НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ СТВОЛА

МОСКВА 1983

gost.e-ecolog.ru

Госстрой СССР

Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
бетона и железобетона
(НИИЖБ)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ СТВОЛА

Утверждены
директором НИИЖБ
22 ноября 1982 г.

Москва 1983

УДК 624.154.3:624.155.1

Печатается по решению секции бетонных и железобетонных конструкций НТС НИИЖБ от 22 ноября 1980 г.

Рекомендации по проектированию предварительно-напряженных железобетонных свай без поперечного армирования ствола. М., НИИЖБ Госстроя СССР, 1983, с. 30.

Даны предложения по расчету преднапряженных целых и составных свай из тяжелого и легкого бетонов по первой и второй группам предельных состояний, содержатся конструктивные требования, предъявляемые к сваям без поперечной арматуры, а также приведены примеры расчета для случаев, наиболее часто встречающихся в практике проектирования свай.

Предназначены для инженерно-технических работников проектных и строительных организаций.

Табл.1, ил.4, список лит.: 2 назв.

© Ордена Трудового Красного Знамени
научно-исследовательский институт
бетона и железобетона, 1983

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование предварительно-напряженных свай без поперечного армирования ствола с арматурой, сосредоточенной в центральной зоне поперечного сечения свай, применяемых в промышленном и гражданском строительстве.

Рекомендации разработаны на основе результатов исследований, проведенных в НИИЖБ Госстроя СССР и НИИПромстрое Минпромстроя СССР с учетом требований главы СНиП П-21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции", а также рекомендаций "Руководства по проектированию предварительно-напряженных железобетонных конструкций из тяжелого бетона"(М., 1977) и "Руководства по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из бетонов на пористых заполнителях" (М., 1978).

При составлении расчетных формул учтены конструктивные и геометрические особенности свай данного вида.

Рекомендации разработаны НИИЖБ Госстроя СССР (д-р техн.наук Г.И.Бердичевский, кандидаты техн.наук В.А.Якушин, Е.А.Чистяков, Е.М.Чериковер, Н.К.Ахмедов, инж.Е.В.Кубашов) совместно с НИИПромстроем Минпромстроя СССР (канд.техн.наук А.Д.Назаров) и ГПИ "Фундаментпроект" Минмонтажспецстроя СССР (инженеры Г.М.Лешин, В.Ф.Соколова).

Все замечания и предложения по содержанию Рекомендаций просим направлять в НИИЖБ по адресу: 109389, Москва, 2-я Институтская ул. д.6.

Дирекция НИИЖБ

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Усилия от внешних нагрузок и воздействий в поперечном сечении элемента:

M – изгибающий момент или момент внешних сил относительно центра тяжести сечения;

N – продольная сила;

Q – поперечная сила.

2. Характеристики предварительно-напряженного элемента

σ_0 – предварительное напряжение в напрягаемой арматуре до обжатия бетона (при натяжении арматуры на упоры) либо в момент снижения величины предварительного напряжения в бетоне до нуля под воздействием на элемент внешних фактических или условных сил, определяемое согласно указаниям пп. 1.21. 1.25 и 1.27 Руководства /1/ с учетом потерь предварительного напряжения в арматуре, соответствующих рассматриваемой стадии работы элемента;

σ_{01} и σ_{02} – напряжения σ_0 с учетом соответственно первых и всех потерь.

3. Характеристики материалов

$R_{пр}$ и $R_{прII}$ – расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний соответственно первой и второй групп;

$R_р$ и $R_{рII}$ – расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельных состояний соответственно первой и второй групп ;

R_g – передаточная прочность бетона, назначаемая в соответствии с указаниями п.2.3 Руководства /1/;

$R_а$ – расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению для предельных состояний первой группы;

$R_{ас}$ – расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию для предельных состояний первой группы;

$R_{аII}$ – расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению для предельных состояний второй группы;

n – отношение модуля упругости арматуры $E_а$ к модулю упругости бетона $E_б$

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

h – высота и ширина квадратного сечения сваи;

z – длина сваи;

$F_н$ – площадь сечения всей напрягаемой арматуры;

a – расстояние от равнодействующей усилий в напрягаемой арматуре

до ближайшей грани сваи, принимаемое равным $h/2$;

h_0 – рабочая высота сечения сваи, равная $h-a$, т.е. $h/2$;

x – высота сжатой зоны бетона;

ξ – относительная высота сжатой зоны бетона, равная x/h_0, т.е. $x/0,5h$;

ξ – граничное значение относительной высоты сжатой зоны;

e_0 – эксцентриситет продольной силы N относительно центра тяжести приведенного сечения, равный M/N и определяемый в соответствии с указаниями п.3.41 Руководства /I/;

e_{0c} – эксцентриситет равнодействующей продольной силы N и усилия предварительного обжатия N_0 относительно центра тяжести приведенного сечения;

μ – коэффициент армирования, принимаемый равным отношению площади сечения всей напрягаемой арматуры к I/2 площади поперечного сечения элемента, т.е. $F_н/0,5h^2$;

$a_т$ – ширина раскрытия нормальных трещин в уровне равнодействующей усилий в напрягаемой арматуре.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.I. Настоящие Рекомендации распространяются на проектирование предварительно-напряженных железобетонных свай сплошного квадратного сечения, выполненных без поперечного армирования ствола с продольной арматурой в центральной зоне поперечного сечения, изготовляемых из тяжелого и легкого бетонов и предназначенных для использования в условиях, перечисленных в п.I.I главы СНиП П-21-75 "Бетонные и железобетонные конструкции".

I.2. Продольная арматура размещается в центральной зоне поперечного сечения сваи симметрично относительно его центра тяжести. Центральной зоной поперечного сечения считается квадратный участок, границы которого удалены от соответствующих сторон сечения сваи не менее чем на $0,35h$.

I.3. Расчет целых и составных железобетонных предварительно-напряженных свай без поперечного армирования ствола следует выполнять с учетом общих требований главы СНиП П-21-75 и положений настоящих Рекомендаций.

Примечание. При проектировании составных свай следует дополнительно учитывать особенности расчета и конструирования стыковых соединений.

I.4. Проектирование железобетонных свай, предназначенных для работы в условиях агрессивной среды и повышенной влажности, следует вести с учетом дополнительных требований, предъявляемых г л а в о й *СНиП II-28-73 "Защита строительных конструкций от коррозии"*.

Основные расчетные требования

I.5. Предварительно-напряженные железобетонные сваи без поперечного армирования ствола должны удовлетворять требованиям расчета по несущей способности (предельные состояния первой группы) и по пригодности к нормальной эксплуатации (предельные состояния второй группы). Необходимость выполнения расчетов, перечисленных в п.I.II главы СНиП II-2I-75, устанавливается в зависимости от условий, в которых работают сваи и от вида применяемой арматуры.

Примечание. Ссылки на действующие нормативные документы даны по их состоянию на декабрь 1982 г.

I.6. Сваи должны быть рассчитаны по прочности и трещиностойкости:

а) на изгиб от усилий, возникающих при подъеме сваи на копер за одну точку, расположенную от торца на расстоянии $0{,}294L$, г д е L – длина призматической части сваи; при этом коэффициент перегрузки и нагрузке от собственного веса сваи не вводится ($n = 1{,}0$), а коэффициент динамичности К принимается равным I,8 – при расчете по прочности и I,25 – при расчете по трещиностойкости;

б) на изгиб, на внецентренное сжатие или растяжение в зависимости от усилий, возникающих в строительный и эксплуатационный периоды.

Примечание. Расчет по раскрытию трещин при проектировании свай допускается не производить, если на основании опытной проверки или практики применения свай в подобных условиях установлено, что ширина раскрытия трещин не превышает предельно допустимых величин.

I.7. Величины нагрузок и воздействий, порядок их учета, значения коэффициентов перегрузок и коэффициентов сочетания нагрузок при выполнении расчетов по п.I.6,б настоящих Рекомендаций следует принимать с учетом указаний пп. I.I0, I.I3-I.I5 Руководства /I/.

I.8. При расчете свай на усилия, указанные в п.I.6,а настоящих Рекомендаций, к трещиностойкости нормальных сечений предъявляются *требования I-й категории, т.е. образование трещин не допускается*,

I.9. При расчете свай на усилия, указанные в п.I.6,б настоящих Рекомендаций, к трещиностойкости нормальных сечений предъявляются требования в соответствии с таблицей.

Напряженное состояние сечения	Категория требований к трещиностойкости свай и допустимая ширина кратковременного $a_{т.кр}$ и длительного $a_{т.дл}$ раскрытия трещин для свай с арматурой класса	
	А-IУ, А-У, Ат-IУ, Ат-У	Ат-УI, Вр-П, К-7
Сечение полностью растянуто	I-я категория	I-я категория
Сечение частично сжато	3-я категория $a_{т.кр} = 0,15$ мм $a_{т.дл} = 0,1$ мм	I-я категория

I.I0. К трещиностойкости наклонных сечений свай без поперечного армирования ствола предъявляются требования I-й категории.

Предварительные напряжения в железобетонных сваях

I.II. Предельную величину предварительного напряжения продольной арматуры σ_0 следует принимать равным:

а) при механическом способе натяжения:

для стержневой арматуры $\sigma_0 \leq 0,95\, R_{aII}$; (I)

для проволочной арматуры $\sigma_0 \leq 0,76\, R_{aII}$; (2)

б) при электротермическом способе натяжения стержневой арматуры

$$\sigma_0 \leq R_{aII} - 300 - \frac{3600}{l} \quad , \qquad (3)$$

где l - длина натягиваемого стержня (расстояние между наружными гранями упоров), принимаемая равной $L + 0,5$ м.

При электротермическом способе натяжения величину σ_0 следует назначать с учетом допустимых температур нагрева - см.п.I.2I Руководства /I/.

I.I2. При расчете предварительно-напряженных свай следует учитывать потери предварительного напряжения арматуры в соответствии с п.I.22 Руководства /I/ и п.I.4 Руководства /2/.

I.I3. Величина предварительного напряжения в арматуре вводится в расчет с коэффициентом точности натяжения арматуры согласно указаниям п.I.24 Руководства /I/.

I.I4. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия $\sigma_{б.п}$ не должны превышать величин (в долях от передаточной прочности бетона R_0), указанных в табл.6 главы СНиП П-2I-75.

2. МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫХ СВАЙ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ СТВОЛА

Бетон

2.1. При разработке рабочих чертежей свай, проектные марки бетона по прочности на осевое сжатие, по морозостойкости и водонепроницаемости, а также его передаточную прочность R_o следует назначать в соответствии с указаниями главы СНиП II-21-75. Если проектная марка бетона принята выше минимального значения, указанного в табл.7 главы СНиП II-21-75, передаточная прочность должна составлять не менее 70 % проектной марки бетона.

2.2. При проектировании свай в рабочих чертежах должны быть указаны марки бетона по прочности на осевое сжатие, по морозостойкости и водонепроницаемости.

2.3. При проектировании свай, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, должны быть предусмотрены мероприятия, обеспечивающие коррозионную стойкость бетона.

2.4. Материалы, применяемые для приготовления бетона свай, должны отвечать требованиям соответствующих стандартов и обеспечивать получение бетона заданных марок по прочности, морозостойкости и водонепроницаемости.

2.5. Для тяжелого бетона в качестве крупного заполнителя следует применять фракционированный щебень крупностью не более 40 мм из естественного камня или гравия.

Для бетона целых свай длиной до 12 м, армированных стержневой арматурой в качестве крупного заполнителя допускается применять гравий.

2.6. Для приготовления керамзитобетонной смеси следует применять цементы марок 400 и 500: портландцемент , сульфатостойкий,пластифицированный портландцемент.

В качестве крупного заполнителя следует использовать керамзит, удовлетворяющий требованиям ГОСТ 9757-73 и 9759-76. При этом максимальная крупность зерен не должна превышать 20 мм. В качестве мелкого заполнителя можно применять пористые пески, плотные пески или же их смеси.

Арматура

2.7. При проектировании свай классы и марки стали для продольной напрягаемой арматуры, конструктивной арматуры головы и острия,а

также монтажных петель следует назначать в соответствии с указаниями пп. 2.I5, 2.I7-2.2I Руководства /I/.

2.8. Для армирования свай следует применять арматуру, отвечающую требованиям действующих норм проектирования железобетонных конструкций, стандартов или утвержденных в установленном порядке технических условий на арматурную сталь.

2.9. Качество и количество арматуры должно быть подтверждено актом на скрытые работы с указанием результатов механических испытаний стали.

Нормативные и расчетные характеристики бетона и арматуры

2.I0. При проектировании свай и свайных фундаментов нормативные и расчетные характеристики бетона и арматуры следует принимать в соответствии с указаниями главы СНиП П-2I-75, Руководств /I,2/, а также настоящих Рекомендаций.

3. РАСЧЕТ СВАЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

Расчет железобетонных свай по прочности

3.I. Расчет свай по прочности производится:

а) на монтажные усилия, возникающие при перевозке и подъеме сваи на копер; в этом случае расчетные сопротивления бетона сжатию R_{np} и растяжению R_p следует принимать по табл.I2 Руководства /I/ при $m_{б1} = I,I$;

б) на усилия, возникающие в свае в строительный и эксплуатационный периоды; в этом случае значение коэффициента $m_{б1}$ принимается с учетом указаний п.3.I Руководства /I/. При условии погружения сваи в грунт (за исключением просадочного) на всю длину, расчет следует выполнять при $m_{б1} = I,0$ (см.п.3.I,а Руководства /I/).

3.2. Расчет железобетонных свай по прочности следует производить для сечений, указанных в п.3.9 главы СНиП П-2I-75.

Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси сваи

3.3. Определение предельных усилий в сечении, нормальном к продольной оси сваи, производят в соответствии с указаниями п.3.I0 главы СНиП П-2I-75.

3.4. Расчет сечений, нормальных к продольной оси сваи, выполняют как для общего случая расчета нормальных сечений железобетонных

элементов согласно п.3.28 главы СНиП П-21-75, а также пп.3.18, 3.43 и 3.59 Руководства /1/; для случаев, перечисленных в п.3.5 - с учетом указаний настоящих Рекомендаций.

3.5. Расчет сечений, нормальных к продольной оси сваи, в случае, когда внешняя сила действует в плоскости оси симметрии сечения и арматура сосредоточена в центральной зоне поперечного сечения сваи, производят в зависимости от соотношения между величиной относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = \frac{2x}{h}$, определяемой из соответствующих условий равновесия, и граничным значением относительной высоты сжатой зоны бетона ξ_R, при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению R_a. Величину ξ_R следует определять по формуле (22) Руководства /1/.

3.6. При соблюдении условия $\xi = \frac{2x}{h} < \xi_R$ расчетное сопротивление арматуры R_a в соответствии с указаниями п.3.13 главы СНиП П-21-75, следует умножить на коэффициент условий работы m_{a4}, приняв $\xi = \frac{2x}{h}$.

Изгибаемые сваи

3.7. Расчет сечений, указанных в п.3.5 настоящих Рекомендаций (рис.1), следует производить в зависимости от высоты сжатой зоны, равной

$$x = \frac{m_{a4} \cdot R_a \cdot F_н}{R_{пр} \cdot h}, \qquad (4)$$

где m_{a4} - см.п.3.6 настоящих Рекомендаций,

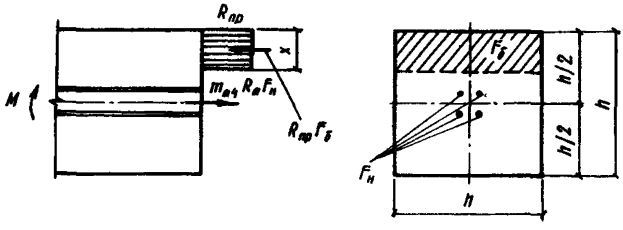


Рис.1. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемой железобетонной сваи, при расчете ее по прочности

Расчет ведем исходя из следующих условий:

а) при $\xi = \frac{2x}{h} \leq \xi_R$ - из условия

$$M \leq 0{,}5 \cdot R_{пр} \cdot h \cdot x \,(h - x)\,; \qquad (5)$$

б) при $\xi = \frac{2x}{h} > \xi_R$ - из условия

$$M \leq \frac{A_R + A_0}{2} \cdot R_{пр} \cdot \frac{h^3}{4}\,. \qquad (6)$$

В условии (6) значения A_R и A_0 находят либо по формулам:

$$A_R = \xi_R\,(1 - 0{,}5\,\xi_R)\,; \qquad (7)$$

$$A_0 = \frac{2x}{h^2}\,(h - x)\,, \qquad (8)$$

либо - по табл.25 и 26 Руководства /I/;

ξ_R - см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

Значение $\xi = \frac{2x}{h}$ при сопоставлении его с ξ_R допускается определять при $m_{a4} = 1{,}0$.

3.8. При расчете свай на изгиб рекомендуется соблюдать условие п.3.10 Руководства /I/.

3.9. Продольную арматуру подбирают следующим образом:

а) вычисляют значение

$$A_0 = \frac{4M}{R_{пр}\ h^3}\,; \qquad (9)$$

б) при $A_0 \leq A_R$ (см.табл.25 Руководства /I/) площадь сечения продольной напрягаемой арматуры определяют по формуле

$$F_H = \frac{2M}{m_{a4} \cdot R_a \cdot \nu \cdot h}\,, \qquad (10)$$

где значение ν и величину $\xi = \frac{2x}{h}$, необходимую для вычисления m_{a4} (см.п.3.7 Руководства /I/), принимают по табл.26 Руководства /I/ в зависимости от значения A_0. Если $A_0 > A_R$, следует увеличить размеры сечения сваи или повысить марку бетона.

Внецентренно-сжатые сваи

3.10. При расчете внецентренно-сжатых свай необходимо учитывать случайный эксцентриситет $e_0^{сл}$ в соответствии с указаниями п.1.22 главы СНиП II-21-75 и эксцентриситет, возникающий в результате смещения сваи в плане на величину, допускаемую главой С Н и П III-9-74 "Основания и фундаменты. Правила производства и приемки работ", а также влияние прогиба на несущую способность свай в соответствии с указаниями п.3.42 Руководства /I/. Влияние прогиба учитывается только для части сваи, выступающей над поверхностью грунта.

3.11. Прочность нормальных сечений внецентренно сжатых с в а й (рис.2) производят из условия

$$Ne_0 \leq 0{,}5 R_{пр} \cdot h \cdot x (h - x) , \qquad (11)$$

где высоту сжатой зоны бетона x определяют:

а) по формуле (12) при условии, что вычисленная по этой же формуле высота сжатой зоны $x \leq 0{,}5 \xi_R h$,

$$x = \frac{N + m_{a4} R_a F_н}{R_{пр} h} , \qquad (12)$$

где m_{a4} – см. п.3.6 настоящих Рекомендаций.

Значение x при сопоставлении его с $0{,}5 \xi_R h$ допускается определять при $m_{a4} = 1$.

ξ_R – см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

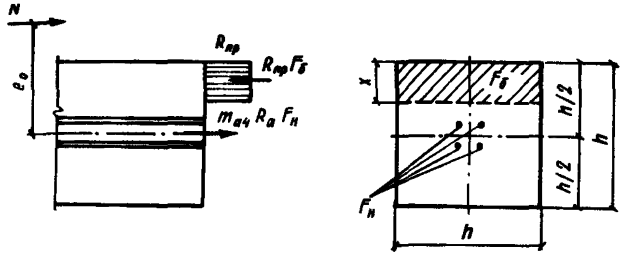


Рис.2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно-сжатой железобетонной сваи при расчете ее по прочности

б) по формуле (13) при условии, что вычисленная по этой же формуле высота сжатой зоны

$$x \geq 0{,}55 h ,$$

$$x = \frac{N + \sigma_c F_н}{R_{пр} h} , \qquad (13)$$

где σ_c – напряжение в арматуре, принимаемое равным $\sigma_c = \sigma_0 - \sigma_\varepsilon$, но не менее $- R_{a.c}$; σ_ε – предельное напряжение в арматуре, принимаемое равным:

σ_ε = 5000 кгс/см^2 (при $m_{б1} = 0{,}85$);

σ_ε = 4000 кгс/см^2 (при $m_{б1} = 1$ или $m_{б1} = 1{,}1$).

При условии, что $x > h$, следует увеличить размеры сечений сваи или изменить армирование и величину предварительного напряжения σ_0 ;

в) если условия "а" и "б" не соблюдаются, расчет выполняют по формуле

$$x = \frac{\left[N + \left(\sigma_c + 1{,}1\,\frac{R_a - \sigma_c}{1{,}1 - \xi_R}\right) F_н\right] \cdot h}{R_{пр} h^2 + \frac{2(R_a - \sigma_c)}{1{,}1 - \xi_R} F_н} \quad . \qquad (14)$$

3.12. Предельную несущую способность внецентренно-сжатых свай $N_п$ при заданных размерах сечения, прочности бетона, армировании и начальном эксцентрицитете приложения продольной силы без учета гибкости определяют в зависимости от величины относительного обжатия бетона и начального эксцентрицитета из условий:

а) при $\alpha' = \frac{2\sigma_c F_a}{R_{пр} h^2} \geq 1{,}1$

или в том случае, когда $\alpha' < 1{,}1$

и $$e_0 \leq \frac{0{,}225h}{1 - \frac{\alpha'}{1{,}1}}, \quad \text{– по формуле} \qquad (15)$$

$$N_п = R_{пр} hx - \sigma_c F_н , \qquad (16)$$

где $$x = 0{,}5h - e_0 + \sqrt{(0{,}5h - e_0)^2 + \alpha' e_0 h} , \qquad (17)$$

σ_c – см. п.3.11 настоящих Рекомендаций.

Если значение $N_п$ окажется отрицательным, это значит, что при заданных характеристиках свая не способна воспринять усилия от внешней нагрузки;

б) при $$\alpha = \frac{2 R_a F_н}{R_{пр} \cdot h^2} \leq \xi_R$$

и $$e_0 \geq 0{,}5h\,\frac{1 - 0{,}5\xi_R}{1 - \frac{\alpha}{\xi_R}} \quad \text{– по формуле} \qquad (18)$$

$$N_п = R_{пр} hx - m_{a4} R_a F_н , \qquad (19)$$

где высоту сжатой зоны x вычисляют по формуле (20) или (21)

$$x = 0{,}5h - e_0 + \sqrt{(0{,}5h - e_0)^2 + m_{a4}\,\alpha\, e_0 h} , \qquad (20)$$

с учетом зависимости для m_{a4} (см.п.3.7 Руководства [1])

$$x = 0{,}5h - e_0 \kappa + \sqrt{(0{,}5h - e_0 \kappa)^2 + \alpha\, \bar{m}_{a4} h e_0} , \qquad (21)$$

где $$\kappa = 1 + \alpha\,\frac{\bar{m}_{a4} - 1}{\xi_R} ; \qquad (22)$$

ξ_R – см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

При расчете по формуле (21) необходимо определить коэффициент m_{a4} согласно п.3.13 главы СНиП II-21-75 по найденному значению x. Если значение m_{a4} окажется выше максимально допустимого, то следует определять по формуле (20) при максимально допустимом значении m_{a4}.

в) если условия "а" и "б" не выполняются, расчет производят по формуле

$$N_n = R_{np} h x - \sigma_a F_n \ , \qquad (23)$$

где $$x = 0{,}5h - e_o K_1 + \sqrt{(0{,}5h - e_o K_1)^2 + \alpha h e_o K_2} \ ; \qquad (24)$$

В формулах (23) и (24):

$$K_1 = 1 + \alpha \frac{1 - \frac{\sigma_c}{R_a}}{1{,}1 - \xi_R} \ , \qquad (25)$$

$$K_2 = \frac{\sigma_c}{R_a} + \frac{1{,}1\left(1 - \frac{\sigma_c}{R_a}\right)}{1{,}1 - \xi_R} \ ; \qquad (26)$$

$$\sigma_a = \left[\frac{\sigma_c}{R_a} + \left(1 - \frac{\sigma_c}{R_a}\right)\frac{1{,}1 - \frac{2x}{h}}{1{,}1 - \xi_R}\right] R_a \ . \qquad (27)$$

Центрально-растянутые сваи

3.13. Расчет прочности нормальных сечений растянутых свай с продольной арматурой, расположенной в центральной зоне поперечного сечения, производят из условия

$$N \leq \bar{m}_{a4} \cdot R_a \cdot F_n \ , \qquad (28)$$

где $\bar{m}_{a4}$ - см. п.3.7 Руководства /I/.

Внецентренно-растянутые сваи

3.14. Независимо от величины эксцентриситета e_o прочность нормальных сечений свай проверяют из условия

$$N e_o \leq 0{,}5 R_{np} h x \ (h - x) \ , \qquad (29)$$

где

$$x = \frac{m_{a4} R_a F_n - N}{R_{np} h} \qquad (30)$$

m_{a4} - см. п.3.7 Руководства /I/.

Если $x \geq 0{,}5 \xi_R h$, то в условие (29) подставляют значение $x = 0{,}5 \xi_R h$, где ξ_R - см.п.3.6 Руководства /I/.

При $x \leq 0$ необходимо увеличить количество арматуры.

Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси сваи

3.15. Для предварительно-напряженных изгибаемых и внецентренно-сжатых свай без поперечного армирования ствола расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси элемента, следует производить в соответствии с указаниями п.3.36 СНиП II-21-75 и п.3.34 Руководст-

ва /I/; при этом рабочую высоту сечения условно принимают равной $h_o = h_{усл} = 0{,}9h$.

3.I6. Расчет по прочности наклонных сечений внецентренно-растянутых свай на действие поперечной силы производят аналогично расчету изгибаемых свай, однако при этом значения R_p умножают на коэффициент $K_н$, определяемый в соответствии с указаниями п.3.60 Руководства /I/.

4. РАСЧЕТ СВАЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Расчет по образованию трещин

4.I. Железобетонные сваи рассчитываются по образованию трещин:
нормальных к продольной оси сваи;
наклонных к продольной оси сваи.

4.2. Расчет по образованию трещин производят с целью

а) избежать их появления в сваях, к трещиностойкости которых предъявляются требования I-й категории;

б) выявления необходимости проверки по раскрытию трещин свай, к трещиностойкости которых предъявляются требования 3-й категории.

Учет нагрузок, коэффициента перегрузки n и коэффициента точности натяжения $m_т$ следует производить в соответствии с п.I.6 настоящих Рекомендаций и п.I.I2 Руководства /I/.

Расчет по образованию трещин, нормальных к продольной оси сваи

4.3. Для изгибаемых, растянутых и внецентренно сжатых железобетонных свай усилия, воспринимаемые сечениями, нормальными к продольной оси, при расчете по образованию трещин следует определять исходя из положений, приведенных в п.4.2 Руководства /I/.

4.4. Расчет по образованию трещин производят в соответствии с указаниями пп. 4.3-4.7 Руководства /I/, при этом из формул исключают члены, относящиеся к арматуре F_a , $F'_н$ и F'_a , и принимают $e_{он} = 0$

В формуле (I83) Руководства /I/ член $R_{рд} W_т$ необходимо умножить на коэффициент 0,9.

Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при расчете его по образованию трещин, нормальных к продольной о с и, приведены на рис.3.

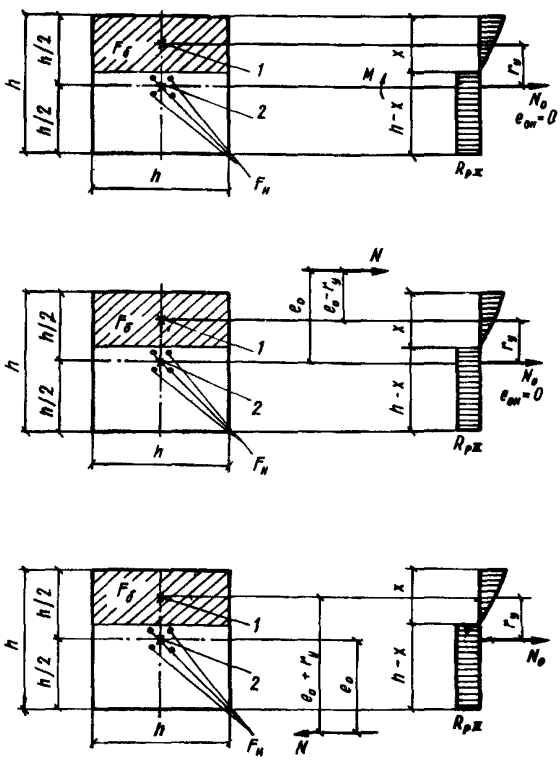


Рис.3. Схема усилий и эпюры напряжений в поперечном сечении сваи при расчете его по образованию трещин, нормальных к продольной оси сваи при изгибе (а), при внецентренном сжатии (б) и внецентренном растяжении (в)

I - ядровая точка; 2 - центр тяжести приведенного сечения

Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси сваи

4.5. Для изгибаемых свай расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси сваи, можно не производить, если соблюдается условие (201) Руководства /I/ при $h_{исл} = 0{,}9h$.

4.6. Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси сваи, следует производить из условий (202) - (204) и (208) Руководства /I/.

Расчет свай по раскрытию трещин

4.7. По раскрытию трещин рассчитываются только изгибаемые и внецентренно-сжатые железобетонные сваи со стержневой арматурой, к которым предъявляются требования 3-й категории трещиностойкости (см.табл.I настоящих Рекомендаций).

4.8. Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси сваи, на усилия, возникающие в ней после погружения в грунт, производится на кратковременное и на длительное раскрытие трещин.

Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси сваи

4.9. Ширину раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи $a_т$, следует определять в соответствии с указаниями пп.4.I8 - 4.20, 4.22 Руководства /I/ и пп. 4.I0 - 4.I4 настоящих Рекомендаций.

Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при расчете его по ширине раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи, приведены на рис.4.

4.I0. Коэффициент армирования сечений $\bar{\mu}$ следует принимать равным отношению площади сечения всей продольной арматуры $F_н$ к I/2 площади поперечного сечения сваи

$$\bar{\mu} = \frac{2F_н}{h^2} \quad . \qquad (3I)$$

4.II. При расчете по трещиностойкости необходимо учитывать коэффициент K_c (см. п.4.I9 Руководства /I/).

4.I2. При р а с п о л о ж е н и и продольной арматуры в несколько рядов по высоте сечения при условии, что расстояние от оси крайнего ряда до центра тяжести сечения сваи не превышает расстояния, указанного в п.I.I настоящих Рекомендаций, коэффициент $\varphi_л$ (см. п.4.20 Руководства /I/) допускается принимать равным $\varphi_л = I$.

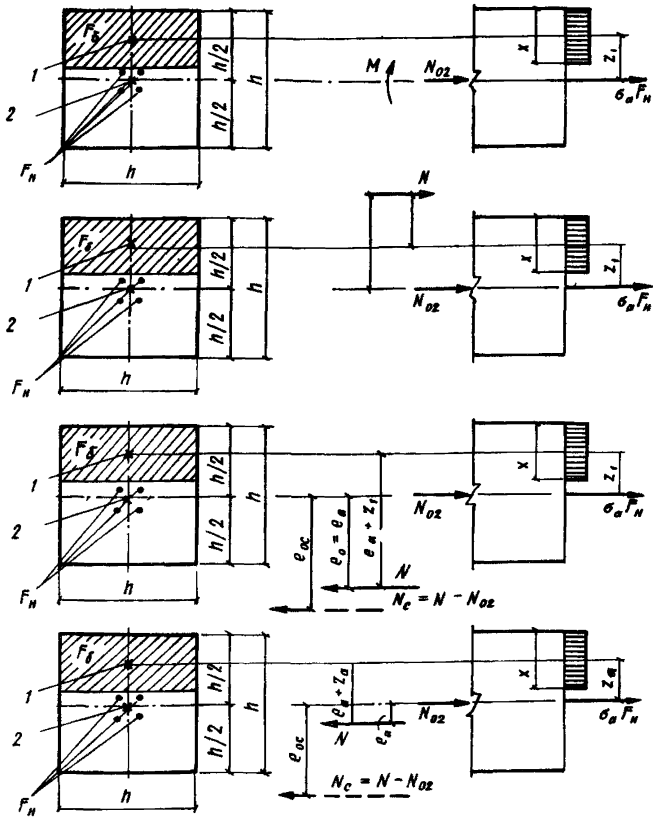


Рис.4. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при его расчете по ширине раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи

а – при изгибе; б – при внецентренном сжатии; в, г – при внецентренном растяжении (соответственно при $e_{oc} \geq 0{,}8\,h/2$) и $e_{oc} < 0{,}8\,h/2$

I – точка приложения равнодействующей усилий в сжатой или наименее растянутой зоне; 2 – центр тяжести площади соответственно арматуры и приведенного сечения

4.I3. При определении коэффициента β по формуле (2I9) Руководства /I/ значение μ следует принимать равным $\mu = \bar{\mu}$ (см.п.4.I0 настоящих Рекомендаций).

Коэффициент K_m (см.п.4.I9 Руководства /I/) не учитывается.

Допускается также не учитывать коэффициент K_σ.

4.I4. Для рассматриваемых свай выражения п. 4.34 Руководства /I/ принимают вид:

$$\gamma' = 0; \quad T = 0;$$
$$L = \frac{4M_3}{h^3 R_{np}}; \quad Z_1 = 0{,}5(h - x); \tag{32}$$

при этом усилие N_c (см.п. 4.33 Руководства /I/) не должно быть растягивающим.

5. КОНСТРУКТИВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-НАПРЯЖЕННЫМ СВАЯМ БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО АРМИРОВАНИЯ СТВОЛА

5.I. Длину целых свай, а также элементов составных свай следует принимать от 4 до I2 м.

5.2. Поперечное сечение свай рекомендуется принимать равным 25х25, 30х30, 35х35, 40х40 и 45х45 см.

5.3. В стадии изготовления необходимо обеспечить условия для свободного деформирования ствола сваи при передаче предварительного напряжения с арматуры на бетон.

При использовании неразъемных форм для облегчения извлечения сваи должен быть предусмотрен технологический уклон боковых граней формы.

5.4. Минимальное расстояние между стержнями арматуры следует принимать согласно пп. 5.2I - 5.24 Руководства /I/.

5.5. При использовании в качестве напрягаемой рабочей арматуры высокопрочной проволоки, арматурных канатов и стержневой арматуры периодического профиля, натягиваемых на упоры, установка постоянных анкеров у концов сваи не требуется.

5.6. Площадь сечения продольной напрягаемой арматуры следует принимать в соответствии с п. 5.34 Руководства /I/.

5.7. Косвенное армирование концов свай следует назначать согласно п. 2.I9 Руководства /I/, при этом в оголовнике сваи, на участке длиной до $2h$ устанавливают сетки, а в острие сваи, на участке длиной не менее h - спираль.

В составных сваях участки, прилегающие к стыку, должны быть усилены косвенной арматурой на участке длиной не менее h.

5.8. Монтажные петли должны быть изготовлены из горячекатаной арматурной стали (см.п.2.21 Руководства /1/) и прикреплены вязальной проволокой к напрягаемой арматуре сваи.

ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Пример I. Проверить по прочности и трещиностойкости нормальные сечения предварительно-напряженной сваи без поперечного армирования ствола на действие нагрузки от ее собственного веса при подъеме на копер.

Исходные данные: длина сваи L = 9 м; размеры сечения $b = h$ = 30см; $h_0 = h/2$ = I5 см; бетон тяжелый марки М300; предварительно-напряженная арматура класса А-IУ (IØI6, $F_н$ = 2,0II см^2) R_a = 5000 кгс/см^2, $R_a^н = R_{aII}$ = 6000 кгс/см^2, натяжение арматуры осуществляется на упоры электротермическим способом; изделие подвергается пропариванию.

Расчет.

Значение изгибающего момента M_p от собственного веса сваи Р определяем в соответствии с указаниями п.I.6,а настоящих Рекомендаций с учетом коэффициента динамичности К, принимаемого:
при расчете по прочности равным К = I,8,
при расчете по трещиностойкости К = I,25

$$M_p = K.0,043\,PL\,,$$

здесь $P = h^2 L \gamma_б = 0,3^2.9.2,5 = 2,025$ тс.

Таким образом, при расчете по прочности –

$$M_p = I,8.0,043.2,025\,.9 = I,42 \text{ тс.м};$$

при расчете по трещиностойкости –

$$M_p = I,25.0,043.2,025\,.9 = 0,985 \text{ тс.м}.$$

Определяем характеристики предварительно-напряженной сваи, необходимые для расчета нормальных сечений по прочности и трещиностойкости.

Величину предварительного напряжения в арматуре определяем по формуле (3)

$$\sigma_0 = R_{aII} - 300 - \frac{3600}{l} = 6000 - 300 - \frac{3600}{9,5} = 532I \text{ кгс/см}^2;$$

здесь l – расстояние между упорами, м, равное $l = L + 0,5 = 9,5$ м.

Характеристики материалов:

R_{mp} = I45 кгс/см^2 (см.табл.I2 Руководства /I/) при $m_{бt}$ = I,I (см.п.I.6,а настоящих Рекомендаций);

$R_p^н = R_{pII}$ = I5 кгс/см^2 (см.табл.II Руководства /I/);

$E_б$ = 260000 кгс/см^2 (табл.I8 главы СНиП П-2I-75);

$E_а$ = 2000000 кгс/см^2 (см.табл.29 главы СНиП П-2I-75);

$$h = \frac{E_а}{E_б} = 7{,}69.$$

Определяем потери предварительного напряжения арматуры согласно указаниям п.I.I2 настоящих Рекомендаций по табл.4 Руководства /I/.

А. Первые потери:

I. от релаксации напряжений стержневой арматуры при электротермическом способе ее натяжения

$$\sigma_1 = 0{,}03 \quad \sigma_0 = 0{,}03 \cdot 532I = I59{,}6 \text{ кгс/см}^2;$$

2. от температурного перепада

$$\sigma_2 = I2{,}5 \quad \Delta t = I2{,}5 \cdot 65 = 8I2{,}5 \text{ кгс/см}^2;$$

3. от быстронатекающей ползучести бетона, подвергнутого тепловой обработке, по формуле

$$\sigma_6 = 425 \frac{\sigma_{б.н}}{R_0} \quad \text{при условии, что} \quad \frac{\sigma_{б.н}}{R_0} \leqslant \alpha = 0{,}6.$$

Передаточная прочность бетона

R_0 = 2I0 кгс/см^2 (см. п.2.3 Руководства /I/).

Напряжения в бетоне определяем, пользуясь формулой (II) Руководства /I/

$$\sigma_{бн} = \frac{N_0}{F_п} = \frac{8746}{9I5} = 9{,}56 \text{ кгс/см}^2;$$

здесь N_0 – усилие обжатия, равное

$$N_0 = \left[\sigma_0 - (\sigma_1 + \sigma_2)\right] F_н = \left[532I - (I59{,}6 + 8I2{,}5)\right] .2{,}0II = 8746 \text{ кгс};$$

$F_п$ – площадь приведенного сечения, определяемая по формуле (I2) Руководства /I/;

$$F_п = F + nF_н = 30x30 + 7{,}69 .2{,}0I1 = 9I5 \text{ см}^2.$$

Поскольку $\frac{\sigma_{бн}}{R} = \frac{9{,}56}{2I0} = 0{,}06 < 0{,}6$ (т.е. условие выполняется), определяем потери

$\sigma_б$ [illegible] $\frac{9{,}56}{}$ [illegible] кгс/см^2.

Таким образом, сумма первых потерь составляет

$$\sigma_{п1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_6 = I59{,}6 + 8I2{,}5 + I9{,}3 = 992 \text{ кгс/см}^2.$$

Б. Вторые потери:

4. от усадки бетона марки М300, подвергнутого тепловой обработке

$$\sigma_8 = 350 \text{ кгс/см}^2;$$

5. от ползучести бетона

$$\sigma_9 = 1700 \frac{\sigma_{бп}}{R_o} = 1700 \frac{9,56}{210} = 77 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, сумма вторых потерь будет равна

$$\sigma_{п2} = \sigma_8 + \sigma_9 = 427 \text{ кгс/см}^2.$$

Следовательно, предварительное напряжение в арматуре с учетом всех потерь составит

$$\sigma_{o2} = \sigma_o - (\sigma_{п1} + \sigma_{п2}) = 5321 - (992 + 427) = 3902 \text{ кгс/см}^2.$$

Проверка прочности нормальных сечений

Используя формулу (4) определяем значение относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = \frac{2x}{h}$ без учета коэффициента m_{a4} по формуле

$$\xi = \frac{2 R_a F_н}{R_{пр} h^2} = \frac{2.5000.2,011}{145.30^2} = 0,154.$$

По формуле (22) Руководства /I/ находим значения ξ_R согласно указаниям п.3.5 настоящих Рекомендаций

$$\xi_R = \frac{\xi_o}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_\varepsilon}\left(1 - \frac{\xi_o}{1,1}\right)},$$

где $\xi_o = 0,85 - 0,0008\, R_{пр} = 0,85 - 0,0008.145 = 0,73$ (см.п.3.12 главы СНиП П-21-75);

$\sigma_\varepsilon = 4000$ кгс/см^2 при $m_{б1} = 1,1$ (см.п.3.11,б настоящих Рекомендаций);

σ_A – напряжение в арматуре растянутой зоны, принимаемое для арматуры класса А-IУ равным

$$\sigma_A = R_a + 4000 - \sigma_o \text{ (см.п.3.6 Руководства /I/).}$$

При этом σ_o принимаем с учетом всех потерь и с учетом коэффициента точности натяжения $m_т$ (см.п.1.24 Руководства /I/), меньше единицы, т.е. $\sigma_o = m_т \sigma_{o2}$, где $m_т = 1 - \Delta m_т$.

Определяем $\Delta m_т$ при электротермическом способе натяжения арматуры по формуле

$$\Delta m_т = 0,5 \frac{p}{\sigma_o}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{n_c}}\right) = 0,5 \frac{679}{5321}\left(1 + \frac{1}{\sqrt{7}}\right) = 0,13;$$

здесь $P = 300 + \frac{3600}{l} = 300 + \frac{3600}{9,5} = 679$ кгс/см^2

$\sigma_o = 5321$ кгс/см^2 (без учета потерь);

n_c – число стержней, равное I.

Следовательно, $m_т = I-0,I3 = 0,87$;

$\sigma_A = 5000+4000-0,87\ 3902 = 5605$ кгс/см^2.

Таким образом $\xi_R = \dfrac{0,73}{I\dfrac{5605}{4000}\left(I-\dfrac{0,73}{I,I}\right)} = 0,495.$

Поскольку $\xi = 0,I54 < \xi_R = 0,495$ расчет ведем из условия (5) с учетом коэффициента m_{a4}, определяемого по формуле (24) Руководства /I/ при $\bar{m}_{a4} = I,2$ (напрягаемая арматура класса А-IУ)

$$m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1)\frac{\xi}{\xi_R} = I,2-(I,2-I)\frac{0,I54}{0,495} = I,I38.$$

Высоту сжатой зоны определяем по формуле (4) с учетом коэффициента m_{a4}

$$x = \frac{m_{a4} R_a F_a}{R_{пр} h} = \frac{I,I4.5000.2,0II}{I45.30} = 2,64 \text{ см}.$$

При этом $\xi = \dfrac{2x}{h} = \dfrac{2.2,64}{30} = 0,I76 < \xi_R = 0,495.$

Следовательно, несущую способность сечения определяем из условия (5)

$$0,5 \cdot R_{пр} \cdot h \cdot x\,(h-x) = 0,5.I45.30.2,64\ (30-2,64) = I57I0I \text{ кгс.см} =$$
$$= I,57 \text{ тс.м} > M_p = I,42 \text{ тс.м},$$

т.е. прочность сечения обеспечена.

Проверка трещиностойкости нормальных сечений

При расчете свай на изгиб от усилий, возникающих при подъеме на копер, должны быть удовлетворены требования I-й категории трещиностойкости, т.е. не допускается образование нормальных трещин (см. п.I.6,а настоящих Рекомендаций).

Расчет изгибаемой сваи по образованию трещин ведем из условия (I82) Руководства /I/ в соответствии с указаниями пп.4.3 и 4.4 настоящих Рекомендаций

$$M_B^я \le M_т,$$

где $M_B^я = M_p = 0,985$ тс.м .

Определяем $M_т$ с учетом коэффициента 0,9 при члене $R_{pII} W_т$ и принимая $e_{он} = 0$

$$M_т = 0,9\, R_{pII}\, W_т + M_{об}^я ,$$

где $M_{об}^я = N_o\,(e_{он} + r_y) = N_o r_y$.

При расчете по предельным состояниям второй группы значения

коэффициента $m_т$ принимаем согласно табл.2 Руководства /I/: $m_т < I$, т.е. $m_т = 0,87$.

Коэффициент перегрузки принимаем как при расчете по прочности равным $n = I$ (см.примечания к табл.2 Руководства /I/ и п.I.6,а настоящих Рекомендаций).

Таким образом, $N_o = m_т \sigma_{o2} F_н = 0,87 \cdot 3902 \cdot 2,0II = 6827$ кгс.

Определяем значение r_y по формуле (I87) Руководства /I/

$$r_y = 0,8 \frac{W_o}{F_n} = 0,8 \frac{4500}{915} = 3,93 \text{ см};$$

здесь для квадратного сечения при $y = h_o = \frac{h}{2}$

$$W_o = \frac{J_n}{y} = \frac{h^3}{6} = \frac{30^3}{6} = 4500 \text{ см}^3;$$

$$F_n = 915 \text{ см}^2.$$

Таким образом, $M_б^g = N_o r_y = 6827 \cdot 3,93 = 26829$ кгс.м $= 2,68$ тс.м.

Определяем значение $W_т$ по формуле (I93) и табл.35 Руководства/I/

$W_т = I,75 W_o = I,75 \cdot 4500 = 7875$ см^3.

Таким образом, $M_т = 0,9 \cdot I5 \cdot 7875 + 26829 = I33I4I$ кгс.см $=$
$= I,33$ тс.м $> M_p = 0,985$ тс.м.

т.е. условие трещиностойкости выполнено и нормальные трещины не образуются.

Пример 2. Определить предельную несущую способность N_u внецентренно сжатой сваи.

Исходные данные: начальный эксцентриситет приложения продольной силы от постоянных и длительно действующих эксплуатационных нагрузок $e_o' = 5$ см; свая полностью погружена в непросадочный грунт. Остальные данные - размеры сваи, характеристики материалов и т.д. - см.пример I.

Расчет

Принимаем для бетона марки М300 по табл.I2 Руководства /I/ $R_{пр} = I35$ кгс/см^2 при $m_{б1} = I$ (см.п.3.I,б настоящих Рекомендаций).

Согласно п.3.I0 настоящих Рекомендаций влиянием прогиба на несущую способность пренебрегаем и определяем величину начального эксцентриситета e_o продольной сжимающей силы N с учетом случайного начального эксцентриситета $e_o^{сл}$ (см.п.I.22 главы СНиП П-2I-75) и эксцентриситета, возникающего вследствие смещения сваи в плане $e_4 = 6$ см (см.п.8.25 главы СНиП Ш-9-74).

Случайный начальный эксцентриситет определяем из условий

$$e_0^{сл} \geq 1/600\, L = \frac{900}{600} = 1{,}5 \text{ см};$$

$$e_0^{сл} \geq 1/30\, h = \frac{30}{30} = 1 \text{ см};$$

$$e_0^{сл} \geq 1 \text{ см}.$$

Принимаем $e_0^{сл} = 1{,}5$ см.

Таким образом, $e_0 = e_0' + e_0^{сл} + e_1 = 5+1{,}5+6 = 12{,}5$ см.

Определяем предельную несущую способность нормального сечения сваи согласно указаниям п.3.12,а-в настоящих Рекомендаций.

Проверяем условие п.3.12,а

$$\alpha' = \frac{2\sigma_c F_н}{R_{пр} h^2} \geq 1,$$

где $\sigma_c = \sigma_0 - \sigma_\varepsilon = 3455-4000 = -545$ кгс/см^2;

здесь $\sigma_\varepsilon = 4000$ кгс/см^2 при $m_{\sigma 1} = 1{,}0$;

$\sigma_0 = m_т \sigma_{02} = 0{,}87 \cdot 3902 = 3395$ кгс/см^2,

$m_т = 0{,}87$; $\sigma_{02} = 3902$ кгс/см^2 (см.пример 1).

Поскольку $\sigma_c = -545 < 0$, условие $\alpha' \geq 1$ не выполняется.

Проверяем условие п.3.12,б.

Первое условие $\alpha = \frac{2R_a F_н}{R_{пр} h^2} \leq \xi_R$

Согласно указаниям п.3.5 настоящих Рекомендаций определяем значение ξ по формуле (22) Руководства /1/ (см.также пример 1)

$$\xi_R = \frac{\xi_0}{1 + \frac{\sigma_A}{\sigma_\varepsilon}\left(1 - \frac{\xi_0}{1{,}1}\right)},$$

где $\xi_0 = 0{,}85-0{,}0008\, R_{пр} = 0{,}85-0{,}0008 \cdot 135 = 0{,}742$;

$\sigma_\varepsilon = 4000$ кгс/см^2; $m_т = 0{,}87$;

$\sigma_A = R_a + 4000 - m_т \sigma_{02} = 5605$ кгс/см^2.

Тогда

$$\xi_R = \frac{0{,}742}{1+\frac{5605}{4000}\left(1 - \frac{0{,}742}{1{,}1}\right)} = 0{,}508.$$

Таким образом, $\alpha = \frac{2R_a F_н}{R_{пр} h^2} = \frac{2 \cdot 5000 \cdot 2{,}011}{135 \cdot 30^2} =$

$= 0{,}165 < \xi_R = 0{,}508$, т.е. условие соблюдается.

Второе условие $$e_0 \geq 0{,}5h\left(\frac{1-0{,}5\xi_R}{1-\frac{\alpha}{\xi_R}}\right),$$

где e_0 = I2,5 см.

Следовательно,

$$0{,}5h\ \left(\frac{I-0{,}5\,\xi_R}{I-\frac{\alpha}{\xi_R}}\right) = 0{,}5.30\ \left(\frac{I-0{,}5.0{,}508}{I-\frac{0{,}I65}{0{,}508}}\right) =$$

= I6,6 см > e_0 = I2,5 см, т.е. условие не соблюдается.

Поскольку условия п.3.I2,а,б настоящих Рекомендаций не удовлетворяются, несущую способность сваи определяем в соответствии с указаниями п.3.I2,в по формуле (23)

$$N_n = R_{np} \cdot h \cdot x - \sigma_a F_a ,$$

где $x = 0{,}5h - e_0K_1 + \sqrt{(0{,}5h - e_0K_1)^2 + \alpha h e_0 K_2} =$

$= 0.5.30-I2,5.I,3I+\sqrt{(0{,}5.30-I2{,}5.I{,}3I)^2+0{,}I65.30.I2{,}5.\ 2{,}I7} =$

= II,05 см

здесь $$K_1 = I+\alpha\ \frac{1-\frac{\sigma_c}{R_a}}{1{,}1-\xi_R} = I+0{,}I65\ \frac{I-\frac{-545}{5000}}{I{,}I-0{,}508} = I{,}3I;$$

$$K_2 = \frac{\sigma_c}{R_a} + \frac{I{,}I\ (I-\frac{\sigma_c}{R_a})}{I{,}I-\xi_R} = \frac{-545}{5000} + \frac{I{,}I\ (I-\frac{-545}{5000})}{I{,}I-0{,}508} = 2{,}I7.$$

Напряжения в арматуре σ_a определяем по формуле

$$\sigma_a = \left[\frac{\sigma_c}{R_a} + \left(1-\frac{\sigma_c}{R_a}\right)\frac{1{,}1-\frac{2x}{h}}{1{,}1-\xi_R}\right] R_a = \left[\frac{-545}{5000} + \left(I-\frac{-545}{5000}\right)\frac{I{,}I-\frac{2{,}9{,}8}{30}}{I{,}I-0{,}508}\right] x$$

x 5000 = 486> кгс/см^2.

Таким образом, предельная несущая способность сваи

N_n = I35.30.II,05-4865.2.0II = 34969 кгс = 35 тс.

Пример 3. Проверить трещиностойкость внецентренно-сжатой сваи по нормальным сечениям.

Исходные данные: продольная сила от постоянных и длительно действующих эксплуатационных нагрузок N_{gl} = 30 тс; эксцентриситет ее приложения e_0' = 5 см, остальные данные - размер сваи, характеристика материалов и т.д. - см.примеры I и 2.

Расчет

При расчете сваи по трещиностойкости должны быть удовлетворены требования п.I.6,б и I,9 настоящих Рекомендаций. К трещиностойкости сваи с напрягаемой арматурой класса А-IУ предъявляются требования 3-й категории с предельной допустимой шириной раскрытия нормальных

трещин $a_{T\,gл}$ = 0,I мм (см. п.I.9 настоящих Рекомендаций).

Определяем величину начального эксцентрицитета e_o не учитывая при этом, согласно указаниям п.I.22 главы СНиП П-2I-75, случайный эксцентрицитет $e_o^{сл}$; e_1 = 6 см (см.пример 2)

$$e_o = e_o' + e_1 = 5+6 = II \text{ см.}$$

Проводим расчет внецентренно сжатой сваи по образованию трещин с целью выяснения необходимости проверки по раскрытию трещин. При этом принимаем коэффициент перегрузки n = I, коэффициент точности натяжения m_T = I (см.табл.2 Руководства /I/).

I. Расчет нормальных сечений по образованию трещин.

Ведем расчет согласно указаниям п.4.5 Руководства /I/ из условия

$$M_B^g \leq M_T ,$$

где $M_T = 0,9\, R_{pII}\, W_T + M_{об}^{я}$ (см.п.4.4 настоящих Рекомендаций);

$M_{об} = N_o\,(e_{oн} + r_y) = N_o r_y = 7847.3,93 = 30839$ кгс/см;

здесь $N_o = m_T \cdot \sigma_{02} \cdot F_н = I.3902.2,0II = 7847$ кгс;

$e_{oн} = 0$ (см.п.4.4 настоящих Рекомендаций);

r_y = 3,93 см (см.пример I);

$M_B^g = N\,(e_o - r_y) = 30000\ (II-3,93) = 2I2I00$ кгс.см;

W_T = 7875 см^3 (см.пример I);

$M_T = 0,9.I5.7875+30839 = I37I52$ кгс.см $< M_B^{я} = 2I2I00$ кгс.см,

т.е. условие трещиностойкости не выполняется, и требуется проверить ширину раскрытия нормальных трещин.

2. Расчет нормальных сечений сваи по раскрытию трещин.

Ширину раскрытия трещин определяем по формуле (2I5) Руководства /I/ в соответствии с указаниями пп.4.9 – 4.I4 настоящих Рекомендаций

$$a_T = K \cdot C_g \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_a}{E_a}\, 20\ (3,5-I00\bar{\mu})\ \sqrt[3]{d} ,$$

где K – коэффициент, принимаемый для внецентренно сжатых элементов равным I,0;

C_g – коэффициент, принимаемый при учете длительного действия постоянных и длительных нагрузок для конструкций из бетона естественной влажности равным I,5;

η – коэффициент, принимаемый при стержневой арматуре периодического профиля равным I,0;

σ_a – приращение напряжений в напрягаемой арматуре, определяемое по формуле (232) Руководства /I/, поскольку $M_B^g > M_T$ (см.пример 2)

$$\sigma_a = \frac{M_з}{(F_н + F_a)\,h_o} \cdot K_т = \frac{2M_з}{F_н h} K_т ,$$

где $M_з = Ne_o + N_{o2} e_{a.н.}$ = 30000.II = 330000 кгс.см,

здесь $e_a = e_o$ = II см,

$N_{o2} = m_т \sigma_{o2} F_н$ = I.3902.2,0II = 7847 кгс;

$e_{aн} = 0$;

$K_т$ – коэффициент, определяемый по табл.38 Руководства /I/ в зависимости от соотношения $e_{a.c}$ и h_o, а также от значений γ' и μ,

$$e_{a.c} = \frac{M_з}{N_c} = \frac{M_з}{N + N_{o2}} = \frac{330000}{30000 + 7847} = 8{,}7 \text{ см},$$

При $\frac{e_{a.c}}{h_o} = \frac{8{,}7}{I5} = 0{,}58 < 0{,}8$, $\gamma' = 0$ (см.п.4.I4 настоящих Рекомендаций) и

$$\mu_п = \frac{E_a F_н + E_a F_a}{E_б b h_o} = \frac{E_a \cdot F_н \cdot 2}{E_б \cdot h^2} = \frac{2000000.2{,}0II.2}{260000.30^2} = 0{,}034$$

принимаем $K_т = 0{,}I$.

Таким образом, $\sigma_a = \frac{2.330000}{2{,}0II.30}\,0{,}I$ = I094 кгс/см^2;

$\bar{\mu}$ – коэффициент армирования сечения, определяемый по формуле (3I) настоящих Рекомендаций

$$\bar{\mu} = \frac{2F_н}{h^2} = \frac{2.2{,}0II}{30^2} = 0{,}0045;$$

d – диаметр арматуры, равный I,6 мм.

Тогда

$$a_т = I.I{,}5.I.\ \frac{I094}{2000000}.20\ (3{,}5 - I00.0{,}0045)\sqrt[3]{I{,}6} =$$

$$= 0{,}I25 \text{ мм} > a_{т\,дл} = 0{,}I \text{ мм},$$

т.е. ширина раскрытия трещин больше предельно допустимого значения.

Приложение 2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Руководство по проектированию предварительно-напряженных конст - рукций из тяжелого бетона. М., I977.
2. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конст- рукций из бетонов на пористых заполнителях. М., I978.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
Основные буквенные обозначения	4
I. Основные положения	5
Основные расчетные требования	6
Предварительные напряжения в железобетонных сваях	7
2. Материалы для предварительно-напряженных свай без поперечного армирования ствола	8
Бетон	8
Арматура	8
Нормативные и расчетные характеристики бетона и арматуры	9
3. Расчет свай по предельным состояниям первой группы	9
Расчет железобетонных свай по прочности	9
Расчет по прочности сечений, нормальных к продольной оси элемента	9
Изгибаемые сваи	I0
Внецентренно-сжатые сваи	II
Центрально-растянутые сваи	I4
Внецентренно-растянутые сваи	I4
Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси сваи	I4
4. Расчет свай по предельным состояниям второй группы	I5
Расчет свай по образованию трещин	I5
Расчет свай по образованию трещин, нормальных к продольной оси сваи	I5
Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси сваи	I7
Расчет свай по раскрытию трещин	I7
Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси сваи	I7
5. Конструктивные требования к предварительно-напряженным сваям без поперечного армирования ствола	I9
Приложение I. Примеры расчета	2I
Приложение 2. Список литературы	30

Рекомендации по проектированию предварительно-напряженных железобетонных свай без поперечного армирования ствола

Отдел научно-технической информации НИИЖБ Госстроя СССР
109389, Москва, 2-я Институтская ул., д.6

Редактор Т.В.Филиппова

Л - 91861 Подписано в печать 28/III-83 Заказ № 373
Формат 60x84/16 Печ.л.1,8 Т. 500 экз. Цена 27 коп.

Типография ПЭМ ВНИИИС Госстроя СССР
121471, Москва, Можайское шоссе, д.25

gost.e-ecolog.ru