

НИИЖБ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНО-
НАПРЯЖЕННЫХ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ
БЕЗ ПОПЕРЕЧНОГО
АРМИРОВАНИЯ СТВОЛА

МОСКВА 1983

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. I, 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. I.21, I.25 и I.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_{np} и R_{npII} - расчетное сопротивление бетона осевому сжатию для предельных состояний соответственно первой и второй групп;
- R_p и R_{pII} - расчетное сопротивление бетона осевому растяжению для предельных состояний соответственно первой и второй групп;
- R_0 - передаточная прочность бетона, назначаемая в соответствии с указаниями п.2.3 Руководства [1];
- R_a - расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению для предельных состояний первой группы;
- R_{ac} - расчетное сопротивление продольной арматуры сжатию для предельных состояний первой группы;
- R_{aII} - расчетное сопротивление продольной арматуры растяжению для предельных состояний второй группы;
- n - отношение модуля упругости арматуры E_a к модулю упругости бетона E_B

ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

- h - высота и ширина квадратного сечения свай;
- z - длина свай;
- F_n - 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.3.4I Руководства [1];
- e_{oc} - 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 $1/2$ площади поперечного сечения элемента, т.е. $F_n/0,5h^2$;
- α_r - ширина раскрытия нормальных трещин в уровне равнодействующей усилий в напрягаемой арматуре.

I. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

I.1. 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.1.1 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.

1.4. 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 П-28-73 "Защита строительных конструкций от коррозии".

Основные расчетные требования

1.5. 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.1.11 главы СНиП П-21-75, 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.

1.6. 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 $0,294L$, где L — длина призматической части сваи; при этом коэффициент перегрузки и нагрузке от собственного веса сваи не вводится ($n = 1,0$), а коэффициент динамичности K принимается равным 1,8 — при расчете по прочности и 1,25 — 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.

1.7. Величины нагрузок и воздействий, порядок их учета, значения коэффициентов перегрузок и коэффициентов сочетания нагрузок при выполнении расчетов по п.1.6,б настоящих Рекомендаций следует принимать с учетом указаний пп. 1.10, 1.13-1.15 Руководств /1/.

1.8. При расчете свай на усилия, указанные в п.1.6,а настоящих Рекомендаций, к трещиностойкости нормальных сечений предъявляются требования I-й категории, т.е. образование трещин не допускается,

1.9. При расчете свай на усилия, указанные в п.1.6,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-IV, А-У, Ат-IV, Ат-У | Ат-VI, Вр-II, 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 |

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

Предварительные напряжения в железобетонных сваях

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

- а) при механическом способе натяжения:
- для стержневой арматуры $\sigma_0 \leq 0,95 R_{aII}$; (1)
- для проволочной арматуры $\sigma_0 \leq 0,76 R_{aII}$; (2)

б) при электротермическом способе натяжения стержневой арматуры

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

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.1.21 Руководства /1/.

1.12. При расчете предварительно-напряженных свай следует учитывать потери предварительного напряжения арматуры в соответствии с п.1.22 Руководства /1/ и п.1.4 Руководства /2/.

1.13. Величина предварительного напряжения в арматуре вводится в расчет с коэффициентом точности натяжения арматуры согласно указаниям п.1.24 Руководства /1/.

1.14. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия $\sigma_{сж}$ не должны превышать величин (в долях от передаточной прочности бетона R_0), указанных в табл.6 главы СНиП П-21-75.

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_p , следует назначать в соответствии с указаниями главы СНиП П-21-75. Если проектная марка бетона принята выше минимального значения, указанного в табл.7 главы СНиП П-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. 2.15, 2.17-2.21 Руководства /1/.

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

2.10. При проектировании свай и свайных фундаментов нормативные и расчетные характеристики бетона и арматуры следует принимать в соответствии с указаниями главы СНиП П-21-75, Руководств /1,2/, а также настоящих Рекомендаций.

3. РАСЧЕТ СВАЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ПЕРВОЙ ГРУППЫ

Расчет железобетонных свай по прочности

3.1. Расчет свай по прочности производится:

а) на монтажные усилия, возникающие при перевозке и подъеме свай на копер; в этом случае расчетные сопротивления бетона сжатию R_{np} и растяжению R_p следует принимать по табл.12 Руководства /1/ при $m_{\sigma_1} = 1,1$;

б) на усилия, возникающие в свае в строительный и эксплуатационный периоды; в этом случае значение коэффициента m_{σ_1} принимается с учетом указаний п.3.1 Руководства /1/. При условии погружения свай в грунт (за исключением просадочного) на всю длину, расчет следует выполнять при $m_{\sigma_1} = 1,0$ (см.п.3.1,а Руководства /1/).

3.2. Расчет железобетонных свай по прочности следует производить для сечений, указанных в п.3.9 главы СНиП П-21-75.

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.3.10 главы СНиП П-21-75.

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. I), следует производить в зависимости от высоты сжатой зоны, равной

$$x = \frac{m_{a4} \cdot R_a \cdot F_a}{R_{np} \cdot h}, \quad (4)$$

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

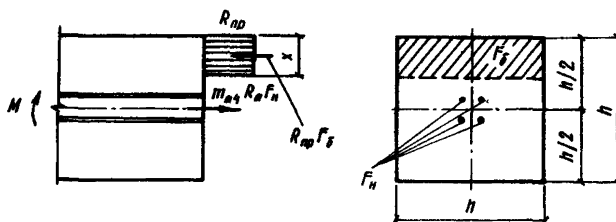


Рис. I. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемой железобетонной сваи, при расчете ее по прочности

Расчет ведем исходя из следующих условий:

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

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

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

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

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

$$A_R = \xi_R (1 - 0,5 \xi_R); \quad (7)$$

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

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 опеределить 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

$$A_0 = \frac{4M}{R_{np} h^3}; \quad (9)$$

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

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

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 свай или повысить марку бетона.

Внецентренно-сжатые сваи

3.10. При расчете внецентренно-сжатых свай необходимо учитывать случайный эксцентриситет e_{ca} в соответствии с указаниями п.1.22 главы СНиП II-21-75 и эксцентриситет, возникающий в результате смещения свай в плане на величину, допускаемую главой СНиП II-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 свай, выступающей над поверхностью грунта.

3.11. Прочность нормальных сечений внецентренно сжатых свай (рис.2) производят из условия

$$N e_0 \leq 0,5 R_{np} \cdot h \cdot x (h - x), \quad (II)$$

где высоту сжатой зоны бетона x определяют:

а) по формуле (I2) при условии, что вычисленная по этой формуле высота сжатой зоны $x \leq 0,5 \xi_R h$,

$$x = \frac{N + m_{a4} R_a F_H}{R_{np} h}, \quad (I2)$$

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

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

ξ_R - см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

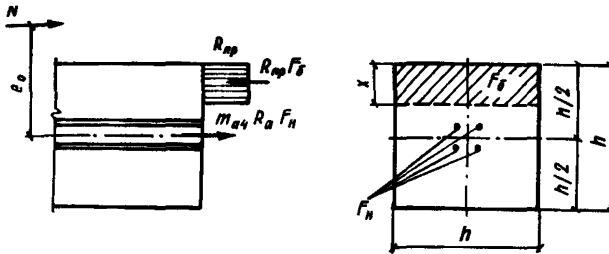


Рис.2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно-сжатой железобетонной сваи при расчете ее по прочности

б) по формуле (I3) при условии, что вычисленная по этой формуле высота сжатой зоны

$$x \geq 0,55 h, \quad (I3)$$

$$x = \frac{N + \sigma_c F_H}{R_{np} h},$$

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

$$\sigma_\epsilon = 5000 \text{ кгс/см}^2 \quad (\text{при } m_{\delta 1} = 0,85);$$

$$\sigma_\epsilon = 4000 \text{ кгс/см}^2 \quad (\text{при } m_{\delta 1} = I \text{ или } m_{\delta 1} = I, 1).$$

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

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

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

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

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

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

и

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

$$N_n = R_{np} h x - \sigma_c F_H, \quad (16)$$

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

σ_c - см. п.3.11 настоящих Рекомендаций.

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

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

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

$$N_n = R_{np} h x - m_{a4} R_a F_H, \quad (19)$$

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

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

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

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

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

ξ_R - см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

При расчете по формуле (21) необходимо определить коэффициент m_{a4} согласно п.3.13 главы СНиП П-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

$$N_H = R_{np} h x - \sigma_a F_H, \quad (23)$$

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

В формулах (23) и (24):

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

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

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

Центрально-растянутые сваи

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

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

где \bar{m}_{a4} - см. п.3.7 Руководства [1].

Внецентренно-растянутые сваи

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

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

где

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

m_{a4} - см. п.3.7 Руководства [1].

Если $x \geq 0,5 \xi_R h$, то в условие (29) подставляют значение

$$x = 0,5 \xi_R h, \quad \text{где } \xi_R - \text{см. п.3.6 Руководства [1].}$$

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 П-21-75 и п.3.34 Руководств-

ва $/I/$; при этом рабочую высоту сечения условно принимают равной $h_0 = h_{усл} = 0,9h$.

3.16. 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_n , определяемый в соответствии с указаниями п.3.60 Руководства $/I/$.

4. РАСЧЕТ СВАЙ ПО ПРЕДЕЛЬНЫМ СОСТОЯНИЯМ ВТОРОЙ ГРУППЫ

Расчет по образованию трещин

4.1. 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_T следует производить в соответствии с п.1.6 настоящих Рекомендаций и п.1.12 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'_n и F'_a , и принимают $e_{он} = 0$

В формуле (183) Руководства $/I/$ член $R_{pII} W_T$ 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.

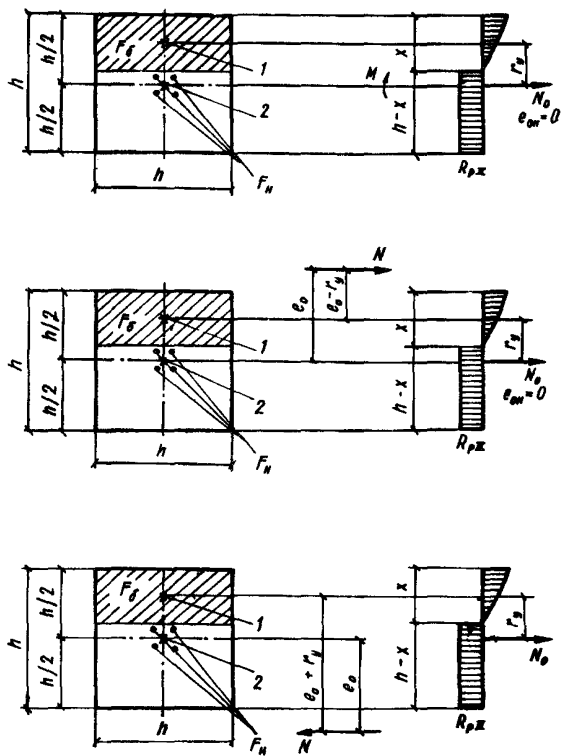


Рис.3. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при расчете его по образованию трещин, нормальных к продольной оси сваи при изгибе (а), при внецентренном сжатии (б) и внецентренном растяжении (в)

1 - 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 [1] при $h_{\text{исл}} = 0,9h$.

4.6. Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси сваи, следует производить из условий (202) – (204) и (208) Руководства [1].

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_T , следует определять в соответствии с указаниями пп. 4.18 – 4.20, 4.22 Руководства [1] и пп. 4.10 – 4.14 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.

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

$$\bar{\mu} = \frac{2 F_H}{h^2} \quad (31)$$

4.11. При расчете по трещиностойкости необходимо учитывать коэффициент K_c (см. п. 4.19 Руководства [1]).

4.12. При расположении 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.1 настоящих Рекомендаций, коэффициент φ_n (см. п. 4.20 Руководства [1]) допускается принимать равным $\varphi_n = 1$.

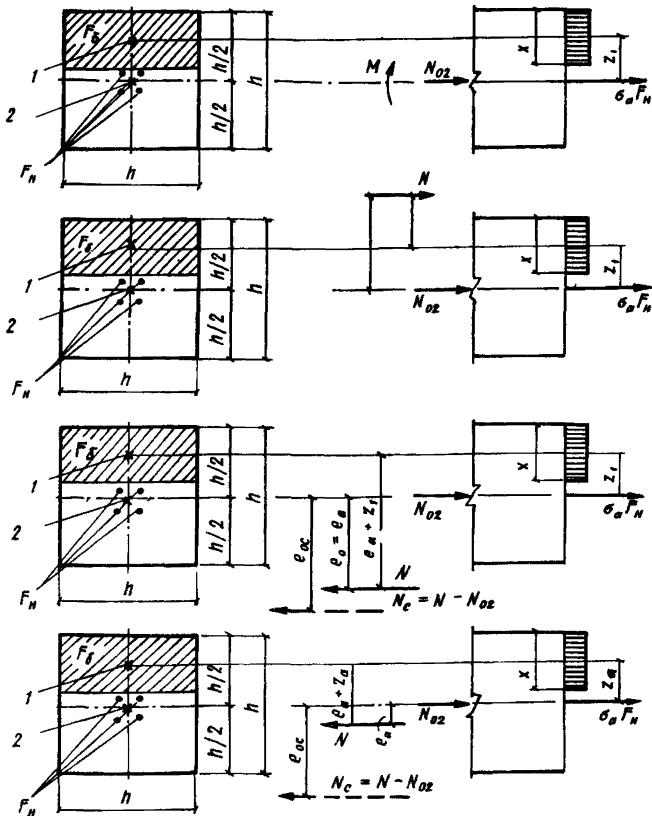


Рис.4. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при его расчете по ширине раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи

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

1 - точка приложения равнодействующей усилий в сжатой или наименее растянутой зоне; 2 - центр тяжести площади соответствующей арматуры и приведенного сечения

4.13. При определении коэффициента β по формуле (219) Руководства /I/ значение μ следует принимать равным $\mu = \bar{\mu}$ (см.п.4.10 настоящих Рекомендаций).

Коэффициент K_m (см.п.4.19 Руководства /I/) не учитывается.

Допускается также не учитывать коэффициент K_δ .

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

$$\begin{aligned} \gamma' &= 0; \quad T = 0; \\ L &= \frac{4M_z}{h^3 R_{np}}; \quad z_i = 0,5(h - x); \end{aligned} \quad (32)$$

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

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

5.1. Длину целых свай, а также элементов составных свай следует принимать от 4 до 12 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 свай при передаче предварительного напряжения с арматуры на бетон.

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

5.4. Минимальное расстояние между стержнями арматуры следует принимать согласно пп. 5.21 - 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 свай 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. 2.19 Руководства /I/, при этом в оголовнике свай, на участке длиной до $2h$ устанавливается сетки, а в острие свай, 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.2.2I Руководства /I/) 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 $b = h = 30$ см; $h_0 = h/2 = 15$ см; бетон тяжелый марки М300; предварительно-напряженная арматура класса А-IV (IØ16, $F_n = 2,011$ см²) $R_a = 5000$ кгс/см², $R_a'' = R_{ад} = 6000$ кгс/см², натяжение арматуры осуществляется на упоры электротермическим способом; изделие подвергается пропариванию.

Расчет.

Значение изгибающего момента M_p от собственного веса сваи P определяем в соответствии с указаниями п. I.6, а настоящих Рекомендаций с учетом коэффициента динамичности K , принимаемого: при расчете по прочности равным $K = 1,8$, при расчете по трещиностойкости $K = 1,25$

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

здесь $P = h^2 L \gamma_s = 0,3^2 \cdot 9 \cdot 2,5 = 2,025$ тс.

Таким образом, при расчете по прочности -

$$M_p = 1,8 \cdot 0,043 \cdot 2,025 \cdot 9 = 1,42 \text{ тс.м};$$

при расчете по трещиностойкости -

$$M_p = 1,25 \cdot 0,043 \cdot 2,025 \cdot 9 = 0,985 \text{ тс.м.}$$

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

Величину предварительного напряжения в арматуре определяем по формуле (3)

$$\sigma_s = R_{ад} - 300 - \frac{3600}{l} = 6000 - 300 - \frac{3600}{9,5} = 5321 \text{ кгс/см}^2;$$

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

Характеристики материалов:

$R_{np} = 145$ кгс/см² (см. табл. I2 Руководства /I/) при $m_{R1} = 1,1$ (см. п. I.6, а настоящих Рекомендаций);

$R_p'' = R_{pd} = 15$ кгс/см² (см. табл. II Руководства /I/);

$$E_{\sigma} = 260000 \text{ кгс/см}^2 \text{ (табл. I8 главы СНиП П-2I-75);}$$

$$E_a = 2000000 \text{ кгс/см}^2 \text{ (см. табл. 29 главы СНиП П-2I-75);}$$

$$h = \frac{E_a}{E_{\sigma}} = 7,69.$$

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

A. Первые потери:

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

$$\sigma_1 = 0,03 \quad \sigma_0 = 0,03 \cdot 5321 = 159,6 \text{ кгс/см}^2;$$

2. от температурного перепада

$$\sigma_2 = 12,5 \Delta t = 12,5 \cdot 65 = 812,5 \text{ кгс/см}^2;$$

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

$$\sigma_3 = 425 \frac{\sigma_{\delta n}}{R_0} \text{ при условии, что } \frac{\sigma_{\delta n}}{R_0} \leq a = 0,6.$$

Передаточная прочность бетона

$$R_0 = 210 \text{ кгс/см}^2 \text{ (см. п. 2.3 Руководства /I/).}$$

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

$$\sigma_{\delta n} = \frac{N_0}{F_n} = \frac{8746}{915} = 9,56 \text{ кгс/см}^2;$$

здесь N_0 - усилие обжатия, равное

$$N_0 = [\sigma_0 - (\sigma_1 + \sigma_2)] F_n = [5321 - (159,6 + 812,5)] \cdot 2,011 = 8746 \text{ кгс};$$

F_n - площадь приведенного сечения, определяемая по формуле (I2) Руководства /I/;

$$F_n = F + h F_n = 30 \times 30 + 7,69 \cdot 2,011 = 915 \text{ см}^2.$$

Поскольку $\frac{\sigma_{\delta n}}{R} = \frac{9,56}{210} = 0,06 < 0,6$ (т.е. условие выполняется), определяем потери

$$\sigma_0 = 425 \frac{9,56}{210} = 19,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, сумма первых потерь составляет

$$\sigma_{n1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 159,6 + 812,5 + 19,3 = 992 \text{ кгс/см}^2.$$

Б. Вторые потери:

4. от усадки бетона марки М300, подвергнутого тепловой обработке

$$\sigma_g = 350 \text{ кгс/см}^2;$$

5. от ползучести бетона

$$\sigma_g = 1700 \frac{\sigma_{дн}}{R_0} = 1700 \frac{9,56}{210} = 77 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, сумма вторых потерь будет равна

$$\sigma_{пз} = \sigma_g + \sigma_g = 427 \text{ кгс/см}^2.$$

Следовательно, предварительное напряжение в арматуре с учетом всех потерь составит

$$\sigma_{02} = \sigma_0 - (\sigma_{п1} + \sigma_{п2}) = 5321 - (992 + 427) = 3902 \text{ кгс/см}^2.$$

Проверка прочности нормальных сечений

Используя формулу (4) определяем значение относительной высоты сжатой зоны бетона $\xi = \frac{2x}{h}$ без учета коэффициента $m_{а4}$ по формуле

$$\xi = \frac{2 R_a F_n}{R_{np} h^2} = \frac{2 \cdot 5000 \cdot 2,011}{145 \cdot 30^2} = 0,154.$$

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

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

где $\xi_0 = 0,85 - 0,0008 R_{np} = 0,85 - 0,0008 \cdot 145 = 0,73$ (см.п.3.12 главы СНиП П-21-75);

$\sigma_c = 4000 \text{ кгс/см}^2$ при $m_{с1} = 1,1$ (см.п.3.11,б настоящих Рекомендаций);

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

$$\sigma_A = R_a + 4000 - \sigma_0 \text{ (см.п.3.6 Руководства /I/)}.$$

При этом σ_0 принимаем с учетом всех потерь и с учетом коэффициента точности натяжения m_T (см.п.1.24 Руководства /I/), меньше единицы, т.е. $\sigma_0 = m_T \sigma_{02}$, где $m_T = 1 - \Delta m_T$.

Определяем Δm_T при электротермическом способе натяжения арматуры по формуле

$$\Delta m_T = 0,5 \frac{P}{\sigma_0} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{h_c}}\right) = 0,5 \frac{679}{5321} \left(1 + \frac{1}{\sqrt{1}}\right) = 0,13;$$

здесь $P = 300 + \frac{3600}{1} = 300 + \frac{3600}{9,5} = 679 \text{ кгс/см}^2$

$$\sigma_0 = 5321 \text{ кгс/см}^2 \text{ (без учета потерь);}$$

n_c - число стержней, равное 1.
Следовательно, $m_T = 1 - 0,13 = 0,87$;

$$e_A = 5000 + 4000 - 0,87 \cdot 3902 = 5605 \text{ кгс/см}^2.$$

$$\text{Таким образом } \xi_R = \frac{0,73}{1 \cdot \frac{5605}{4000} (1 - \frac{0,73}{1,1})} = 0,495.$$

Поскольку $\xi = 0,154 < \xi_R = 0,495$ расчет ведем из условия (5) с учетом коэффициента m_{a4} , определяемого по формуле (24) Руководства [1] при $\bar{m}_{a4} = 1,2$ (напрягаемая арматура класса А-IV)

$$m_{a4} = \bar{m}_{a4} - (\bar{m}_{a4} - 1) \frac{\xi}{\xi_R} = 1,2 - (1,2 - 1) \frac{0,154}{0,495} = 1,138.$$

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

$$x = \frac{m_{a4} R_a F_n}{R_{np} h} = \frac{1,14 \cdot 5000 \cdot 2,011}{145,30} = 2,64 \text{ см.}$$

$$\text{При этом } \xi = \frac{2x}{h} = \frac{2 \cdot 2,64}{30} = 0,176 < \xi_R = 0,495.$$

Следовательно, несущую способность сечения определяем из условия (5)

$$0,5 \cdot R_{np} \cdot h \cdot x (h - x) = 0,5 \cdot 145,30 \cdot 2,64 (30 - 2,64) = 157101 \text{ кгс.см} = 1,57 \text{ тс.м} > M_p = 1,42 \text{ тс.м},$$

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.1.6, а настоящих Рекомендаций).

Расчет изгибаемой сваи по образованию трещин ведем из условия (182) Руководства [1] в соответствии с указаниями пп.4.3 и 4.4 настоящих Рекомендаций

$$M_B^a \leq M_T,$$

$$\text{где } M_B^a = M_p = 0,985 \text{ тс.м}.$$

Определяем M_T с учетом коэффициента 0,9 при члене $R_{pII} W_T$ и принимая $e_{on} = 0$

$$M_T = 0,9 R_{pII} W_T + M_{os}^a.$$

$$\text{где } M_{os}^a = N_o (e_{on} + r_y) = N_o r_y.$$

При расчете по предельным состояниям второй группы значения

коэффициента m_T , принимаем согласно табл.2 Руководства [1]: $m_T < 1$, т.е. $m_T = 0,87$.

Коэффициент перегрузки принимаем как при расчете по прочности равным $n = 1$ (см.примечания к табл.2 Руководства [1] и п.1.6,а настоящих Рекомендаций).

Таким образом, $N_0 = m_T \sigma_{02} F_n = 0,87 \cdot 3902,2,011 = 6827$ кгс.

Определяем значение r_y по формуле (187) Руководства [1]

$$r_y = 0,8 \frac{W_0}{F_n} = 0,8 \frac{4500}{915} = 3,93 \text{ см};$$

здесь для квадратного сечения при $y = h_0 = \frac{h}{2}$

$$W_0 = \frac{J_n}{y} = \frac{h^3}{6} = \frac{30^3}{6} = 4500 \text{ см}^3;$$

$$F_n = 915 \text{ см}^2.$$

Таким образом, $M_0^n = N_0 r_y = 6827 \cdot 3,93 = 26829$ кгс.м = 2,68 тс.м.

Определяем значение W_T по формуле (193) и табл.35 Руководства [1]

$$W_T = 1,75 W_0 = 1,75 \cdot 4500 = 7875 \text{ см}^3.$$

Таким образом, $M_T = 0,9 \cdot 15 \cdot 7875 + 26829 = 133141$ кгс.см = 1,33 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_n внецентренно сжатой сваи.

Исходные данные: начальный эксцентриситет приложения продольной силы от постоянных и длительно действующих эксплуатационных нагрузок $e'_0 = 5$ см; свая полностью погружена в непросадочный грунт. Остальные данные – размеры сваи, характеристики материалов и т.д. – см.пример 1.

Расчет

Принимаем для бетона марки М300 по табл.12 Руководства [1]

$R_{sp} = 135$ кгс/см² при $m_{sf} = 1$ (см.п.3.1,6 настоящих Рекомендаций).

Согласно п.3.10 настоящих Рекомендаций влиянием прогиба на несущую способность пренебрегаем и определяем величину начального эксцентриситета e_0 продольной сжимающей силы N с учетом случайного начального эксцентриситета e_0^{ca} (см.п.1.22 главы СНиП П-21-75) 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

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

$$e_o^{ca} \geq 1/30 h = \frac{30}{30} = 1 \text{ см};$$

$$e_o^{ca} \geq 1 \text{ см.}$$

Принимаем $e_o^{ca} = 1,5 \text{ см.}$

Таким образом, $e_o = e_o' + e_o^{ca} + e_1 = 5 + 1,5 + 6 = 12,5 \text{ см.}$

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

Проверяем условие п.3.12,а

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

где $\sigma_c = \sigma_o - \sigma_{e2} = 3455 - 4000 = -545 \text{ кгс/см}^2$;

здесь $\sigma_{e2} = 4000 \text{ кгс/см}^2$ при $m_{g1} = 1,0$;

$$\sigma_o = m_T \sigma_{o2} = 0,87 \cdot 3902 = 3395 \text{ кгс/см}^2,$$

$$m_T = 0,87; \quad \sigma_{o2} = 3902 \text{ кгс/см}^2 \text{ (см. пример 1).}$$

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

Проверяем условие п.3.12,б.

Первое условие $\alpha = \frac{2 R_a F_H}{R_{np} h^2} \leq \xi_r$,

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

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

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

$$\sigma_c = 4000 \text{ кгс/см}^2; \quad m_T = 0,87;$$

$$\sigma_A = R_a + 4000 - m_T \sigma_{o2} = 5605 \text{ кгс/см}^2.$$

Тогда

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

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

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

Второе условие

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

где $e_0 = 12,5$ см.

Следовательно,

$$0,5h \left(\frac{1 - 0,5 \xi_R}{1 - \frac{\alpha}{\xi_R}} \right) = 0,5 \cdot 30 \left(\frac{1 - 0,5 \cdot 0,508}{1 - \frac{0,165}{0,508}} \right) =$$

$$= 16,6 \text{ см} > e_0 = 12,5 \text{ см, т.е. условие не соблюдается.}$$

Поскольку условия п.3.12,а,б настоящих Рекомендаций не удовлетворяются, несущую способность сваи определяем в соответствии с указаниями п.3.12,в по формуле (23)

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

$$\text{где } x = 0,5h - e_0 K_1 + \sqrt{(0,5h - e_0 K_1)^2 + \alpha h e_0 K_2} =$$

$$= 0,5 \cdot 30 - 12,5 \cdot 1,31 + \sqrt{(0,5 \cdot 30 - 12,5 \cdot 1,31)^2 + 0,165 \cdot 30 \cdot 12,5 \cdot 2,17} =$$

$$= 11,05 \text{ см}$$

$$\text{здесь } K_1 = 1 + \alpha \frac{1 - \frac{\sigma_c}{R_a}}{1,1 - \xi_R} = 1 + 0,165 \frac{1 - \frac{-545}{5000}}{1,1 - 0,508} = 1,31;$$

$$K_2 = \frac{\sigma_c}{R_a} + \frac{1,1 \left(1 - \frac{\sigma_c}{R_a} \right)}{1,1 - \xi_R} = \frac{-545}{5000} + \frac{1,1 \left(1 - \frac{-545}{5000} \right)}{1,1 - 0,508} = 2,17.$$

Напряжения в арматуре σ_a определяем по формуле

$$\sigma_a = \left[\frac{\sigma_c}{R_a} + \left(1 - \frac{\sigma_c}{R_a} \right) \frac{1,1 - \frac{2x}{h}}{1,1 - \xi_R} \right] R_a = \left[\frac{-545}{5000} + \left(1 - \frac{-545}{5000} \right) \frac{1,1 - \frac{2 \cdot 11,05}{30}}{1,1 - 0,508} \right] \times$$

$$\times 5000 = 4865 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, предельная несущая способность сваи

$$N_n = 135 \cdot 30 \cdot 11,05 - 4865 \cdot 2,011 = 34969 \text{ кгс} = 35 \text{ тс.}$$

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

Исходные данные: продольная сила от постоянных и длительно действующих эксплуатационных нагрузок $N_{ст} = 30$ тс; эксцентриситет ее приложения $e_0' = 5$ см, остальные данные - размер сваи, характеристика материалов и т.д. - см.примеры 1 и 2.

Расчет

При расчете сваи по трещиностойкости должны быть удовлетворены требования п.1.6,б и 1,9 настоящих Рекомендаций. К трещиностойкости сваи с напрягаемой арматурой класса А-IV предъявляются требования 3-й категории с предельной допустимой шириной раскрытия нормальных

трещин $a_{T, yH} = 0,1$ мм (см. п. I.9 настоящих Рекомендаций).

Определяем величину начального эксцентриситета e_0 , не учитывая при этом, согласно указаниям п. I.22 главы СНиП II-2I-75, случайный эксцентриситет e_0^{ca} ; $e_1 = 6$ см (см. пример 2)
 $e_0 = e_0' + e_1 = 5+6 = 11$ см.

Проводим расчет внецентренно сжатой сваи по образованию трещин с целью выяснения необходимости проверки по раскрытию трещин. При этом принимаем коэффициент перегрузки $n = 1$, коэффициент точности натяжения $m_T = 1$ (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 $M_T = 0,9 R_{pII} W_T + M_{об}^g$ (см. п. 4.4 настоящих Рекомендаций);

$$M_{об}^g = N_0 (e_{он} + r_y) = N_0 r_y = 7847,3,93 = 30839 \text{ кгс/см};$$

здесь $N_0 = m_T \cdot \sigma_{02} \cdot F_H = 1,3902 \cdot 2,011 = 7847 \text{ кгс};$

$$e_{он} = 0 \text{ (см. п. 4.4 настоящих Рекомендаций);}$$

$$r_y = 3,93 \text{ см (см. пример I);}$$

$$M_B^g = N (e_0 + r_y) = 30000 (11+3,93) = 212100 \text{ кгс.см};$$

$$W_T = 7875 \text{ см}^3 \text{ (см. пример I);}$$

$$M_T = 0,9 \cdot 15 \cdot 7875 + 30839 = 137152 \text{ кгс.см} < M_B^g = 212100 \text{ кгс.см},$$

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 (215) Руководства /I/ в соответствии с указаниями пп. 4.9 - 4.14 настоящих Рекомендаций

$$a_T = K \cdot C_g \cdot \eta \cdot \frac{\sigma_a}{E_a} 20 (3,5-100 \bar{m}) \sqrt[3]{d},$$

где K - коэффициент, принимаемый для внецентренно сжатых элементов равным 1,0;

C_g - коэффициент, принимаемый при учете длительного действия постоянных и длительных нагрузок для конструкций из бетона естественной влажности равным 1,5;

η - коэффициент, принимаемый при стержневой арматуре периодического профиля равным 1,0;

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

$$\sigma_a = \frac{M_3}{(F_n + F_a) h_0} \cdot K_T = \frac{2M_3}{F_n h} K_T,$$

где $M_3 = Ne_a + N_{02} e_{a.n.} = 30000 \cdot II = 330000$ кгс.см,

здесь $e_a = e_0 = II$ см,

$$N_{02} = m_T \sigma_{02} F_n = 1.3902 \cdot 2,011 = 7847 \text{ кгс};$$

$$e_{a.n.} = 0;$$

K_T - коэффициент, определяемый по табл.38 Руководства /1/ в зависимости от соотношения $e_{a.c}$ и h_0 , а также от значений γ' и μ ,

$$e_{a.c} = \frac{M_3}{N_c} = \frac{M_3}{N + N_{02}} = \frac{330000}{30000 + 7847} = 8,7 \text{ см},$$

При $\frac{e_{a.c}}{h_0} = \frac{8,7}{15} = 0,58 < 0,8$, $\nu' = 0$ (см.п.4.14 настоящих Рекомен-

$$\text{даций) и } \mu_n = \frac{E_a F_n + E_a F_a}{E_s b h_0} = \frac{E_a \cdot F_n \cdot 2}{E_s \cdot h^2} = \frac{2000000 \cdot 2,011 \cdot 2}{260000 \cdot 30^2} = 0,034$$

принимая $K_T = 0,1$.

$$\text{Таким образом, } \sigma_a = \frac{2 \cdot 330000}{2,011 \cdot 30} \cdot 0,1 = 1094 \text{ кгс/см}^2;$$

$\bar{\mu}$ - коэффициент армирования сечения, определяемый по формуле (31) настоящих Рекомендаций

$$\bar{\mu} = \frac{2F_n}{h^2} = \frac{2 \cdot 2,011}{30^2} = 0,0045;$$

d - диаметр арматуры, равный 1,6 мм.

Тогда

$$a_T = 1,1 \cdot 5,1 \cdot \frac{1094}{2000000} \cdot 20 (3,5 - 100 \cdot 0,0045) \sqrt[3]{1,6} =$$

$$= 0,125 \text{ мм} > a_{T \text{ доп}} = 0,1 \text{ мм},$$

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Руководство по проектированию предварительно-напряженных конструкций из тяжелого бетона. М., 1977.
2. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из бетонов на пористых заполнителях. М., 1978.

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 | 10 |
| Внецентренно-сжатые сваи | 11 |
| Центрально-растянутые сваи | 14 |
| Внецентренно-растянутые сваи | 14 |
| Расчет по прочности сечений, наклонных к продольной оси свай | 14 |
| 4. Расчет свай по предельным состояниям второй группы | 15 |
| Расчет свай по образованию трещин | 15 |
| Расчет свай по образованию трещин, нормальных к продольной оси свай | 15 |
| Расчет по образованию трещин, наклонных к продольной оси свай | 17 |
| Расчет свай по раскрытию трещин | 17 |
| Расчет по раскрытию трещин, нормальных к продольной оси свай | 17 |
| 5. Конструктивные требования к предварительно-напряженным сваям без поперечного армирования ствола | 19 |
| Приложение I. Примеры расчета | 21 |
| 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.Филипова

| | | |
|-----------------|------------------------------|--------------|
| 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