунта под нижним концом сваи $R^н$ и на боковой поверхности $f^н$ соответственно в начале и в конце забивки равны 70,0 и 0,8 тс/м² и 150,0 и 2,6 тс/м².

Угол внутреннего трения соответственно в начале и в конце забивки равен 12 и 18°, объемный вес — 1,5 и 2,0 т/м³.

1.3. Расчетные коэффициенты

$$k_н = 1{,}20;\ n_с = 0{,}95;\ m_{гр} = 0{,}85;\ m_{св} = 1{,}15.\ m_{св} = 1{,}80.$$

1.4. Характеристики удара

$$Q = 7{,}5 \text{ тс (молот паровоздушный)};\ Q_н = 0{,}75 \text{ тс},\ k_v = 0{,}8;$$

$$k_{вн} = 1{,}25;\ H = 1{,}0 \text{ м}.$$

1 5. Динамический приведенный модуль упругости материала сваи

$$E_{св} = (1+n\mu)\ 1{,}2E_б = (1+6{,}67\cdot 0{,}0198)\,1{,}2\cdot 3\cdot 10^5 = 4{,}07\cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2$$

1.6. Скорость соударения молота со сваей

$$v_0 = k_v \frac{Q}{Q+Q_н}\sqrt{2gH} = 0{,}8\,\frac{7{,}5}{7{,}5+0{,}75}\sqrt{2\cdot 9{,}81\cdot 1{,}0} = 3{,}22 \text{ м/с}.$$

1.7. Скорость распространения упругой волны в свае

$$a = \sqrt{\frac{E_{св}}{\gamma}g} = \sqrt{\frac{4{,}07\cdot 10^6}{2{,}5}\,9{,}81} = 4000 \text{ м/с}.$$

1.8. Определение допустимого уровня сжимающих напряжений и приведенной толщины прокладки

1.8.1. Допустимый (ожидаемый) уровень сжимающих динамических напряжений определяем по формуле (5) настоящего РТМ:

$$\sigma^0_{с.д} = \frac{m_{св}\,m_{гр}\,R^н_{пр} - \sigma_{б.н}}{k_н\,n_с} = \frac{1{,}15\cdot 0{,}85\cdot 225 - 60}{1{,}2\cdot 0{,}95} = 140 \text{ кгс/см}^2.$$

1.8 2. Динамический модуль упругости деревянной прокладки толщиной 6 см в начале и в конце забивки определим по формуле (15) РТМ:

в начале забивки $E_п = k_п \sigma^0_{с.д} = 8 \cdot 140 = 1120$ кгс/см².
в конце забивки $E_п = 15 \cdot 140 = 2100$ кгс/см².

1.8.3. Приведенная толщина прокладки $\delta_п$ равна:
в начале забивки

$$\delta_п = \eta\delta = \frac{4.07 \cdot 10^5}{1120} 0,06 = 21,80 \text{ м};$$

в конце забивки

$$\delta_п = \frac{4,07 \cdot 10^5}{2100} 0,06 = 11,63 \text{ м}.$$

2. ПРОВЕРКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ БЕТОНА СВАИ ПО СЖИМАЮЩИМ УСИЛИЯМ, ВОЗНИКАЮЩИМ В СВАЕ В КОНЦЕ ЗАБИВКИ

2.1. Максимальные сжимающие напряжения в головной части сваи определим по формуле (9):

$$\sigma_{с.д} = \alpha k_{вн} \frac{v_0}{a} E_{б\,д},$$

где α определяем по графику (см. рис. 1) настоящего РТМ:
для

$$\psi = 4\frac{0,5}{7,5} 11,63 = 3.1 \quad \alpha = 0,55.$$

С учетом значения α

$$\sigma_{с.д} = 0,55 \cdot 1,25 \frac{3,22}{4000} 3,6 \cdot 10^5 = 199 \text{ кгс/см}^2 > 140 \text{ кгс/см}^2$$

(см. п. 1.8 настоящего приложения).

Таким образом, условие продольной трещиностойкости (5) не удовлетворяется.

2.2. Проверяем необходимость расчета прочности сваи по сжатому бетону в конце забивки:

$$\beta = \frac{1425}{4000 \cdot 2,5} 2^{2,25} = 0,685;$$

по графику (см. рис. 2,*б*) настоящего РТМ I = 1,5 с/м;

$$k_1 = 1,5(150 \cdot 0,2 + \frac{1}{3} 0,05 \cdot 1,8 \cdot 2,6 \cdot 10) = 46 \text{ тс} \cdot \text{с/м};$$

$$\xi_1 = \frac{46 \cdot 4000}{4,07 \cdot 10^6 \cdot 0,2} = 0,226; \quad \beta + \xi_1 = 0.911 < 1,0.$$

В соответствии с п. 5.8 проверка прочности бетона по сжатию не требуется.

3. ПРОВЕРКА ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ И ПРОЧНОСТИ ПО РАСТЯГИВАЮЩИМ УСИЛИЯМ, ВОЗНИКАЮЩИМ В ПРОЦЕССЕ ЗАБИВКИ

3.1. В начале забивки
3.1.1. По формулам (21) и (22) определяем коэффициенты

$$\beta,\ k_1,\ k_2,\ \xi_1,\ \xi_2:$$

$$\beta = \frac{1425}{4000 \cdot 2{,}5} 1{,}5^{2{,}25} = 0{,}35;$$

$$k_1 = 1{,}7 \cdot 70 \cdot 0{,}2 = 23{,}7 \text{ тс} \cdot \text{с/м};$$

$$k_2 = \operatorname{tg}^2\left(45 + \frac{12}{2}\right) 23{,}7 = 36 \text{ тс} \cdot \text{с/м};$$

$$\xi_1 = \frac{4000 \cdot 23{,}7}{4{,}07 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2} = 0{,}116; \quad \xi_2 = 0{,}177.$$

3.1.2. По формуле (19) определяем v^*, а также коэффициенты ψ и B

$$v^* = \frac{4000\,(14 - 12)}{0{,}35 \cdot 4{,}07 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2} = 0{,}028 \text{ м/с};$$

$$\psi = 4\frac{q}{Q}\delta_н = 4\frac{0{,}5}{7{,}5} 21{,}77 = 5{,}80;$$

$$B = \sqrt{\psi - 1} = 2{,}2; \quad \alpha = 0{,}49.$$

3.1.3. По формуле (18) определяем v_{max}, а также длину ударной волны L:

$$v_{max} = \frac{2 \cdot 0{,}49}{1 + 0{,}35 + 0{,}325} 3{,}22 e^{-0{,}01 \cdot 24} = 1{,}48 \text{ м/с} > v^*;$$

$$L = \frac{2\pi}{B}\delta_н = \frac{2\pi}{2{,}2} 21{,}77 = 62{,}14 \text{ м} > 2l \text{ —}$$

случай длинных волн

По графику (см. рис. 3) РТМ для $\psi = 5{,}8$ $\gamma_2 = 0{,}51$; определяем

$$x_р = \gamma_2 \delta_н = 0{,}51 \cdot 21{,}77 = 11{,}1 \text{ м};$$

$$\frac{l}{\delta_н} = \frac{24}{21{,}77} = 1{,}1. \text{ Для } \psi = 5{,}8 \text{ и } \frac{l}{\delta_н} = 1{,}1$$

по графику (см. рис 4) РТМ получаем $\alpha_1 = 0{,}25$.

3.1.4. По формуле (30) РТМ определяем

$$N_{р.д} = \frac{3{,}22}{4000} 4{,}07 \cdot 10^6 \cdot 0{,}2 \left[\frac{1 - 0{,}177}{1 + 0{,}177}\left(0{,}49 - \frac{0{,}35 + 0{,}116 - 0{,}177}{1 - 0{,}177} \times \right.\right.$$

$$\left.\left. \times \frac{0{,}023}{3{,}22}\right) e^{-0{,}01(48 - 11{,}33)} - 0{,}25 e^{-0{,}01 \cdot 11{,}1}\right] = 6{,}54 \text{ тс}.$$

3.2. В конце забивки после вычислений получаем:

$$\psi = 3{,}096, \quad \alpha = 0{,}55; \quad B = 1{,}45; \quad L = 50{,}3 \text{ м};$$

$$\gamma_2 = 0{,}67; \quad x_р = 7{,}78 \text{ м}; \quad \alpha_1 = 0{,}026; \quad \xi_2 = 0{,}429;$$

$$v_{max} = 3{,}06 \text{ м/с}; \quad v^* = 0{,}147 \text{ м/с}.$$

Учитывая, что имеем дело с длинными волнами ($L > 2l$) и $v_{max} > v^*$, по формуле (30) находим $N_{р.д} = 5{,}9$ тс.

$$k_н n_с N_{р.д} = 1{,}20 \cdot 0{,}95 \cdot 5{,}9 = 6{,}35 \text{ т};$$

$$N_0 = \sigma_{б\,н} F = 60 \cdot 2025 = 121000 \text{ кгс} = 121 \text{ тс}.$$

Поскольку $k_н n_c N_{р.д} < N_о$, растягивающие напряжения в бетоне отсутствуют.

$R_{а.н} F_н = 5000 \cdot 39{,}27 = 196000$ кгс $= 196$ тс $> 6{,}35$ тс, т. е. прочность сечения по растягивающим усилиям обеспечена.

Вывод: при заданных параметрах погружения и марке бетона М400 не выполняется условие продольной трещиностойкости по сжимающим усилиям.

4. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ СВАИ ПО СЖИМАЮЩИМ УСИЛИЯМ, ВОЗНИКАЮЩИМ В ПРОЦЕССЕ ЗАБИВКИ

4.1. Трещиностойкость сваи в процессе забивки может быть обеспечена либо снижением силового воздействия на сваю (уменьшение веса или высоты подъема молота, улучшение демпфирующих свойств прокладки), либо повышением марки бетона сваи, либо выбором соответствующей прокладки.

Уменьшение высоты удара приводит к увеличению продолжительности забивки, а повышение марки бетона — к излишнему расходу цемента. Окончательное решение принимается по результатам технико-экономических обоснований.

4.2. Определим допустимую скорость падения молота весом 7,5 тс.

4.2.1. Марку бетона оставляем прежнюю — М400, а прокладку принимаем из технической резины толщиной 4 см. Характеристики удара принимаем по п. 1.4 настоящего приложения.

4.2.2. По формуле (15) п. 5.7 настоящего РТМ определим динамический модуль упругости материала прокладки, приняв, по таблице этого же пункта, коэффициент пропорциональности $k_п$ равным 5:

$$E_п = k_п \sigma_{с.д} = 5 \cdot 140 = 700 \text{ кгс/см}^2.$$

4.2.3. Определим приведенную толщину прокладки:

$$\delta_п = \frac{E_{гв}}{E_п} \delta = \frac{4{,}07 \cdot 10^5}{700} 0{,}04 = 23{,}2 \text{ м}.$$

4.2.4. Определим обобщенную характеристику системы ψ:

$$\psi = 4 \frac{q}{Q} \delta_п = 4 \frac{0{,}5}{7{,}5} 23{,}2 = 6{,}2.$$

4.2.5. По графику (см. рис. 1) для $\psi = 6{,}2$ получаем значение α, равное 0,49.

4.2.6. Допустимую скорость удара v_0 и соответствующую ей высоту падения молота H определим из формул (9) и (10):

$$v_0 = \frac{4000 \cdot 140}{0{,}49 \cdot 1{,}25 \cdot 3{,}6 \cdot 10^5} = 2{,}5 \text{ м/с};$$

$$H = \frac{1}{2g} \left[\frac{v_0}{k_v} \left(1 + \frac{Q_н}{Q}\right) \right]^2 = \frac{1}{2 \cdot 9{,}81} \left[\frac{2{,}54}{0{,}8} \left(1 + \frac{0{,}75}{7{,}5}\right) \right]^2 = 0{,}62 \text{ м}.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Рекомендуемое

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И ВЫБОРУ РЕЖИМА ЗАБИВКИ СВАЙ

1. При проектировании и изготовлении предварительно напряженных железобетонных свай следует выполнять требования главы СНиП II-21—75 и ВСН 6/118—74 по обеспечению долговечности бетонных и железобетонных конструкций морских гидротехнических сооружений.

2. Для свай, погружаемых в грунт забивкой, проектные марки бетона по прочности на сжатие следует принимать не менее М400

3. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия $\sigma_{об}$ не должны превышать величин (в долях от передаточной прочности бетона R_0), указанных в табл. 1.

Таблица 1

Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия

Напряженное состояние сечения	При расчетной зимней температуре наружного воздуха, °С	
	—40 и выше	ниже —40
1. Напряжение $\sigma_{об}$ уменьшается или не изменяется при действии внешних нагрузок	0,65	0,55
2. Напряжение $\sigma_{об}$ увеличивается при действии внешних нагрузок	0,50	0,40

Примечание Величины $\sigma_{об}/R_0$, указанные в настоящей таблице, для бетона в водонасыщенном состоянии при расчетной температуре воздуха ниже —40°С следует принимать на 0,05 меньше.

4. В целях избежания образования продольных трещин в элементах передачу усилия натяжения арматуры на бетон рекомендуется осуществлять ступенями по мере нарастания его прочности в период твердения, а саму прочность необходимо определять на каждой ступени загружения, при этом следует следить, чтобы степень обжатия на каждой ступени не превышала величины, заданной проектом.

Примечания: 1. Номенклатура изделий, для которых допускается передача усилия натяжения арматуры на бетон в процессе его твердения, должна быть согласована с проектной организацией.

2. При диаметре стержней более 18 мм мгновенная передача усилий натяжения арматуры на бетон не допускается.

5 Предельные допускаемые отклонения от размеров свай не должны превышать величин, установленных в приложении 2 $\frac{\text{ВСН 34/Х—78}}{\text{Минтрансстрой}}$ по производству и приемке работ при возведении морских и речных портовых сооружений.

6. Отклонение перпендикулярности торцевой поверхности головной части сваи от оси сваи (отклонение от прямого угла) не допускается.

7. Внешний вид свай характеризуется следующими показателями:

поверхности и кромки свай должны быть ровными, местные искривления поверхности (впадины и выпучины) не должны быть более 10 мм при длине не более 0,1 l сваи;

площадь раковин на поверхности каждой грани сваи не должна быть более 5% площади соответствующей боковой грани, причем допускаются только раковины с наибольшим размером, не превышающим $^1/_6$ размера поперечного сечения свай при глубине не более 10 мм;

отколы углов сваи допускаются в количестве не более одного на 2 м сваи при условии, если они не превышают по глубине половины толщины защитного бетонного слоя и по длине — половины стороны поперечного сечения сваи.

Примечание. Если глубина отколов достигает полной толщины защитного бетонного слоя, то они подлежат тщательной заделке цементно-песчаным раствором.

8. Величины динамических усилий при забивке свай регулируются выбором веса молота (типа сваебойного агрегата), изменением высоты подъема молота (скорости удара) и заменой прокладок.

9. С точки зрения эффективности погружения забивных свай при минимальных динамических усилиях целесообразно применять более тяжелые молоты при малой высоте (скорости) удара и эластичной прокладке.

10. В целях избежания значительных растягивающих усилий в начале забивки, когда сопротивление грунта мало, первые удары следует производить при высоте подъема молота, не превышающей 0,3 м.

11. В качестве материала прокладки рекомендуется применять техническую резину (ГОСТ 7338—77), обладающую наибольшей стабильностью упругих свойств и эластичностью.

Для предохранения резины от преждевременного износа следует ставить между сваей и резиной защитный слой из досок.

Примечание. Помимо резины, в качестве прокладочного материала можно использовать войлок, мешковину, набивку из пеньки или другие материалы с известными и стабильными упругими свойствами.

12. Рекомендуемая толщина прокладки приведена в табл. 2.

Таблица 2

Рекомендуемая толщина прокладки в зависимости от ее материала и длины сваи

Длина сваи, м	Толщина прокладки (см) для			
	резины	асбестового волокна	войлока, мешковины	набивки из пеньки
15	1,9—2,2	3,7—4,5	5,2—6,4	5,8—7,0
20	2,5—3,0	5,0—6,0	7,0—8,5	7,8—9,3
25	3,1—3,7	6,2—7,5	8,7—10,5	9,7—11,5
30	3,7—4,5	9,3—11,2	13,0—15,7	14,5—17,2

13. Максимальный вес ударной части молота Q должен удовлетворять условию

$$Q \leqslant \frac{4q\delta_п}{1+c}, \qquad (1)$$

где

$$c = \frac{\pi^4 I_{св}}{F}\left(\frac{\delta_п}{l}\right)^2, \qquad (2)$$

где $I_{св}$ — момент инерции сечения сваи.

14. Скорость соударения молота со сваей должна удовлетворять условию $v_0 \geqslant v_{min}$,
где

$$v_{min} = \frac{1+\beta+\xi_1}{a\beta e^{-\chi l}} \frac{R^н F + k' u \Sigma f_i^н l_i}{E_{св} F} a. \qquad (3)$$

15. Для молота свободного падения минимальная высота подъема молота H должна удовлетворять условию

$$H \geqslant \frac{1}{2g} \left[\frac{v_{min}}{k_v} \left(1 + \frac{Q_н}{Q} \right) \right]^2. \qquad (4)$$

16 Помимо настоящих рекомендаций по технологии изготовления и выбору режима забивки свай, следует руководствоваться техническими указаниями, изложенными в $\frac{\text{ВСН 34/Х—78}}{\text{Минтрансстрой}}$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 5
Справочное

ПРИМЕР ДИНАМИЧЕСКОГО РАСЧЕТА СВАИ-ОБОЛОЧКИ, ПОГРУЖАЕМОЙ ВИБРИРОВАНИЕМ

1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В АРМАТУРЕ И БЕТОНЕ В ПРОЦЕССЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК

1.1. Исходные данные

1.1.1. Свая-оболочка предварительно напряженная диаметром 1,6 м, с толщиной стенки 12 см изготавливается в формах. Расстояние между наружными гранями упоров формы равно 800 см.

1.1.2. Проектная марка бетона по прочности на осевое сжатие М400. Свая-оболочка армирована 24 стержнями диаметром 25 мм из стали класса А-IIIв, нормативное сопротивление растяжению $R_a^н$ которой равно 5500 кгс/см².

1.2. Определение потерь предварительного напряжения арматуры

1.2.1. Назначаем предельную величину предварительного напряжения σ_0 в соответствии с условием (1) настоящего РТМ:

$$\sigma_0 = 0{,}90 R_a^н = 0{,}90 \cdot 5500 = 4950 \text{ кгс/см}^2.$$

1.2.2. Величину напряжения σ_k, контролируемую по окончании натяжения на упоры, определяем по формуле (2) РТМ:

$$\sigma_к = \sigma_0 - \frac{\lambda}{l_a} E_a = 4950 - \frac{0{,}2}{800} 2 \cdot 10^6 = 4950 - 500 = 4450 \text{ кгс/см}^2.$$

1.2.3. В соответствии с поз. 1 табл. 4 главы СНиП II-21—75 определяем величину потерь от релаксации напряжений арматуры по формуле

$$\Delta\sigma_р = 0{,}1\sigma_0 - 200 = 0{,}1 \cdot 4950 - 200 = 295 \text{ кгс/см}^2.$$

1.2.4. В соответствии с поз. 6 табл. 4 главы СНиП II-21—75 определяем величину потерь предварительного напряжения арматуры от быстронатекающей ползучести $\Delta\sigma$ по формуле

$$\Delta\sigma_{п.н} = 500 \frac{\sigma_{б.н}}{R_0} 0{,}85,$$

где $\sigma_{б.н}$ — сжимающее напряжение в бетоне, определяемое к моменту завершения быстронатекающей ползучести по формуле (4) РТМ с учетом потерь по поз. 1—5 табл. 4 главы СНиП II-21—75;

$$\sigma_{б.н} = \frac{\mu}{1 + n\mu} (\sigma_k - \Delta\sigma_р - \Delta\sigma_{д.ф}) = \frac{0{,}0216}{1 + 6{,}67 \cdot 0{,}0216} (4450 - 295 - 300) =$$

$$= 0{,}0189 \cdot 3855 = 72{,}9 \text{ кгс/см}^2.$$

Здесь $\Delta\sigma_{д.ф}$ — потери предварительного напряжения арматуры, вызванные деформацией формы.

$$\Delta\sigma_{п.н} = 500 \frac{72{,}9}{280} 0{,}85 = 110 \text{ кгс/см}^2.$$

1.2.5. В соответствии с поз. 8 табл. 4 главы СНиП II-21—75 потери предварительного напряжения, вызванные усадкой бетона для бетона марки М400,

подвергнутого тепловой обработке при атмосферном давлении, принимаем равными 350 кгс/см².

1.2.6. В соответствии с поз. 9 табл. 4 главы СНиП П-21—75 определяем потери предварительного напряжения арматуры, вызванные ползучестью бетона, $\Delta\sigma_п$ по формуле

$$\Delta\sigma_п = 2000k\frac{\sigma_{б.н}}{R_0}.$$

$$\text{При } \frac{\sigma_{б.н}}{R_0} = \frac{72,9}{280} = 0,26 < 0,6$$

$$\Delta\sigma_п = 2000 \cdot 0,85 \cdot 0,26 = 440 \text{ кгс/см}^2.$$

1.2.7. Определяем суммарные потери предварительного напряжения арматуры

$$\Delta\sigma_0 = \Delta\sigma_р + \Delta\sigma_{п.н} + \Delta\sigma_{д.ф} + \Delta\sigma_п = 295 + 110 + 300 + 440 = 1145 \text{ кгс/см}^2.$$

1.3. Определение напряжения, действующего в напряженной арматуре к моменту погружения сваи-оболочки

1.3.1. Напряжение, действующее в арматуре, определяем по формуле (3) РТМ:

$$\sigma_н = \left(1 - \frac{n\mu}{1 + n\mu}\right)(\sigma_k - \Delta\sigma_0) = \left(1 - \frac{6,67 \cdot 0,0216}{1 + 6,67 \cdot 0,0216}\right)(4450 - 1145) =$$

$$= 0,874 \cdot 3305 = 2889 \text{ кгс/см}^2.$$

1.4. Определение сжимающего напряжения в бетоне к моменту погружения

Сжимающее напряжение в бетоне, действующее к моменту погружения сваи-оболочки, определяем по формуле (4) РТМ:

$$\sigma_{б.н} = \frac{\mu}{1 + n\mu}(\sigma_k - \Delta\sigma_0) = \frac{0,0216}{1 + 6,67 \cdot 0,0216}(4450 - 1145) =$$

$$= 0,0189 \cdot 3305 = 62,5 \text{ кгс/см}^2.$$

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗКИ $n_д$

2.1. Исходные данные

2.1.1. Глубина воды в месте погружения 13,0 м.

2.1.2. Грунты основания — моренные суглинки с показателем консистенции $I_L \geqslant 0,6$.

2.1.3. Вибропогружатель ВП-160 с параметрами: $N = 160 \cdot 10^3$ кгс; $M = 352$ кгс·м; $Q_в = 11,2 \cdot 10^3$ кгс; $Q_н = 0,8 \cdot 10^3$ кгс (вес наголовника); $\omega = 83,8 c^{-1}$.

2.1.4. Свая-оболочка типа ТН-30-12/25; длина 30 м; вес 41,85 тс; площадь поперечного сечения $F = 0,558$ м²; модуль упругости бетона $E_б = 3 \cdot 10^5$ кгс/см²; соответственно свободная l_0 и погруженная l длины сваи-оболочки в конце погружения равны 14,8 и 15,2 м.

2.2. Определение характеристики режима вибропогружения

2.2.1. Амплитуду колебаний системы определяем по формуле (43) РТМ:

$$A = \frac{M}{Q_c} = \frac{M}{Q_l + Q_г + (Q_н + Q_в + Q_h)}.$$

Значения $Q_г$, $Q_в$, Q_h определены в подпунктах 2.2.3.1 и 2.2.3.2 настоящего приложения.

$$A = \frac{0,352}{41,85 + 35,2 + (0,8 + 11,2 + 18,85)} = \frac{0,352}{107,9} = 0,0033 \text{ м}.$$

2.2.2. Проведем оценку режима погружения.

$$\frac{A\omega^2}{g} = \frac{0{,}0033 \cdot 83{,}8^2}{9{,}81} = 2{,}36 > 1.$$

В конце погружения возможен виброударный режим.

2.2.3. Оценим возможность возникновения резонансного режима погружения.

2.2.3.1. Для оценки возможности возникновения резонансного режима вибропогружения проварьируем в формуле (38) РТМ значения k_s и m в диапазоне возможных их изменений.

Значения массы меняются из-за технологических особенностей погружения длинных свай-оболочек. Вначале погружается оболочка, состоящая из двух восьмиметровых звеньев с шестиметровым нижним звеном. Вес такой оболочки равен 30,7 тс.

Затем, после наращивания еще одним восьмиметровым звеном, производится погружение уже полной сваи-оболочки длиной 30 м, вес которой равен 41,85 тс. И, наконец, возможны упругие колебания системы на участке торможения (в конце погружения) с присоединенной массой грунта в полости, вес которой $Q_г = 35{,}2$ тс.

Вес грунта в полости определен по формуле

$$Q_г = \gamma_г F_п l,$$

где $\gamma_г$ — объемный вес грунта;
$F_п$ — площадь поперечного сечения полости сваи-оболочки;
l — длина погруженной части сваи-оболочки.

2.2.3.2. Определим уровни варьирования массы m, соответствующие описанным условиям, по формуле

$$m_i = \frac{Q_i + Q_г + (Q_н + Q_в + Q_h)}{g},$$

где Q_h — вес столба воды в полости, высотой равный глубине воды h в месте погружения; $Q_h = 1{,}0 \cdot 1{,}45 \cdot 13{,}0 = 18{,}85$ тс.

$$m_1 = \frac{30{,}7 + 0{,}0 + (0{,}8 + 11{,}2 + 18{,}85)}{9{,}81} = \frac{30{,}7 + 30{,}85}{9{,}81} = 6{,}3 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м};$$

$$m_2 = \frac{41{,}85 + 0{,}0 + 30{,}85}{9{,}81} = 7{,}4 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м};$$

$$m_3 = \frac{41{,}85 + 35{,}2 + 30{,}85}{9{,}81} = 11{,}0 \text{ тс} \cdot \text{с}^2/\text{м}.$$

2.2.3.3. Определение частных значений коэффициента квазиупругой силы k_s.

Для вычисления частных значений коэффициента k_s используем формулу (39) РТМ, в которой, помимо длины погруженной части l, соответствующей рассмотренным условиям погружения, варьируется коэффициент пропорциональности k_z на уровнях 200, 300 и 400 тс/м⁴.

Принимая во внимание, что $c_z = k_z l$ и n_R для моренных суглинков при $I_l \geqslant 0{,}6$ равен единице, приводим формулу (39) к виду, удобному для вычислений частных значений k_s:

$$k_s = \frac{1}{\dfrac{l_0 + l}{1{,}2E_б F(1 + n\mu)} + \dfrac{1}{k_z l F}}. \qquad (39а)$$

Например, при $l = 8$ м, $l_0 = 14$ м и $k_z = 200$ тс/м⁴ $k_s = 886$ тс/м; при $l = 16$ м, $l_0 = 14$ м и $k_z = 400$ тс/м⁴ $k_s = 3412$ тс/м.

Вычисление значений собственных круговых частот производим по формуле (38) РТМ.

Например, для $m=6{,}3$ тс·с²/м и $k_s=886$ тс/м

$$\omega_0=\sqrt{\frac{k_s}{m}}=\sqrt{\frac{886}{6{,}3}}=11{,}9c^{-1}.$$

Вычисленные по формуле (38) значения круговых частот ω_0 приведены в таблице.

Значения круговой частоты ω_0, соответствующие рассмотренным условиям погружения

Глубина погружения l, м	Масса m, тс·с²/м	Собственная круговая частота системы ω_0 (с⁻¹) при коэффициентах пропорциональности k_z, равных		
		200	300	400
8,0	6,3	11,9	14,5	16,7
16,0	7,4	15,3	18,8	21,5
16,0	11,0	12,6	15,4	17,6

Из таблицы следует, что условия возникновения разонанса невозможны, так как верхнее значение собственной круговой частоты системы значительно меньше нижнего значения вынужденной круговой частоты дебалансов вибратора ($21{,}5<83{,}8$ с⁻¹).

Таким образом, в соответствии с указанием п. 7.1 РТМ принимаем $n_г$ равным 2,5.

3. РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТИ СЕЧЕНИЙ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК, НОРМАЛЬНЫХ К ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

3.1. Исходные данные

3.1.1. Проектные абсолютные значения отметок кордона и дна у причала соответственно равны +3,60 и —17,20.

В соответствии с табл. 1 главы СНиП II-51—74 по проектированию морских гидротехнических сооружений принятое сооружение относится ко второму классу (высота сооружения более 20 м).

3.1.2. Максимальное значение возмущающей силы вибропогружателя ВП-160 $N=160\cdot10^3$ кгс;

площади поперечного сечения напряженной арматуры $F_н$ и бетона $F_б$ соответственно равны 117,7 и 5462,3 см²;

действующие к моменту погружения растягивающее напряжение в арматуре $\sigma_н$ и сжимающее напряжение в бетоне $\sigma_{б.н}$ соответственно равны 2889,0 и 62,5 кгс/см²;

коэффициенты распределения продольного усилия между арматурой k_a и бетоном $k_б$ равны:

$$k_a=\frac{n\mu}{1+n\mu}=\frac{6{,}67\cdot0{,}0216}{1+6{,}67\cdot0{,}0216}=\frac{0{,}144}{1{,}144}=0{,}126;$$

$$k_б=\frac{1}{1+n\mu}=\frac{1}{1{,}144}=0{,}874;$$

призменная прочность бетона $R_{пр}=175$ кгс/см²;
$k_н$ и $n_с$ в соответствии с п. 3.2 главы СНиП II-50—74 равны 1,2 и 0,95.

3.2. Расчет по прочности поперечного сечения сваи-оболочки на воздействие сжимающей нагрузки

3.2.1. Расчет по прочности для сжатого бетона.

Расчет по прочности сечений сваи-оболочки, нормальных к продольной оси элемента, для сжатого бетона производится из условия (31) РТМ:

$$k_н n_с N_с^р \leqslant m_б R_{пр} F_б - \sigma_{б.н} F_б + m_б n R_{пр} F_н.$$

3.2.2. Расчетное значение сжимающей нагрузки $N_с^р$ определяем по формуле (36) РТМ:

$$N_с^р = n_д N = 2{,}5 \cdot 160 \cdot 10^3 = 400 \cdot 10^3 \text{ кгс}.$$

3.2.3. Коэффициент условий работы бетона $m_б$ определяем в соответствии с табл. 2.3 главы СНиП II-56—77 с учетом асимметрии цикла $\rho_б$, значение которого определяется по формуле

$$\rho_б = \frac{\sigma_{б\,min}}{\sigma_{б\,max}},$$

где $\sigma_{б\,max}$ и $\sigma_{б\,min}$ — соответственно наименьшее и наибольшее (по абсолютной величине) значения напряжений в бетоне — в пределах цикла изменения нагрузки — со своими знаками.

3.2.3.1. Значение $\sigma_{б\,max}$ определим по формуле

$$\sigma_{б.max} = \frac{N_с^р k_б}{F_б} + \sigma_{б.н} = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 0{,}874}{5462{,}3} + 62{,}5 = 126{,}5 \text{ кгс/см}^2.$$

3.2.3.2. Значение $\sigma_{б\,min}$ определим по формуле

$$\sigma_{б.min} = -\frac{N_р^р k_б}{F_б} + \sigma_{б.н} = -\frac{0{,}5 \cdot 400 \cdot 10^3 \cdot 0{,}874}{5462{,}3} +$$

$$+ 62{,}5 = -32{,}0 + 62{,}5 = 30{,}5 \text{ кгс/см}^2.$$

3.2.3.3. Определим коэффициент асимметрии цикла

$$\rho_б = \frac{30{,}5}{126{,}5} = 0{,}24,$$

значению которого в табл. 3 главы СНиП II-56—77 соответствует коэффициент условий работы (для бетона естественной влажности) $m_{б2}=0{,}725$.

3.2.3.4. Производим проверку прочности поперечного сечения сваи-оболочки на воздействие сжимающей нагрузки $N_с^р$, используя формулу (31) настоящего РТМ: $k_н n_с N_с^р = 1{,}2 \cdot 0{,}95 \cdot 400 \cdot 10^3 = 456{,}0 \cdot 10^3$ кгс; $m_{б2} R_{пр} F_б - \sigma_{б.н} F_б + m_{б2} n R_{пр} F_н = 0{,}725 \cdot 175 \cdot 5462{,}3 - 62{,}5 \cdot 5462{,}3 + 0{,}725 \cdot 6{,}67 \cdot 175 \cdot 117{,}7 = 451{,}2 \cdot 10^3$ кгс.

456,0 тс $\approx$ 451,2 тс — условие (31) практически удовлетворяется.

Таким образом, прочность бетона сваи-оболочки на воздействие осевой сжимающей нагрузки обеспечена.

3.3. Расчет по прочности поперечного сечения сваи-оболочки на воздействие растягивающей силы.

3.3.1. Расчет по прочности для растянутой арматуры.

Расчет по прочности сечений сваи-оболочки, нормальных к продольной оси элемента, для растянутой арматуры производится из условия (32) РТМ:

$$k_н n_с N_р^р \leqslant m_а R_а F_н.$$

3.3.2. Расчетное значение растягивающей силы N_p^p определяем по формуле (37) РТМ:

$$N_p^p = 0{,}5 N_c^p = 0{,}5 \cdot 400 \cdot 10^3 = 200 \cdot 10^3 \text{ кгс}.$$

3.3.3. Коэффициент условий работы арматуры m_a определяем по табл. 25, 26 главы СНиП II-21—75 с учетом коэффициента асимметрии цикла ρ_a, значение которого определяется по формуле

$$\rho_a = \frac{\sigma_{a.min}}{\sigma_{a.max}}.$$

3.3.3 1. Значение $\sigma_{a.max}$ определим по формуле

$$\sigma_{a.max} = -\frac{N_p^p k_a}{F_н} - \sigma_н = -\frac{200 \cdot 10^3 \cdot 0{,}126}{117{,}7} - 2889 = -3103 \text{ кгс/см}^2.$$

3.3.3.2. Значение $\sigma_{a.min}$ определим по формуле

$$\sigma_{a.min} = \frac{N_c^p k_a}{F_н} - \sigma_н = \frac{400 \cdot 10^3 \cdot 0{,}126}{117{,}7} - 2889 = -2461 \text{ кгс/см}^2.$$

3.3.3.3. Определим коэффициент асимметрии цикла

$$\rho_a = \frac{-2461}{-3103} = 0{,}79,$$

значению которого в табл. 25 главы СНиП II-21—75 соответствует коэффициент $m_{a1} = 0{,}95$, а в табл. 26 — коэффициент $m_{a2} = 0{,}95$ (для сварного соединения типа КС-М).

3.3.4. Производим проверку прочности продольной арматуры сваи-оболочки на воздействие растягивающей нагрузки N_p^p, используя условие (32) настоящего РТМ:

$$k_н n_c N_p^p = 1{,}2 \cdot 0{,}95 \cdot 200 \cdot 10^3 = 228 \cdot 10^3 \text{ кгс};$$

$$m_{a1} m_{a2} R_a F_н = 0{,}95 \cdot 0{,}95 \cdot 3600 \cdot 117{,}7 = 382 \cdot 10^3 \text{ кгс}.$$

228 тс < 382 тс — условие (32) удовлетворяется.

Таким образом, прочность продольной арматуры на воздействие осевой растягивающей нагрузки обеспечена.

4. РАСЧЕТ ПО ПРОЧНОСТИ СЕЧЕНИЙ СВАЙ-ОБОЛОЧЕК, ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ПРОДОЛЬНОЙ ОСИ ЭЛЕМЕНТА

4.1. Расчет проводим для наиболее нагруженного сечения, расположенного непосредственно у дна акватории, используя условия (33) настоящего РТМ:

$$k_н n_c \sigma_{\theta\,max} \leqslant m_б R_p.$$

4.2. Необходимое для определения $\sigma_{\theta(max)}$ расчетное значение давления в полости сваи-оболочки q^p определим по формуле (44) настоящего РТМ

$$q^p = q(n_д - 1) = 1{,}3(2{,}5 - 1) = 1{,}95 \text{ кгс/см}^2.$$

4.3. Значение $\sigma^{\theta}_{(max)}$ определим по формуле (34) РТМ:

$$\sigma_{\theta(max)} = \frac{2r^2}{R^2 - r^2} q^p = \frac{2 \cdot 68^2}{80^2 - 68^2} 1{,}95 = 10{,}2 \text{ кгс/см}^2.$$

4.4. Коэффициент условий работы $m_{б2}$ принимаем по табл. 3 главы СНиП II-56—77 равным 0,65, так как коэффициент асимметрии цикла равен нулю:

$$\rho_б = \frac{\sigma_{\theta\,(min)}}{\sigma_{\theta\,(max)}} = \frac{0{,}0}{10{,}2} = 0{,}0.$$

4.5. Производим проверку прочности бетона сваи-оболочки

$$k_н n_c \sigma_{\theta\,(max)} = 1{,}2 \cdot 0{,}95 \cdot 10{,}2 = 11{,}6 \text{ кгс/см}^2;$$

$$m_{б2} R_р = 0{,}65 \cdot 12{,}0 = 7{,}8 \text{ кгс/см}^2 < 11{,}6 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, прочность сечения, параллельного продольной оси элемента, расположенного на уровне дна акватории, не обеспечена.

Сваи-оболочки следует погружать без воды в полости, и в связи с этим, расчет по образованию продольных трещин по п. 6.3 настоящего РТМ не производится.

Параметры наиболее распространенных вибропогружателей

Параметры вибропогружателей	Тип вибропогружателя							
	ВП-3М	ВПТ-4	ВП-80	ВУ-1,6	ВП-160	ВП-170	ВРП-60/200	ВУ-3
Максимальный статический момент дебалансов, кгс·м	236,0	350,0	275,0	345,0	352,0	500 0	300—600	994,0
Круговая частота дебалансов, $с^{-1}$	42,7	35,6	42,7 48,7 57,0	88,8	42,3/83,8 47,0/94,0 52,9/104,7	42,7 49,7 57,6	31,4—54,4	52,3 57,6
Максимальное значение вынуждающей силы, кгс	$44 \cdot 10^3$	$45 \cdot 10^3$	$90 \cdot 10^3$	$80 \cdot 10^3$	$160 \cdot 10^3$	$170 \cdot 10^3$	$182 \cdot 10^3$	$280 \cdot 10^3$ $340 \cdot 10^3$
Минимальная мощность электродвигателя, кВт	100,0	100,0	100,0	75×2	155,0	160,0	100×2	200×2
Масса с электродвигателем, кгс·$с^2$/м	750,0	1190,0	900,0	1190,0	1120	1190,0	1300	2760,0

ПРИЛОЖЕНИЕ 7
Справочное

Таблица значений коэффициента пропорциональности k_z, тс/м⁴

Вид грунта и его характеристика				
Текучепластичные глины и суглинки ($0{,}75<I_l<1{,}00$)	Мягкопластичные глины и суглинки ($0{,}50<I_l<0{,}75$), пластичные супеси ($0\leqslant I_l\leqslant 1{,}00$), пылеватые пески ($0{,}60\leqslant e\leqslant 0{,}80$)	Тугопластичные и полутвердые глины и суглинки ($0\leqslant I_l\leqslant 0{,}50$), твердые супеси ($I_l<0$), пески мелкие ($0{,}60\leqslant e\leqslant 0{,}75$) и средней крупности ($0{,}55\leqslant e\leqslant 0{,}70$)	Твердые глины и суглинки ($I_l<0$), пески крупные ($0{,}55\leqslant e\leqslant 0{,}70$)	Пески гравелистые ($0{,}55\leqslant e\leqslant 0{,}7$), гравий и галька с песчаным заполнением
50—200	200—400	400—600	600—1000	1000—2000

Примечания: 1. Меньшие значения коэффициента k_z в таблице соответствуют наибольшим значениям консистенции I_l глинистых и коэффициентам пористости e песчаных грунтов, указанным в скобках после наименования грунта, а большие значения коэффициента k_z — более низким значениям I_l и e. Для грунтов, имеющих промежуточные значения I_l и e, величины коэффициентов k_z принимаются по интерполяции. В случае, когда консистенция глинистых грунтов дается не численно, а в виде наименования и пески указываются как средней плотности, величина k_z принимается равной среднему арифметическому из указанных в таблице пределов k_z для данного вида грунта.

2. Коэффициенты k_z для плотных песков принимаются на 30% выше, чем наибольшие значения указанных в таблице коэффициентов k_z для заданного вида грунта.

ПРИЛОЖЕНИЕ 8
Справочное

ДАТЧИК ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ

Тензорезисторный датчик гидродинамического давления типа ДД-2-1 конструкции Ленморниипроекта (рис. 5) применяется для измерения пульсирующих и ударных давлений в полости сваи-оболочки при вибропогружении в диапазоне давлений до 1 МПа (10 кгс/см²). Собственная частота датчика 1 кГц, масса 4,5 кг.

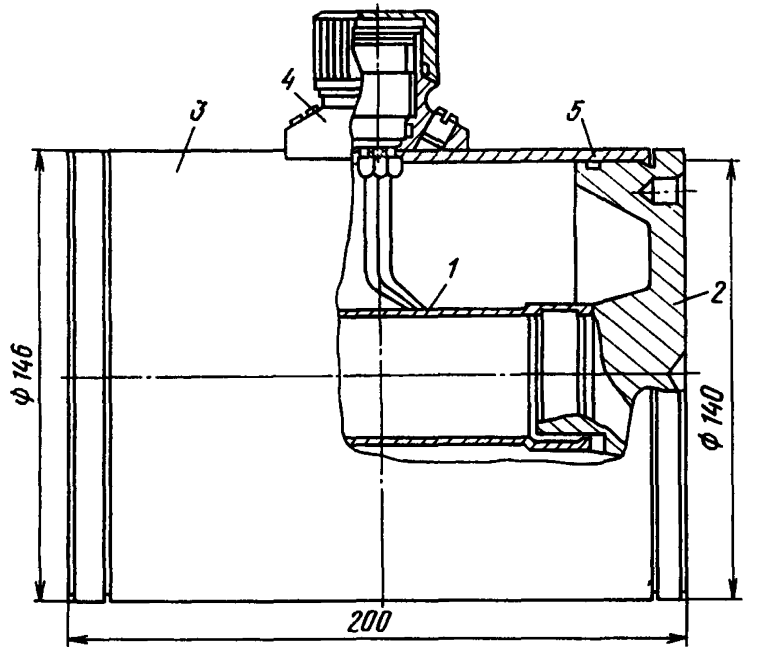

Рис. 5. Датчик гидродинамического давления:
1 — упругий элемент; *2* — силовоспринимающая площадка; *3* — кожух; *4* — тубус для крепления штепсельного разъема; *5* — резиновое уплотнительное кольцо

Датчик включает упругий элемент *1* из дюралюминия, на котором по схеме полного моста размещены проволочные тензорезисторы сопротивлением 4,5 Ом каждый, кожух *3* с тубусом *4* для крепления штепсельного разъема, две силовоспринимающие площадки *2*, сочлененные с упругим элементом на резьбе и с кожухом через резиновые уплотнительные кольца *5*. Внутренняя полость датчика заполняется трансформаторным маслом.

Датчик может применяться в комплекте с осциллографами Н-102, Н-105. Н-107, Н-700 и др. без электронного усиления сигнала.

Максимальный ток питания мостовой схемы 8 А, рабочий ток 4 А

Цена деления датчика с гальванометром типа Н135 —0,6 при рабочем токе 0,01 МПа/мм (0,1 кгс/см²/мм) — на экране.

Техническая документация на датчик разработана ПКБ треста «Севзапморгидрострой» Минтрансстроя (альбом конструкторских документов ДГДТ-75.00.00 АД).

ПРИЛОЖЕНИЕ 9
Обязательное

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗКИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Статистическую обработку для определения коэффициента перегрузки $n_д$ выполняют для строительной площадки, ее отдельных участков или отдельных секций (элементов) сооружения.

1.2 Разделение площадки строительства на отдельные участки производят с учетом однородности грунтов, слагающих основание сооружения, и глубины воды в пределах выделяемого участка.

1.3. В зависимости от конструкции сооружения отдельные участки могут быть объединены или подвергаться дальнейшему расчленению. Например, отдельный пал или секция из свай-оболочек одного и того же диаметра является элементом, для которого следует вести статистическую обработку.

2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗКИ СТАТИСТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

2.1. Коэффициент перегрузки $n_д$ устанавливается по результатам опытных измерений давления в полости свай-оболочек датчиками гидродинамического давления при условии измерения давлений с погрешностью, не превышающей 0,04, при обеспеченности 0,95.

2.2. Коэффициент перегрузки $n_д$ определяется по формуле

$$n_д = 1 + tv, \qquad (1)$$

где t — полуширина доверительного интервала, выраженного в долях средней квадратичной ошибки, равная 1.64 для доверительной вероятности 0,95;

v — коэффициент вариации максимального гидродинамического давления в полости.

2.3 Коэффициент вариации v вычисляется по формуле

$$v = \frac{\sqrt{\dfrac{\Sigma (q_i - \overline{q})^2}{n-1}}}{\overline{q}}, \qquad (2)$$

где q — среднее арифметическое значение гидродинамического давления в полости;

q_i — частные значения гидродинамического давления, измеренные по датчику, расположенному вблизи верха грунтовой пробки;

n — число измерений.

2.4. Необходимое число измерений n, гарантирующее определение гидродинамического давления с обеспеченностью (доверительной вероятностью) 0,95 и точностью 0,04, вычисляется по формуле

$$n = \frac{t^2 v^2 N}{\rho^2 N + t^2 v^2}, \qquad (3)$$

где ρ — точность определений, равная 0,04;

N — число свай-оболочек в отдельной секции (элементе) сооружения

Таблица 1

Результаты экспериментальных работ по измерению гидродинамического давления в сваях-оболочках

Диаметр свай-оболочки, см	Тип вибропогружателя	Наличие повреждений в оболочке	Величина максимального избыточного давления, кгс/см²	Частота установившегося колебательного процесса, Гц			Тип колебательного процесса в момент разрушения	Время погружения оболочки, мин		Глубина погружения в грунт от вибропогружателя, м	Превышение грунтового ядра над дном, м
				до разрушения	в момент разрушения	после разрушения		общее	с водой		
120	ВПТ-4	—	0,30	5,50	—	—	—	59,50	29,00	7,46	2,00
120	ВПТ-4	—	0,20	5,50	—	—	—	35,50	5,00	7,27	3,00
120	ВПТ-4	—	0,80	5,50	—	—	—	9,00	9,00	7,95	2,80
120	ВПТ-4	—	1,00	5,50	—	—	—	60,50	8,50	7,51	1,85
120	ВПТ-4	—	1,05	5,50	—	—	—	73,50	6,00	7,08	2,55
120	ВПТ-4	—	1,05	5,50	—	—	—	7,00	7,00	7,80	2,46
120	ВПТ-4	—	1,20	5,50	—	—	—	35,00	27,00	6,88	1,80
120	ВПТ-4	Одна трещина	3,10	5,50	5,50	5,50	Синхронный	39,50	39,50	7,80	1,35
120	ВП-160	Одна трещина	6,60	6,00	3,00	6,00	Виброударный	28,50	28,50	8,50	0,70
160	ПНВ-40×150	Одна трещина	2,40	6,00	3,00	6,00	Виброударный	11,50	11,50	10,78	3,02
160	ПНВ-40×150	Пять трещин	3,40	6,00	3,00	6,00	Виброударный	10,50	10,50	16,46	2,84

3. ПРИМЕР РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТА ПЕРЕГРУЗКИ $n_д$ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ОПЫТНЫХ ОПРЕДЕЛЕНИЙ

3.1. Исходные данные

Расчет ведется по результатам измерений гидродинамического давления, приведенным в табл. 1 для синхронного режима погружения.

3.2. Определяем среднее арифметическое значение гидродинамического давления в полости:

$$q = \frac{0{,}3 + 0{,}2 + 0{,}8 + 1{,}0 + 1{,}05 + 1{,}05 + 1{,}20 + 3{,}10}{8} = 1{,}09 \text{ кгс/см}^2.$$

3.3. Определяем коэффициент вариации v. Для удобства процесс вычисления ведем в табличной форме (табл. 2)

Таблица 2

Статистическая обработка результатов измерения гидродинамического давления

№ п/п	q_i	$q_i - q$	$(q_i - q)^2$
1	0,30	—0,79	0,62
2	0,20	—0,89	0,79
3	0,80	—0,29	0,08
4	1,00	—0,09	0,01
5	1,05	—0,04	0,00
6	1,05	—0,04	0,00
7	1,20	0,11	0,01
8	3,10	2,01	4,04
Σ	8,70	—0,02	5,55

$$v = \frac{\sqrt{\frac{5{,}55}{8-1}}}{1{,}09} = 0{,}82.$$

3.4. Определяем коэффициент перегрузки $n_д$ по формуле (1) настоящего приложения: $n_д = 1 + tv = 1 + 1{,}64 \cdot 0{,}82 = 2{,}35$.

ПРИЛОЖЕНИЕ 10
Справочное

Соотношения между некоторыми единицами физических величин, подлежащих изъятию, и единицами СИ

Наименование величины	Единица				Соотношение единиц
	подлежащая изъятию		СИ		
	Наименование	Обозначение	Наименование	Обозначение	
Сила; нагрузка; вес	килограмм-сила тонна-сила грамм-сила	кгс тс гс	ньютон	Н	1 кгс ~ 9,8 Н ~ 10 Н 1 тс ~ $9{,}8 \cdot 10^3$ Н ~ 10 кН 10 мН
Линейная нагрузка	килограмм-сила на метр	кгс/м	ньютон на метр	Н/м	1 кгс/м ~ 10 Н/м
Поверхностная нагрузка	килограмм-сила на квадратный метр	кгс/м²	ньютон на квадратный метр	Н/м²	1 кгс/м² ~ 10 Н/м²
Давление	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см²	паскаль	Па	1 кгс/см² ~ ~ $9{,}8 \cdot 10^4$ Па ~ ~ 10^5 Па ~ 0,1 МПа
	миллиметр водяного столба	мм вод ст			1 мм вод ст. ~ ~ 9,8 Па ~ 10 Па
	миллиметр ртутного столба	мм рт. ст			1 мм рт ст ~ 133,3 Па
Механическое напряжение	килограмм-сила на квадратный миллиметр	кгс/мм²	паскаль	Па	1 кгс/мм² ~ ~ $9{,}8 \cdot 10^6$ Па ~ ~ 10^7 Па ~ 10 МПа
Модуль продольной упругости; модуль сдвига; модуль объемного сжатия	килограмм-сила на квадратный сантиметр	кгс/см²			1 кгс/см² ~ $9{,}8 \cdot 10^4$ Па 10^5 Па ~ 0,1 МПа
Момент силы, момент пары сил	килограмм-сила-метр	кгс·м	ньютон-метр	Н·м	1 кгс·м ~ 9,8 Н·м ~ ~ 10 Н м
Частота вращения	оборот в секунду оборот в минуту	об/с об/мин	секунда в минус первой степени	$с^{-1}$	1 $с^{-1}$ $\frac{1}{60}$ $с^{-1}$ ~ 0,017 $с^{-1}$

ПРИЛОЖЕНИЕ 11
Справочное

ПЕРЕЧЕНЬ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИХ ДОКУМЕНТОВ, НА КОТОРЫЕ ИМЕЮТСЯ ССЫЛКИ В РТМ

ГОСТ 483—75.	Канаты пеньковые.
ГОСТ 1779—72.	Шнуры асбестовые.
ГОСТ 4795—68.	Бетон гидротехнический. Технические требования
ГОСТ 6418—67.	Войлок технический грубошерстный и детали из него для машиностроения. Виды и технические требования.
ГОСТ 7338—77.	Пластины резиновые и резинотканевые. Технические условия.
СНиП II-51—74	Гидротехнические сооружения морские Основные положения проектирования
СНиП II-50—74	Гидротехнические сооружения речные. Основные положения проектирования.
СНиП II-21—75.	Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования.
СНиП II-56—77.	Бетонные и железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. Нормы проектирования.
СНиП II-17—77.	Свайные фундаменты. Нормы проектирования.
	Руководство по производству и приемке работ при устройстве оснований и фундаментов. М., Стройиздат, 1977.
ВСН 6/118—74 / Минморфлот, Минтрансстрой	Указания по обеспечению долговечности бетонных конструкций морских гидротехнических сооружений.
ВСН 34/Х—78 / Минтрансстрой	Технические указания по производству и приемке работ при возведении морских и речных портовых сооружений.
РМС 41—74 / СМНИИП	Руководство по обеспечению сохранности свай-оболочек при вибропогружении.
3.504—5 / СМНИИП	Набережные типа больверк из оболочек диаметром 160 см. Вып. 2. Л., 1972.
3.504—6 / СМНИИП	Набережные типа больверк из призматического шпунта. Вып. 2. Л., 1972.
3.504—10 / СМНИИП	Портовые набережные-эстакады на железобетонных сваях сечением 45×45 см. Вып 4. Одесса, 1972.

СОДЕРЖАНИЕ

1. Общие положения 3
2. Основные расчетные положения . . . . . —
3. Определение напряжений в арматуре и бетоне в процессе изготовления свай и свай-оболочек 4
4. Условия трещиностойкости и прочности предварительно напряженных призматических свай, погружаемых забивкой 5
5. Определение напряжений и усилий в призматических сваях, возникающих при их забивке 7
6. Условия прочности и трещиностойкости предварительно напряженных свай-оболочек, погружаемых вибрированием 14
7. Определение усилий и напряжений в сваях-оболочках, возникающих при их вибропогружении 15

Приложения:
1. Технические характеристики свайных молотов (справочное) 18
2. Таблица значений величин e^{-z} и e^{z} (справочное) . . . 20
3. Примеры динамического расчета забивной железобетонной сваи (справочное) 21
4. Рекомендации по технологии изготовления и выбору режима забивки свай (рекомендуемое) 25
5. Пример динамического расчета сваи-оболочки, погружаемой вибрированием (справочное) 28
6. Параметры наиболее распространенных вибропогружателей (справочное) 35
7. Таблица значений коэффициента пропорциональности k_z (справочное) 36
8. Датчик гидродинамического давления (справочное) . . 37
9. Методика определения коэффициента перегрузки по результатам опытных определений (обязательное) 38
10. Соотношения между некоторыми единицами физических величин, подлежащих изъятию, и единицами СИ (справочное) 41
11. Перечень нормативно-технических документов, на которые имеются ссылки в РТМ (справочное) 42

Методика расчета предварительно напряженных свай и свай-оболочек на динамические усилия при их погружении

РТМ 31.3017—78

Отв. за выпуск *А. В. Никонов*

Редактор *Э. А. Андреева*

Технический редактор *Б. Г. Колобродова*

Корректор *О. Л. Лизина*

Л—67195. Сдано в набор 31/I-1980 г. Подписано в печать 18/III—1980 г. Формат изд. 60×90 1/16. Бум. множ. апп. Гарнитура литературная. Печать высокая. Печ. л. 2,75. Уч-изд. л. 2,89. Тираж 300 экз. Изд. № 537-Т. Заказ тип. № 590. Цена 43 коп.

Центральное рекламно-информационное агентство ММФ (ЦРИА «Морфлот»)

Типография «Моряк», Одесса, ул. Ленина, 26