

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 цельных 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

$\sigma_0$  – 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 [I] с учетом потерь предварительного напряжения в арматуре, соответствующих рассматриваемой стадии работы элемента;

$\sigma_{01}$  и  $\sigma_{02}$  – напряжения  $\sigma_0$  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;

$R_p$  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 [I];

$R_a$  – 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  $E_a$  к модулю упругости бетона  $E_b$

## ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

$h$  – высота и ширина квадратного сечения сваи;

$z$  – длина сваи;

$F_n$  – 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;
- $\xi$  – относительная высота сжатой зоны бетона, равная  $x/h_0$ , т.е.  $x/0,5h$ ;
- $\xi$  – 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 [I];
- $e_{oc}$  – эксцентриситет равнодействующей продольной силы  $N$  и усилия предварительного обжатия  $N_0$  относительно центра тяжести приведенного сечения;
- $\mu$  – коэффициент армирования, принимаемый равным отношению площади сечения всей напрягаемой арматуры к  $1/2$  площади поперечного сечения элемента, т.е.  $F_n/0,5h^2$ ;
- $a_r$  – 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 главой 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 свай на копер за одну точку, расположенную от торца на расстоянии  $0,294L$ , где  $L$  — длина призматической части свай; при этом коэффициент перегрузки и нагрузке от собственного веса свай 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-V, Ат-IV, Ат-V	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

I.10. К трещиностойкости наклонных сечений свай без поперечного армирования ствола предъявляются требования I-й категории.

#### Предварительные напряжения в железобетонных сваях

I.11. Предельную величину предварительного напряжения продольной арматуры  $\sigma_0$  следует принимать равным:

а) при механическом способе натяжения:

$$\text{для стержневой арматуры } \sigma_0 \leq 0,95 R_{aII} ; \quad (1)$$

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

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  $\sigma_0$  следует назначать с учетом допустимых температур нагрева - см. п. I.21 Руководства /1/.

I.12. При расчете предварительно-напряженных свай следует учитывать потери предварительного напряжения арматуры в соответствии с п. I.22 Руководства /1/ и п. I.4 Руководства /2/.

I.13. Величина предварительного напряжения в арматуре вводится в расчет с коэффициентом точности натяжения арматуры согласно указаниям п. I.24 Руководства /1/.

I.14. Сжимающие напряжения в бетоне в стадии предварительного обжатия  $\sigma_{б.н}$  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  $R_0$ , 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 натурального 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 СВАИ 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 сваи на копер; в этом случае расчетные сопротивления бетона сжатию  $R_{пр}$  и растяжению  $R_p$  следует принимать по табл.12 Руководства /1/ при  $m_{с1} = 1,1$ ;

б) на усилия, возникающие в свае в строительный и эксплуатационный периоды; в этом случае значение коэффициента  $m_{с1}$  принимается с учетом указаний п.3.1 Руководства /1/. При условии погружения сваи в грунт (за исключением просадочного) на всю длину, расчет следует выполнять при  $m_{с1} = 1,0$  (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  $\xi_R$ , при котором предельное состояние элемента наступает одновременно с достижением в растянутой арматуре напряжения, равного расчетному сопротивлению  $R_a$ . Величину  $\xi_R$  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

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

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

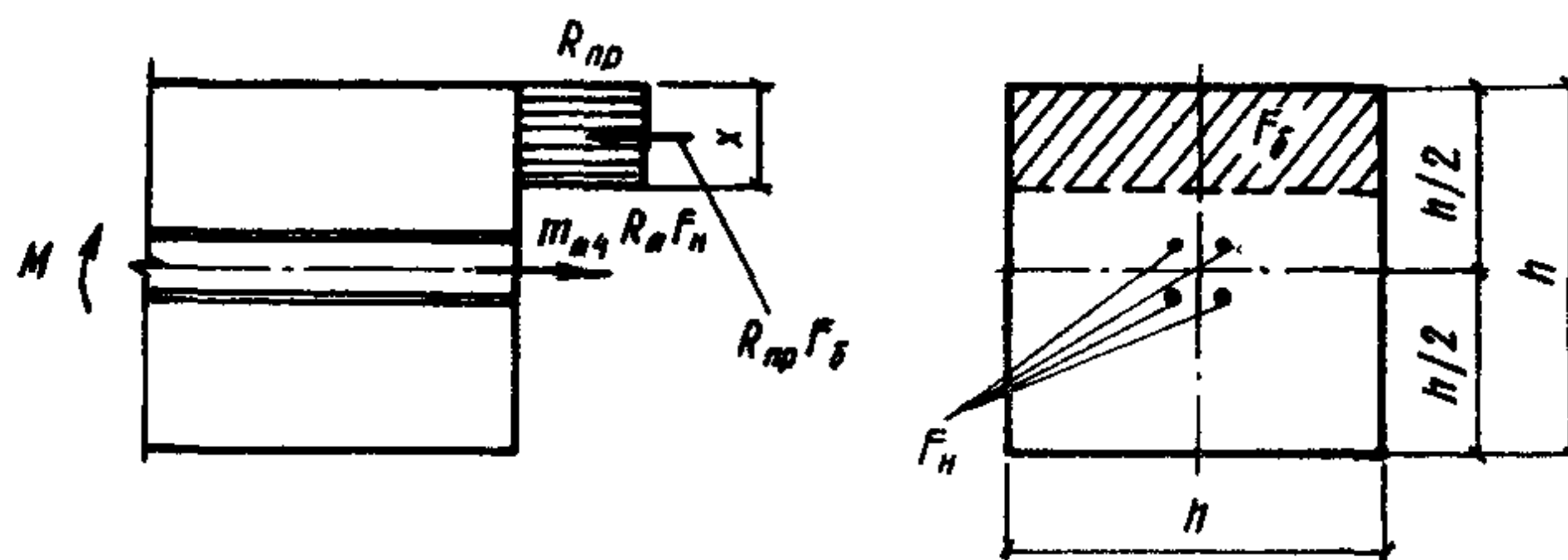


Рис.1. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси изгибаемой железобетонной сваи, при расчете ее по прочности

Расчет ведем исходя из следующих условий:

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

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

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/;

$\xi_R$  - см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

Значение  $\xi = \frac{2x}{h}$  при сопоставлении его с  $\xi_R$  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

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

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  $\nu$  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  $e_0^{ca}$  в соответствии с указаниями п.1.22 главы СНиП П-21-75 и эксцентриситет, возникающий в результате смещения свай в плане на величину, допускаемую главой СНиП Ш-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 же 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  $m_{a4} = 1$ .

$\xi_R$  — см. п.3.5 настоящих Рекомендаций.

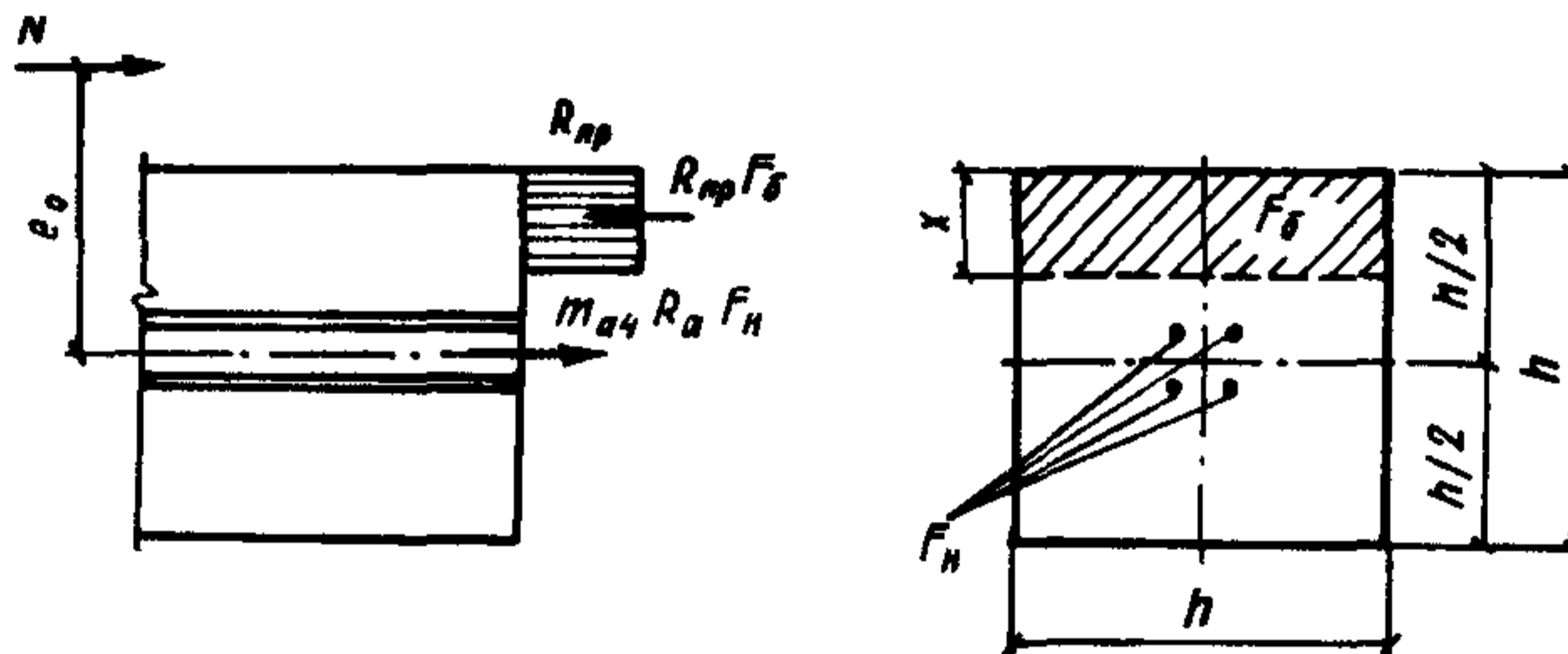


Рис.2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении, нормальном к продольной оси внецентренно-сжатой железобетонной сваи при расчете ее по прочности

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

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

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

где  $\sigma_c$  — напряжение в арматуре, принимаемое равным  $\sigma_c = \sigma_0 - \sigma_\epsilon$ , но не менее  $-R_{a,c}$ ;  $\sigma_\epsilon$  — предельное напряжение в арматуре, принимаемое равным:

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

$$\sigma_\epsilon = 4000 \text{ кгс/см}^2 \quad (\text{при } m_{\delta 1} = I \text{ или } m_{\delta 1} = I,4).$$

При условии, что  $x > h$ , следует увеличить размеры сечений сваи или изменить армирование и величину предварительного напряжения  $\sigma_0$ ;

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

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

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

$\sigma_c$  - 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 
$$\alpha = \frac{2 R_a F_H}{R_{np} \cdot h^2} \leq \xi_R$$

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

$\xi_R$  - 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

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

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

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

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

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

$m_{a4}$  - 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 Руководст-

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  $K_H$ , 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.



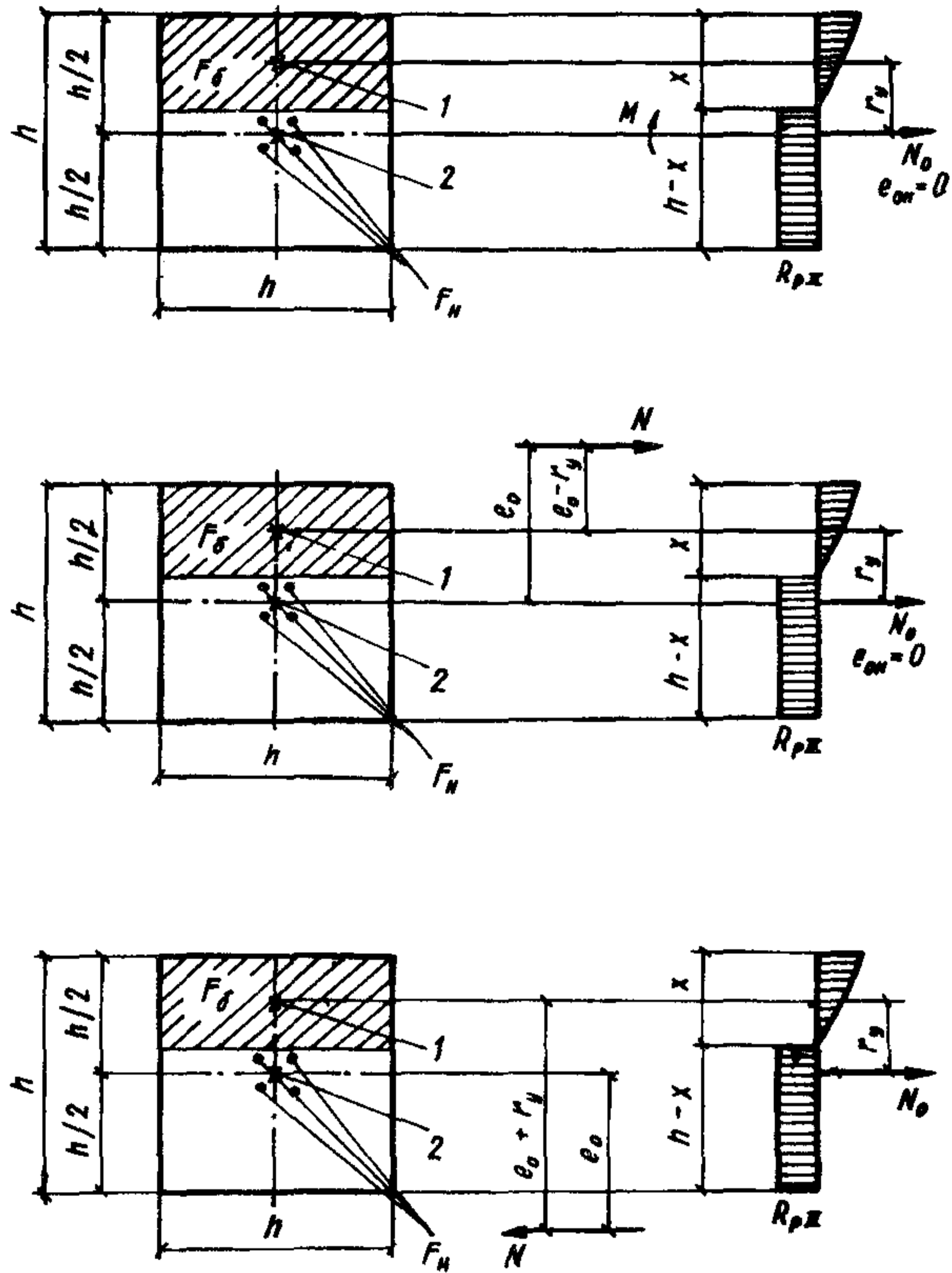


Рис.3. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении свай при расчете его, по образованию трещин, нормальных к продольной оси свай при изгибе (а), при внецентренном сжатии (б) и внецентренном растяжении (в)

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  $h_{усл} = 0,9h$ .

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  $\bar{m}$  следует принимать равным отношению площади сечения всей продольной арматуры  $F_n$  к  $I/2$  площади поперечного сечения сваи

$$\bar{m} = \frac{2 F_n}{h^2} \quad (31)$$

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

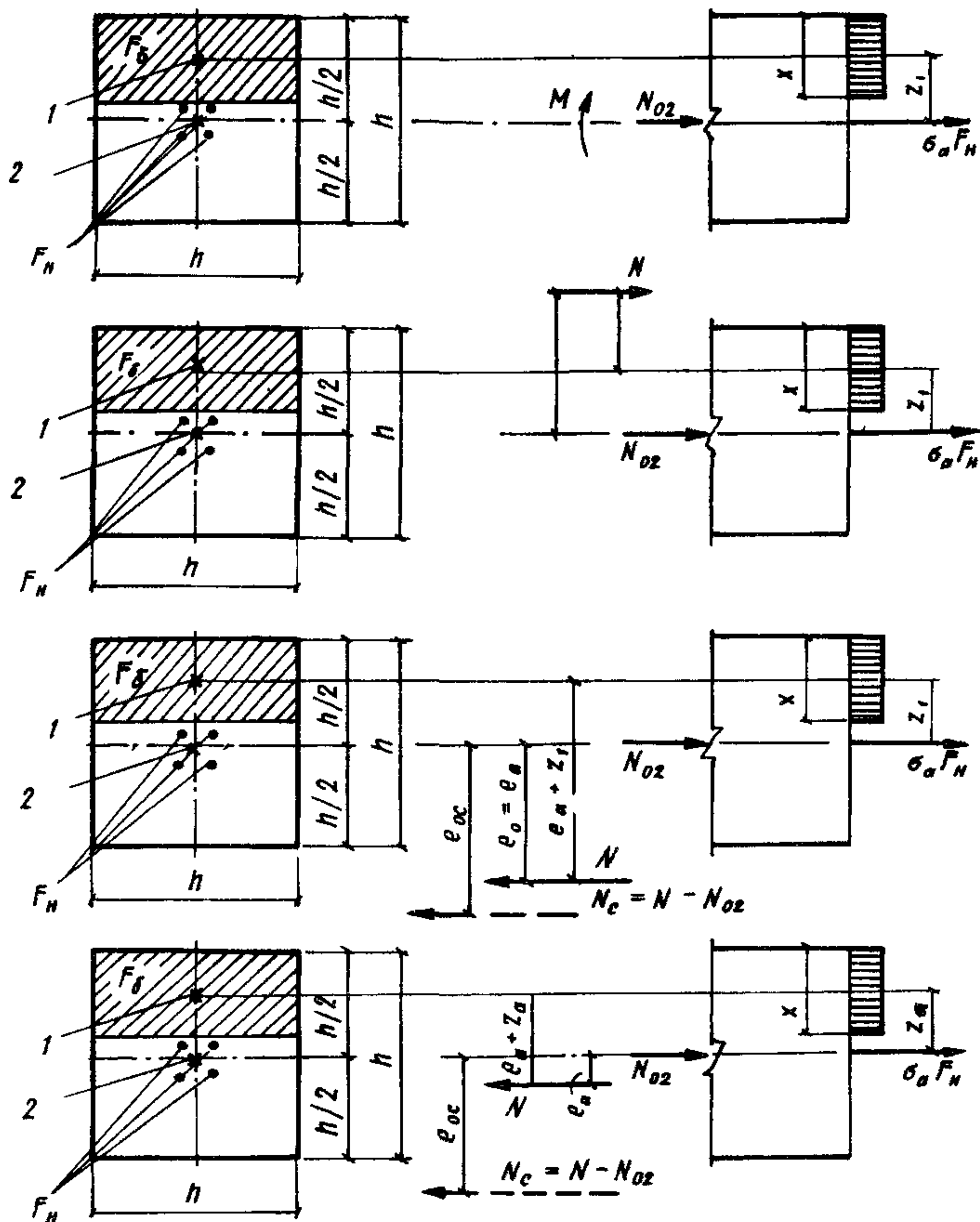


Рис.4. Схема усилий и эпюра напряжений в поперечном сечении сваи при его расчете по ширине раскрытия трещин, нормальных к продольной оси сваи

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 соответственно арматуры и приведенного сечения

4.13. При определении коэффициента  $\beta$  по формуле (219) Руководства /I/ значение  $\mu$  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  $K_\sigma$ .

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

$$\begin{aligned} \gamma' &= 0; & T &= 0; \\ L &= \frac{4M_3}{h^3 R_{np}}; & z_1 &= 0,5(h-x); \end{aligned} \quad (32)$$

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

5.1. Длину целых свай, а также элементов составных свай следует принимать от 4 до 12 м.

5.2. Поперечное сечение свай рекомендуется принимать равным 25x25, 30x30, 35x35, 40x40 и 45x45 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  $2h$  устанавливаются 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 свай.

**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 ( $\text{I}\varnothing\text{I6}$ ,  $F_n = 2,011 \text{ см}^2$ )  $R_a = 5000 \text{ кгс/см}^2$ ,  $R_a'' = R_{aII} = 6000 \text{ кгс/см}^2$ , 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  $P = h^2 L \gamma_0 = 0,3^2 \cdot 9 \cdot 2,5 = 2,025 \text{ тс.}$

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)

$$\sigma_0 = R_{aII} - 300 - \frac{3600}{l} = 6000 - 300 - \frac{3600}{9,5} = 5321 \text{ кгс/см}^2;$$

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

Характеристики материалов:

$R_{np} = 145 \text{ кгс/см}^2$  (см. табл. I2 Руководства /I/) при  $m_{\delta 1} = 1,1$  (см. п. I.6, а настоящих Рекомендаций);

$R_p'' = R_{pII} = 15 \text{ кгс/см}^2$  (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/.

А. Первые потери:

1. 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

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

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/

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

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  $\frac{\sigma_{\sigma.н}}{R} = \frac{9,56}{210} = 0,045 < 0,6$  (т.е. условие выполняется), определяем потери

$$\sigma_3 = 425 \frac{9,56}{210} = 19,3 \text{ кгс/см}^2.$$

Таким образом, сумма первых потерь составляет

$$\sigma_{п1} = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 159,6 + 812,5 + 19,3 = 991,4 \text{ кгс/см}^2.$$

Б. Вторые потери:

4. от усадки бетона марки М300, подвергнутого тепловой обработке

$$\sigma_g = 350 \text{ кгс/см}^2;$$

5. от ползучести бетона

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

Таким образом, сумма вторых потерь будет равна

$$\sigma_{n2} = \sigma_g + \sigma_g = 427 \text{ кгс/см}^2.$$

Следовательно, предварительное напряжение в арматуре с учетом всех потерь составит

$$\sigma_{02} = \sigma_0 - (\sigma_{n1} + \sigma_{n2}) = 5321 - (992 + 427) = 3902 \text{ кгс/см}^2.$$

#### Проверка прочности нормальных сечений

Используя формулу (4) определяем значение относительной высоты сжатой зоны бетона  $\xi = \frac{2x}{h}$  без учета коэффициента  $m_{04}$  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  $\xi_R$  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  $m_{01} = 1,1$  (см. п.3.11,6 настоящих Рекомендаций);

$\sigma_A$  - 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  $\sigma_0$  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  $\Delta m_T$  при электротермическом способе натяжения арматуры по формуле

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

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,  $m_T = 1 - 0,13 = 0,87$ ;

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

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

Поскольку  $\xi = 0,154 < \xi_R = 0,495$  расчет ведем из условия (5) с учетом коэффициента  $m_{a4}$ , определяемого по формуле (24) Руководства /I/ 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  $m_{a4}$

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

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. I.6, а настоящих Рекомендаций).

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

$$M_B^a \leq M_T,$$

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  $e_{он} = 0$

$$M_T = 0,9 R_{pII} W_T + M_{об}^a.$$

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

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,  $N_0 = m_T \sigma_{02} F_n = 0,87 \cdot 3902 \cdot 2,011 = 6827$  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,  $M_0^y = N_0 r_y = 6827 \cdot 3,93 = 26829$  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]

$R_{np} = 135$  кгс/см<sup>2</sup> при  $m_{01} = 1$  (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  $e_0 = 6$  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,  $e_o = e_o' + e_o^{ca} + e_o = 5 + 1,5 + 6 = 12,5 \text{ см.}$

Определяем предельную несущую способность нормального сечения свай 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  $\sigma_c = \sigma_o - \sigma_\epsilon = 3455 - 4000 = -545 \text{ кгс/см}^2$ ;

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

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

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

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

Проверяем условие п.3.12,б.

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

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

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

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

$$\sigma_\epsilon = 4000 \text{ кгс/см}^2; \quad m_\tau = 0,87;$$

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

Тогда

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

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

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

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,

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

$= 16,6$  см  $> e_0 = 12,5$  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)

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

где  $x = 0,5h - e_0 K_1 + \sqrt{(0,5h - e_0 K_1)^2 + \alpha h e_0 K_2} =$   
 $= 0,5 \cdot 30 - 12,5 \cdot 1,31 + \sqrt{(0,5 \cdot 30 - 12,5 \cdot 1,31)^2 + 0,165 \cdot 30 \cdot 12,5 \cdot 2,17} =$   
 $= 11,05$  см

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  $\sigma_a$  определяем по формуле

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

$$\times 5000 = 4867 \text{ кгс/см}^2.$$

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  $N_{dl} = 30$  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  $a_{т,гд} = 0,1$  мм (см. п.1.9 настоящих Рекомендаций).

Определяем величину начального эксцентриситета  $e_0$ , не учитывая при этом, согласно указаниям п.1.22 главы СНиП П-21-75, случайный эксцентриситет  $e_0^{ca}$ ;  $e_1 = 6$  см (см.пример 2)

$$e_0 = e_0' + e_1 = 5+6 = 11 \text{ см.}$$

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/).

1. Расчет нормальных сечений по образованию трещин.  
Ведем расчет согласно указаниям п.4.5 Руководства /I/ из условия

$$M_B^a \leq M_T,$$

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

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

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

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

$$r_y = 3,93 \text{ см (см.пример 1);}$$

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

$$W_T = 7875 \text{ см}^3 \text{ (см.пример 1);}$$

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

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

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

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;

$\eta$  - коэффициент, принимаемый при стержневой арматуре периодического профиля равным 1,0;

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

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

где  $M_3 = N e_0 + N_{02} e_{a.n.} = 30000 \cdot 11 = 330000$  кгс.см,

здесь  $e_a = e_0 = 11$  см,

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

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

$K_T$  - коэффициент, определяемый по табл.38 Руководства [1] в зависимости от соотношения  $e_{a.c}$  и  $h_0$ , а также от значений  $\gamma'$  и  $\bar{m}$ ,

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

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

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

принимаем  $K_T = 0,1$ .

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

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

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

$d$  - диаметр арматуры, равный 1,6 мм.

Тогда

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

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

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.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 ВНИИС Госстроя СССР

121471, Москва, Можайское шоссе, д.25